

VIVANTES-AUGUSTE-VIKTORIA-KLINIKUM BERLIN - SCHÖNEBERG/DEUTSCHLAND

KLINIK FÜR ALLGEMEIN-, VISZERAL- UND GEFÄSSCHIRURGIE

Direktor: **Professor Dr. med. Dr. h.c. K.-J. Bauknecht**

IN ZUSAMMENARBEIT MIT

UNIVERSITÄTSKLINIKUM NANCY - BRABOIS/FRANKREICH

KLINIK FÜR ALLGEMEINE, VISZERALE, ENDOKRINE UND MINIMALINVASIVE CHIRURGIE

Direktor: **Professor Dr. med. P. Boissel**

Evaluation der Lernkurve der Hemifundoplikatio nach Dor und Watson mit dem Fernsteuerungssystem für endoskopische Instrumente *da Vinci* am Schwein

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der
medizinischen Doktorwürde
der Charité - Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

vorgelegt von **Sergio Bruno Sesia**
aus **Rom/Italien**

Referent: **Prof. Dr. med. Dr. h.c. K.-J. Bauknecht**

Korreferent: **Prof. Dr. med. B. Rau**

Gedruckt mit Genehmigung der Charité - Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

Promoviert am: 01.06.2008

INHALTSVERZEICHNIS

A. EINLEITUNG.....	6
A.1 TELEMANIPULATION.....	6
A.2 OFFENE CHIRURGIE: LÖSUNGEN AUS DER TELEMANIPULATION	6
A.3 FRAGESTELLUNGEN.....	7
B. GRUNDLAGEN.....	9
B.1 WAS IST EIN ROBOTER ?.....	9
<i>b.1.1 Substitutions- und Kooperationsroboter.....</i>	<i>9</i>
<i>b.1.2 Computergestützte chirurgische Eingriff.....</i>	<i>9</i>
B.2 VORREITERTECHNOLOGIEN VON DA VINCI	9
B.3 WAS IST DA VINCI ?.....	11
B.4 PRINZIP DER HEMIFUNDOPLIKATIO NACH DOR UND WATSON (HDW).....	15
C. MATERIAL ET METHODIK.....	16
c.1 STUDIENABLAUF.....	16
c.2 GENEHMIGUNGEN.....	16
c.3 EIGENSCHAFTEN DER VERSUCHSTIERE.....	16
c.4 VORBEREITUNGEN ZUR OPERATION AM SCHWEIN.....	17
<i>c.4.1 Allgemein</i>	<i>17</i>
<i>c.4.2 Anästhesieprotokoll.....</i>	<i>17</i>
c.5 HEMIFUNDOPLIKATIO NACH DOR UND WATSON MIT DA VINCI AM SCHWEIN	17
<i>c.5.1 Lagerung.....</i>	<i>17</i>
<i>c.5.2 da Vinci-Checkliste.....</i>	<i>17</i>
c.5.2.1 Aufgabenverteilung.....	17
c.5.2.2 Vorbereiten des sterilen Zubehörs.....	18
c.5.2.3 Startsequenz von da Vinci.....	19
c.5.2.4 da Vinci-Einstellungen.....	19
c.5.2.5 Steriles Abdecken der Arme des Patientenwagens und der Kamera.....	19
c.5.2.6 Endoskopauswahl	19
c.5.2.7 Positionierung der 3 da Vinci-Komponenten im Operationssaal.....	20

c.5.2.8 Trokarpositionierung in der Abdominalwand.....	20
<i>c.5.3 da Vinci-assistierte HDW.....</i>	<i>21</i>
c.6 DATENANALYSE	23
D. ERGEBNISSE.....	24
d.1 MACHBARKEIT DER HDW MIT DA VINCI AM SCHWEIN.....	24
d.2 TROKARANZAHL UND –POSITIONIERUNG IN DER ABDOMINALWAND.....	24
d.3 KOMPLIKATIONEN	24
<i>d.3.1 Komplikationen chirurgischer Art.....</i>	<i>25</i>
<i>d.3.2 Komplikationen konzeptueller Art.....</i>	<i>25</i>
<i>d.3.3 Komplikationen organisatorischer Art.....</i>	<i>26</i>
d.4 KOSTEN FÜR EINE HDW MIT DA VINCI AM SCHWEIN	26
d.5 SUBJEKTIV ANGEGEBENE MÜDIGKEIT VON OPERATEUR UND ASSISTENZ.....	27
d.6 ÜBUNGSDAUER.....	28
d.7 INSTALLATIONSDAUER.....	29
d.8 OPERATIONSDAUER.....	30
d.9 INSTRUMENTENWECHSELDAUER.....	30
d.10 LAGEWCHSELDAUER DES OPERATIONSTISCHES.....	31
d.11 OPERATIONSSAAL-BENUTZUNGSDAUER.....	31
E. DISKUSSION.....	32
e.1 MACHBARKEIT DER HDW MIT DA VINCI AM SCHWEIN UND WAHL DER OPERATIONS-METHODE.....	32
e.2 TROKARANZAHL UND –POSITIONIERUNG IN DER ABDOMINALWAND.....	32
e.3 KOMPLIKATIONEN.....	33
e.4 KOSTEN.....	35
e.5 SUBJEKTIV ANGEGEBENE MÜDIGKEIT VON OPERATEUR UND ASSISTENZ.....	35
e.6 ÜBUNGSDAUER.....	36
e.7 MANIPULATIONSZEITEN.....	36
e.8 PERSPEKTIVEN IN DER CHIRURGIE.....	39
<i>e.8.1 Virtuelle und erweiterte Realität.....</i>	<i>39</i>
<i>e.8.2 Operationsplanung.....</i>	<i>40</i>
e.8.2.1 Organmodellierung	41
e.8.2.2 Trokarpositionierung	42
e.8.2.3 Bestätigung und Simulation am Informatikmodell.....	42

F. ZUSAMMENFASSUNG.....	44
G. LITERATURVERZEICHNIS.....	45
H. DANKSAGUNGEN.....	54
I. LEBENSLAUF.....	55
J. BEGRIFFSDEFINITIONEN/ABKÜRZUNGEN.....	56
K. ERKLÄRUNG AN EIDES STATT.....	58

A. EINLEITUNG

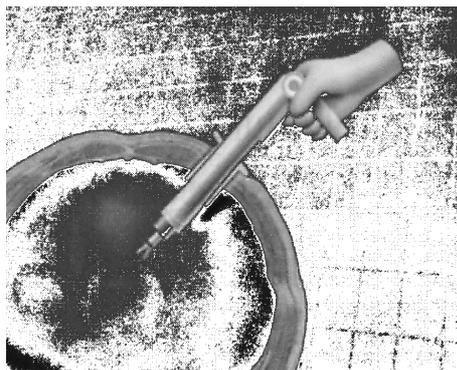
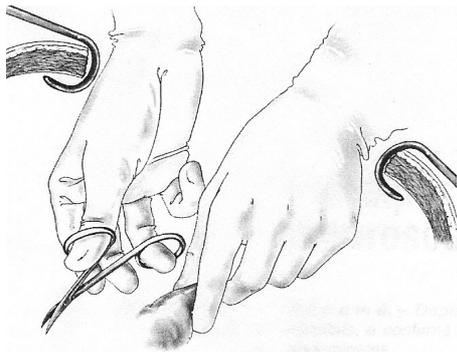
a.1 Telemanipulation

Seit 1940 erfordert die Atomenergieherstellung das Handhaben radioaktiver Substanzen aus der Ferne. Es gilt, den Menschen bei der Manipulation von γ -verstrahlten Gegenständen vollständig zu ersetzen [12,13]. 1970 stellt R. Goertz vom Argonne National Laboratory (Illinois, U.S.A.) den ersten Telemanipulator vor [15], den J. Vertut von *Commissariat à l'énergie atomique* (Frankreich) in den siebziger Jahren weiterentwickelt. Diese Telemanipulatoren bestehen aus Greifzangen und flexiblen Stahlarmen, die durch Stahlseile und -räder miteinander verbunden sind. Diese Telemanipulationssysteme bilden die Grundlage für die ersten *Roboter* [15,16,17].

Welche Bedeutung hat die Telemanipulation für die Chirurgie ?

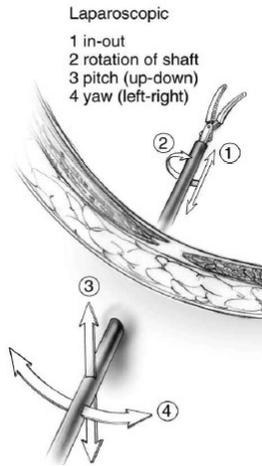
a.2 Offene Chirurgie: Lösungen aus der Telemanipulation (Abb. aus [7])

In der offenen Chirurgie muss der Hautschnitt ausreichend gross sein, um eine vollständige Sicht des Operationssitus zu ermöglichen [1,2]. Zu kleine Hautschnitte grenzen wiederum die Bewegungsfreiheitsgrade (BFG) der Instrumente ein, die von der Anatomie des Patienten und der Beweglichkeit der Finger, Handgelenks, Ellenbogens und Schultergelenks des Chirurgen abhängig sind [7].



Um Komplikationen wie Wundinfekt oder unästhetische Narben durch zu grosse Hautschnitte zu vermeiden [3,4,5], entwickelt sich die Laparoskopie mit telemanipulierten chirurgischen Instrumenten [88-95]. Es entsteht die **minimalinvasive Chirurgie (MIC)**. Durch kleinste Hautschnitte werden starre Instrumente (vom Operateur gesteuert) und eine Kameraoptik (vom Assistenten gehalten) in das Abdomen eingeführt. Das Operationsbild wird auf einem konventionellen Bildschirm wiedergegeben.

Aufgrund der kleineren Hautschnitte ist die Wundinfektproblematik im Vergleich zur offenen



Chirurgie verringert, Instrumentenbewegungen mit hoher Präzision sind bei begrenzten BFG (hinein/heraus, Rotation um die Instrumentenachse, links/rechts und oben/unten, s. Abb.) jedoch nicht möglich [8,9,21]. Auch wirkt sich die unergonomische Arbeitshaltung (Augen und Hände des Operateurs liegen mit dem Bildschirm nicht auf einer Linie. Er muss den Kopf drehen, um den Bildschirm zu sehen) nachteilig aus [6,7].

Die computerunterstützte MIC (CUMIC) ist die Weiterentwicklung der MIC [11]. Die CUMIC ist kein Roboter, sondern ein System, das die Steuerung von Kamera und Instrumenten übernimmt und durch mehrgelenkige Miniaturinstrumente dem Operateur dieselben BFG wie in der offenen Chirurgie bietet [19,20].

Im Rahmen einer vom französischen Gesundheitsministerium in Auftrag gegebenen Evaluationsstudie erwarb das Universitätsklinikum Nancy-Vandoeuvre im August 2000 *da Vinci™* (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, Kalifornien, USA). *da Vinci™* hat sich als einziges CUMIC-System weltweit in der klinischen Routine durchgesetzt [28]. An der Studie beteiligten sich Teams aus der Abdominal-, Herz-, Krebschirurgie und Urologie. Jedes Team wählte eine Operation aus, die anschliessend mit *da Vinci™* am Schwein geübt wurde. Das Team der Abdominalchirurgie wählte als Referenzeingriff die Hemifundoplikatio nach Dor und Watson (HDW) aus. In dieser Studie werden nur die Ergebnisse aus der Abdominalchirurgie vorgestellt.

a.3 Fragestellungen

Das Ziel der vorgelegten Arbeit ist die Evaluation der Lernkurve für eine HDW mit dem Steuerungssystem für endoskopische Instrumente *da Vinci™* am Schwein mit folgenden Kernfragen:

- Ist die HDW mit *da Vinci™* am Schwein machbar ?
- Wieviele Trokare sind zur Durchführung der *da Vinci™* -assistierten HDW am Schwein notwendig und welche ist die optimale Trokarpositionierung in der Abdominalwand, um Kollisionen zwischen den Instrumenten zu vermeiden ?
- Welche Komplikationen treten bei der *da Vinci™* -assistierten HDW am Schwein auf ?
- Welche sind die Anwendungskosten für eine *da Vinci™* -assistierte HDW am Schwein ?

- Wie ermüdend ist die Arbeit mit *da Vinci™* für Operateur und Assistenten ?
- Wie verändert sich der Zeitaufwand für die dabei erforderlichen Arbeitsschritte im Verlauf wiederholter Trainingseinheiten?
- Nach wie viel Trainingseinheiten wird die *da Vinci™* -assistierte HDW beherrscht, gemessen am Erreichen asymptotischer Werte für den Zeitaufwand der dabei erforderlichen Arbeitsschritte?

Für die beiden letzten Fragestellungen wurde der Gesamtablauf der *da Vinci™* -assistierten HDW am Schwein in inhaltlich definierte Abschnitte eingeteilt (Übungsdauer, Installationsdauer des *da Vinci™*-Systems, Operationsdauer für eine *da Vinci™* -assistierte HDW am Schwein, Dauer eines Instrumentenwechsels, Dauer eines intraoperativen Lagewechsels des Operationstisches, Dauer der Operationsaalbenutzung).

B. GRUNDLAGEN

b.1 Was ist ein Roboter ?

Ein Roboter ist eine Maschine, die auf ihre Umwelt einwirkt, um eine ihr aufgetragene Aufgabe auszuführen [9,12,13]. Der Roboter steht unter der ständigen Kontrolle des Menschen. Er besitzt keine eigenständige Intelligenz und kein Improvisationsvermögen zum Lösen von Problemen [9]. Im Gegensatz zum *Roboter der ersten Generation* besitzt der der *zweiten Generation* Messsensoren zur Wahrnehmung seiner Umwelt [30,31]. Während *Offline*-Roboter vorprogrammierte Bewegungen ausüben, d.h. zeitversetzt arbeiten (z.B. Fräsen eines Knochens), führen *Online*-Roboter die Befehle des Benutzers in Echtzeit aus [32].

b.1.1 Substitutions- und Kooperationsroboter

Substitutionsroboter ersetzen, Kooperationsroboter assistieren den Menschen bei der Ausführung von Arbeiten [15].

b.1.2 Computergestützte chirurgische Eingriff

In der computergestützten Abdominalchirurgie operiert der Chirurg mit Hilfe eines Kooperationsroboters [30, 31]. Der Chirurg bleibt Supervisor des assistierenden Systems [71]. Es gilt, die Präzision der chirurgischen Handlung zu optimieren und nicht den Chirurgen zu ersetzen [44].

b.2 Vorreitertechnologien von *da Vinci*

Die Abhängigkeit des Operateurs vom kameraführenden Assistenten stellt seither eine Problemquelle dar [22]. Um eine gute Bildqualität zu gewährleisten, ist das Operationsbild vom Assistenten kontinuierlich auf die chirurgische Handlung zu zentrieren [33]. Dies setzt die Kenntnis der Operationsschritte und Gewohnheiten des Operateurs voraus, was bei dem häufigen Assistentenwechsel aufgrund der gesetzlich geregelten Arbeitszeitverringerung und zur Ausbildung notwendigen Klinikwechsel immer schwieriger ist. Auch beeinträchtigen die unvermeidlichen Ermüdungserscheinungen des Assistenten die Bildstabilität und den visuellen Komfort des Operateurs.

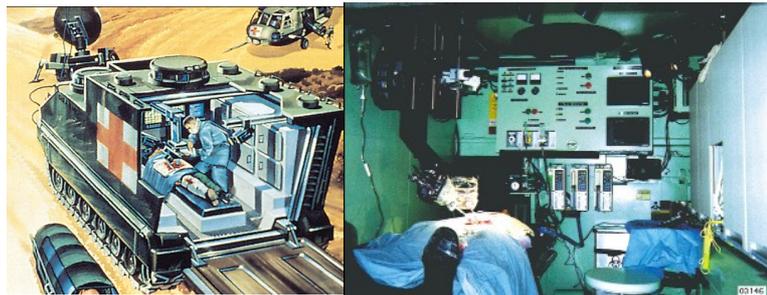
Diese Situation hat zur Entwicklung von kameratragenden Systemen geführt, die der Operateur selbständig steuern kann.



◀ *Aesop™* (Computer-motion, Kalifornien, U.S.A.) besteht aus einem mobilen Wagen, auf dem eine mehrgelenkige Kamerahaltung montiert ist und dessen Bedienung per Sprachbefehlen erfolgt. (Abb. aus [22])

Aesop™ u.a. stellt die Grundlage für ferngesteuerte Operationssysteme dar [22].

Medfast™ (SRI International, Kalifornien, U.S.A.) ist ein Beispiel für ein ferngesteuertes Operationssystem [136]: eine chirurgische Einheit im Panzer bestehend aus einem Operationstisch, zwei instrumententragenden Armen und zwei Videokameras. Diese Einheit wird vom Chirurgen mit Hilfe von Joysticks aus sicherer Entfernung gesteuert (Abb. aus [23]). ▼



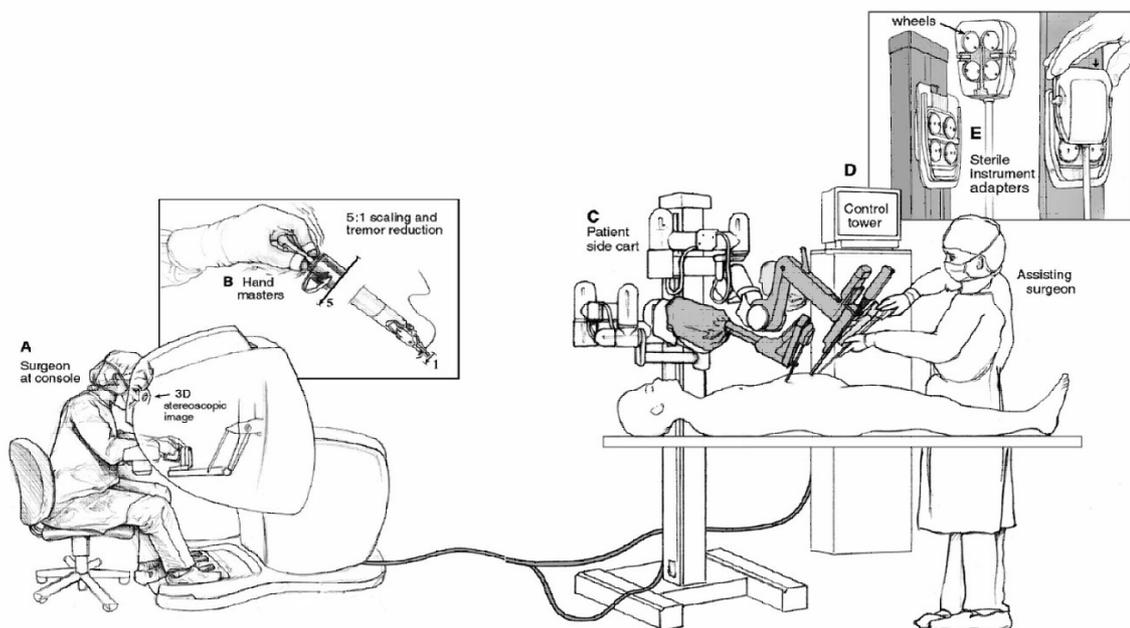
Zeus™ (Computer-motion, Kalifornien, U.S.A.) setzt sich aus einer Bedienkonsole mit zwei Manipulatoren, einem Kontrollmonitor und zwei am Operationstisch fixierten Roboterarmen zusammen, an deren Enden die Instrumente befestigt sind. Mit den Manipulatoren steuert der Chirurg die Instrumente. Die Kamerasteuerung erfolgt durch *Aesop™* ▼. (Abb. aus [24])



Mona™ (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, Kalifornien, U.S.A.) ist der Prototyp von *da Vinci™*, mit dem G.-B. Cardière 1997 die ersten CUMIC-Eingriffe (Fundoplikatio, Cholezystektomie, Hysterektomie) durchgeführt [25]. Die Verwaltung des Informatiksystems erfordert noch die Anwesenheit eines Ingenieurs.

b.3 Was ist *da Vinci* ?

da Vinci™ (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, Kalifornien, USA) ist ein Steuerungssystem für endoskopische Instrumente. Der Einsatz von *da Vinci™* erfordert ein speziell geschultes Personal. Es handelt sich um ein *Kooperationsroboter* der *Online-Gruppe*. (Abb. von [76])



▲ *da Vinci™* besteht aus einer Kommandozentrale (A) mit zwei Steuerungsknüppel (B), einem Videowagen zur Verarbeitung und Wiedergabe des Operationsbildes (D) und einem Patientenwagen mit drei gelenkigen Armen (C), an denen die Instrumente (E) und die Videokamera befestigt sind.



◀ Die **chirurgische Steuerungskonsole (A)** ist die Arbeits- und Kontrollstation des Operators. Im Sucher (B) wird der Operationssitus als farbiges, dreidimensionales, um den Faktor 10 vergrößertes Videobild wiedergegeben. Die Konsole A befindet sich ausserhalb des sterilen Bereichs.



◀ Über zwei Telemanipulatoren oder Master (C), die sich unmittelbar unterhalb des Suchers befinden, steuert der Chirurg die endoskopischen Instrumente und die Kamera-Endoskop-Kombination des Patientenwagens. Die im Sucher sichtbaren Instrumentenspitzen sind an den Bewegungen der Master ausgerichtet.

da Vinci™ ist einsatzbereit, sobald der Chirurg die Taste READY (H) betätigt und sein Kopf den Infrarotstrahl (B2) im Sucher unterbricht. Im STANDBY-Modus sind die Instrumentenarme und die Master voneinander getrennt, d.h. deren Bewegungen werden nicht auf die Arme des Patientenwagens übertragen. Kamera- und Instrumentenarme verbleiben in ihrer letzten Stellung.

Prinzip *first hands on, then head in*: Zur Vermeidung von unkontrollierten Instrumentenbewegungen sind nach Betätigung der READY-Taste zuerst die Master zu ergreifen, dann die Kopfsensoren zu aktivieren.



◀ Der Chirurg bedient die aus Leichtmetall bestehenden Master mit Daumen und Zeigefinger und kann Dreh- und Greifbewegungen in alle Himmelsrichtungen durchführen. Die Lage der Instrumente wird mit der der Master 1300 Mal pro Sekunde synchronisiert.



◀ Die *Endowrist™*-Instrumente besitzen ein distales Gelenk und ermöglichen intraabdominal 7 Bewegungsfreiheitsgrade (s.Abb. + Pinzettengriff). *Endowrist™*-Instrumente sind nur mit *da Vinci™* einsetzbar. Ihr Durchmesser beträgt 8 mm für Erwachsene und 5 mm für Kinder. Die Anzahl der Anwendungen ist auf neun begrenzt. Danach wird das *Endowrist™*-

Instrument von *da Vinci™* nicht mehr erkannt und unbrauchbar.

▼ Anhand von Fusspedalen (G) lassen sich weitere Funktionen steuern. Das CLUTCH-Pedal

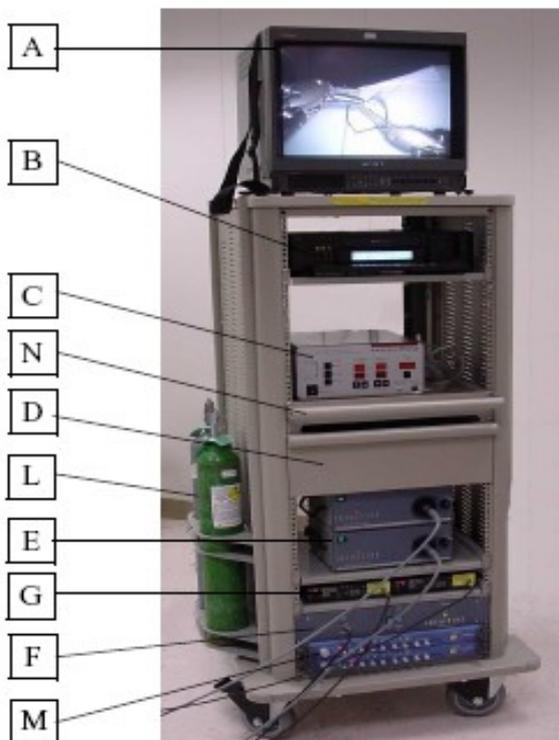


G1 | G2 | G3 | G4 | G5

(G1) erlaubt die isolierte Bewegung der Master, ohne dass diese auf die Instrumentenarme übertragen wird. Somit kann der Chirurg durch Neueinstellung der Master deren Bewegungsamplitude optimieren. Das Drücken des CAMERA-Pedals (G2) koppelt die Master an die Kamera-Endoskop-Kombination und ermöglicht dessen Einstellung.



◀ Der bewegliche Patientenwagen steht neben dem Operationstisch. Nur seine Arme sind steril abgedeckt. Er besteht aus einer Mittelsäule (C) mit einem zentralen Kamera (A) und zwei seitlichen Instrumentenarmen (B). Durch die Gelenkschiene (D) ist die Höhe der Arme einstellbar. Alle Arme sind mehrgelenkig und ihre Stellungen beliebig veränderbar.



◀ Auf dem beweglichen Videowagen befinden sich ein 21-Zoll Kontrollmonitor (A), ein DVD-Rekorder (B), ein Insufflationsgerät (C), zwei Lichtquellen (E) sowie Bildverarbeitungssysteme (G,F,M) und eine CO₂-Flasche (L).

b.4 Prinzip der Hemifundoplikatio nach Dor und Watson (HDW)

Das chirurgische Therapieprinzip ist die Wiederherstellung einer Antireflux-Barriere am Mageneingang durch [34,40]

- Verlagerung eines etwa 3 cm langen Ösophagussegments in das Abdomen (Cardiopexie), welches anschliessend manschettenförmig mit dem Magenfundus teilweise umschlungen wird (Hemifundoplikatio). Das Wiederherstellen der Pars abdominalis oesophagei führt zum Verschluss des His'schen Winkels und zur Antirefluxbarriere
- Vermeidung einer zu eng kalibrierten Fundoplikatio, die eine Dysphagie zur Folge hätte
- Vermeidung einer Vagotomie, die zu einer Verlangsamung der Magenentleerung führen würde (spezifische Indikation: Ulcus duodeni)

Die HDW zählt mit der Fundoplikatio nach *Nissen* und der Hemifundoplikatio nach *Toupet* zu den Valvuloplastiken [101,103,113]. In der Fundoplikatio nach *Nissen* wird der Magenfundus 360° dorsal um den terminalen Ösophagus geschlungen. Diese Technik ist weit verbreitet,



Komplikationen sind Dysphagie [119,121,122,123] und „gas bloat“-Syndrom oder Blähungsgefühl [102,124]. In der Hemifundoplikatio nach *Toupet* wird der Magenfundus 180° oder 270° dorsal, in der nach *Dor* und *Watson* (Abb. aus [119]) 180° ventral um den terminalen Ösophagus geschlungen. Eine detaillierte Beschreibung der Operationstechnik erfolgt später im Text.

C. MATERIAL ET METHODIK

c.1 Studienablauf

Während eines 2-tägigen Einführungskurses unter Anleitung von Ingenieuren und Chirurgen der Firma *Intuitive Surgical* wurden das sterile Einkleiden der Arme des Patientenwagens, die Installation des Patientenwagens zum Operationstisch, das Platzieren der Trokare am Schwein, das Beheben von Fehlerzuständen sowie der Referenzeingriff HDW geübt. An den folgenden 24 Tagen wurde die *da Vinci™*-assistierte HDW autodidaktisch am Schwein trainiert.

Zur Beurteilung des Lernfortschritts in der Durchführung der *da Vinci™*-assistierten HDW am Schwein wurden nur die Daten der Übungstage 3 bis 26 zugrundegelegt. Diese 24 Tage wurden in 3 gleichlange Gruppen unterteilt, wobei Tag 3 bis 10 als Gruppe 1, Tag 11 bis 18 als Gruppe 2 und Tag 19 bis 26 als Gruppe 3 definiert wurden. Aufgrund zahlreicher Pausen für Erläuterungen und den daraus resultierenden längeren Manipulationszeiten wurde die 2-tägige Einführungsphase nicht in die Vergleichskalkulationen mit eingeschlossen.

c.2 Genehmigungen

Die vorliegende Arbeit wurde durch die Ethik-Kommission des Universitätsklinikums Nancy/Vandoeuvre genehmigt. Die chirurgischen Eingriffe am Schwein erfolgten gemäss dem Dekret Nr. 87-848 (Regelung von Tierversuchen vom 19. Oktober 1987) mit folgenden Bewilligungen:

- das Forschungslabor ChirEx ist ermächtigt, Versuche an lebenden Wirbeltieren durchzuführen (*Approbationsnummer A54512*)
- der Vorsteher der ChirEx, Herr Professor J.-P. Villemot ist ermächtigt, Versuche an lebenden Hunden, Schweinen und Schafen zu veranlassen (*Approbationsnummer 03646*)

c.3 Eigenschaften der Versuchstiere

- Schweine der Large White-Rasse, ausgewachsen
- Herkunft: spezielle Zucht für chirurgische Eingriffe
- Durchschnittsgewicht: 60 – 80 kg
- Durchschnittsalter: 2 – 4 Jahren

c.4 Vorbereitungen zur Operation am Schwein

c.4.1 Allgemein

- 48 Stunden Nüchternheit vor dem chirurgischen Eingriff
- Einlage einer Magensonde

c.4.2 Anästhesieprotokoll

Alle Operationen mit *da Vinci™* erfolgten in Intubationsnarkose mit Thiopental und Tubocurare als Muskelrelaxans.

c.5 Hemifundoplikatio nach Dor und Watson mit *da Vinci* am Schwein

c.5.1 Lagerung

Das Schwein wird in Rückenlage um 20° zur Horizontalen Kopf hoch auf einen konventionellen Operationstisch gelagert und dessen Extremitäten fixiert. Um den Zugang zum Hiatus oesophageus zu erleichtern wird zur Erweiterung des xipho-ösophagealen Winkels ein Kissen unter den Oberkörper gelegt [34,84,109,110].

c.5.2 *da Vinci*-Checkliste

Die Inbetriebnahme von *da Vinci™* erfolgt in einer bestimmten Reihenfolge:

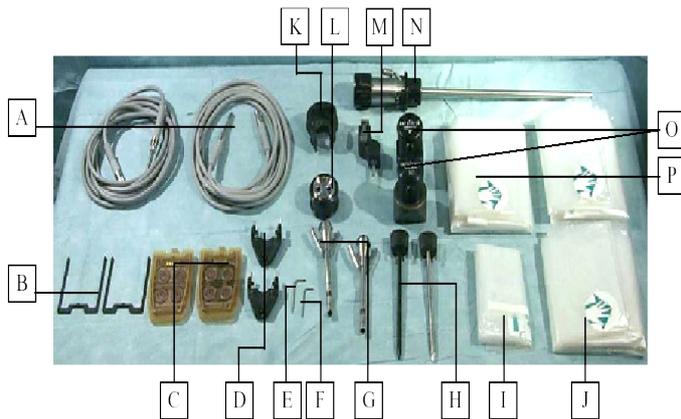
- Startsequenz von *da Vinci™*
- Steriles Abdecken der Arme des Patientenwagens und der Kamera
- Positionierung der 3 *da Vinci™*-Komponenten im Operationssaal
- Trokarpositionierung
- Montage der *Endowrist™*-Instrumente und der Kamera und Einführen derselben in den Operationssitus

c.5.2.1 Aufgabenverteilung

- Operateur: Bedienung der Steuerungskonsole und Platzierung der Trokare
- Assistent: Darstellung des Operationssitus mit konventionell endoskopischen Instrumenten

- Referenz-Operationsschwester (steril): Montieren und Entfernen der Instrumente am Patientenwagen und Bedienung aller sterilen Gegenstände
- Zweite Operationsschwester (nicht steril): Versorgung mit Instrumenten und Zubehör sowie Mithilfe am sterilen Einkleiden der Arme des Patientenwagens

c.5.2.2 Vorbereiten des sterilen Zubehörs



◀ Auf einem sterilen Tisch bereitet die Referenz-Operationsschwester folgendes Zubehör vor:

- 2 Glasfaserkabel (A)
- 2 Klemmen zum Fixieren der sterilen Überzüge an den sterilen Adaptern der Instrumentenarme (B)
- 2 Instrumentenarmkanülen (G)
- 2 spitze Trokardorne (H)
- 4 sterile Überzüge für die Kamera sowie die drei Arme des Patientenwagens (I, J, P)
- 1 steriler Kameraarmadapter (K)
- 1 steriler Kameraadapter (L)
- 1 Befestigung für die Kamerakanüle (M)
- 2 Endoskope 10 mm stark (0° und 30°) (N)

sowie 1 monopolaren Koagulationsshaken, 2 Trokare von 5 mm Durchmesser, 3 Trokare von 10 mm Durchmesser, 1 Relevator für die Exposition der Leber und des gastroösophagealen Übergangs (s. Abb) und Fadenmaterial.



c.5.2.3 Startsequenz von da Vinci

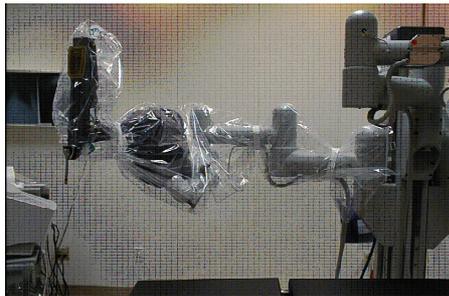
Der *autotest* überprüft alle elektrischen Stromkreisläufe. Beim *homing* werden Master und Arme des Patientenwagens im Raum synchronisiert. Dieser Test gewährleistet die genaue Übermittlung der Masterbewegungen auf die Arme des Patientenwagens.

c.5.2.4 da Vinci-Einstellungen

An der Chirurgenkonsole werden folgende Einstellungen vorgenommen:

Optik	0°
Arbeitsabstand	mittel (6 - 10 cm)
Bewegungsskalierung	fein (3:1)

c.5.2.5 Steriles Abdecken der Arme des Patientenwagens und der Kamera

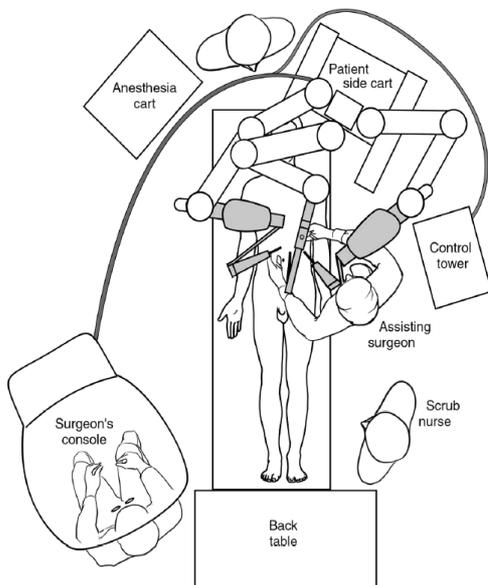


◀ Für das sterile Abdecken der Arme des Patientenwagens (s.Abb.) sind die zwei Operationsschwester erforderlich.

c.5.2.6 Endoskopauswahl

Für die HDW wird die 0°-Winkeloptik benutzt. Sie bietet einen grösseren Blickwinkel als die 30°-Optik und erleichtert durch ihren Geradeausblick die anatomische Orientierung. Die 0°-Optik entspricht der Blickrichtung in der offenen Chirurgie

c.5.2.7 Positionierung der 3 da Vinci-Komponenten im Operationssaal



◀ Die drei *da Vinci*TM-Komponenten sind so positioniert, dass

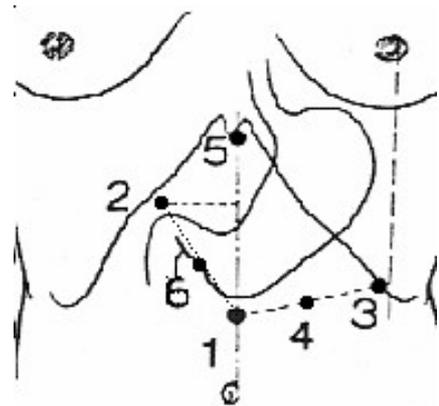
- der Operateur direkten Blickkontakt mit seinem Assistenten und dem Patientenwagen hat
- der Assistent und die Referenz-Operationsschwester den Kontrollmonitor direkt einsehen können
- die Arme des Patientenwagens sich in ihrer Bewegungsfreiheit nicht gegenseitig einschränken

Abbildung c.5.2.7 Platzierung des *da Vinci*TM-Systems und des OP-Teams beim Menschen [Abb. von *Intuitive Surgical*]

c.5.2.8 Trokarpositionierung in der Abdominalwand

Für die *da Vinci*TM-assistierte Fundoplikatio nach Dor und Watson sind sechs Trokare notwendig: [Abb. von *Intuitive Surgical*] ►

- Trokar Nr. 1 (12 mm Durchmesser) für das Endoskop: im distalen Drittel der Linie zwischen Processus xiphoideus und Bauchnabel
- Trokar Nr. 2 (10 mm Durchmesser) für den rechten Instrumentenarm: unterhalb des rechten Rippenbogens auf der Linea medioclavicularis
- Trokar Nr. 3 (10 mm Durchmesser) für den linken Instrumentenarm: unterhalb des linken Rippenbogens auf der Linea mamillaris
- Trokar Nr. 4 (10 mm Durchmesser) für ein konventionelles Laparoskopieinstrument: in der Mitte der Linie zwischen Trokar 1 und 3



- Trokar Nr. 5 (10 mm Durchmesser) für ein konventionelles Laparoskopieinstrument: unterhalb des Processus xiphoideus
- Trokar Nr. 6 (10 mm Durchmesser) für ein konventionelles Laparoskopieinstrument: in der Mitte der Linie zwischen Trokar 1 und 2

Durch Trokar Nr.1, der als einziger mit einem Faden an der Haut befestigt ist, wird ein Pneumoperitoneum von 12 mmHg erzeugt.

c.5.3 da Vinci-assistierte HDW

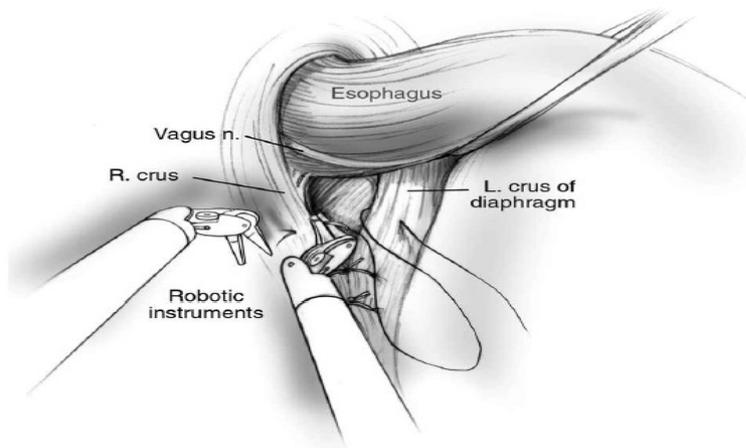
Durch die Trokare werden folgende Instrumente eingeführt:

- Trokar Nr. 1: 0°-Endoskop
- Trokar Nr. 2: monopolarer Koagulationshaken (COAG)
- Trokar Nr. 3: Mikropinzette
- Trokar Nr. 4: Cadière-Pinzette
- Trokar Nr. 5: Leber-Relevator
- Trokar Nr. 6: Pinzette, Sauger

Der Assistent bedient die Instrumente in den Trokaren 4, 5 und 6 und der Operateur von der Chirurgenkonsole aus die in den Trokaren 1, 2 und 3.

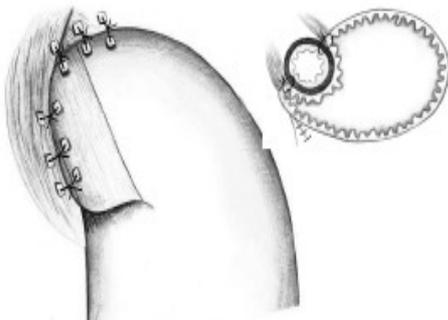
Mit dem Leber-Relevator mobilisiert der Assistent den linken Leberlappen und stellt mit einer Pinzette den Hiatus oesophageus dar. Mit der Cadière-Pinzette spannt der Assistent das Omentum minus auf. Unter Schonung der hepatischen Vagusäste eröffnet der Operateur das Omentum minus und stellt den rechten Zwerchfellschenkel dar. Bei akzessorischer linker Leberarterie wird diese mit zwei Clips ligiert und durchtrennt. Hierzu wird im Trokar Nr. 2 der Koagulationshaken kurzzeitig durch einen Clipapplikator ersetzt. Nach Identifikation des Ösophagus präpariert der Operateur retroösophageal in das Mediastinum vor und durchtrennt die Membrana phrenicooesophagea. Er identifiziert den linken Zwerchfellschenkel und schont den hinteren Vagusast. Mit dem Koagulationshaken durchtrennt der Operateur die Membrana fundophrenica und stellt nach weiterer Mobilisation des Ösophagus das rechte und linke Crus vollständig dar. Nach Ligierung der Vasa gastricae breves mobilisiert der Operateur den Magenfundus. Nachdem ein ca. 3 cm langes Ösophagussegment spannungsfrei intraabdominell zu liegen kommt, erfolgt der Bruchlückenverschluss der Zwerchfellschenkel.

Hierzu werden durch Trokar Nr. 6 ein nicht resorbierbarer Faden der Stärke 0 und durch Trokar Nr. 2 ein Nadelhalter eingeführt. Vor dem Instrumentenwechsel stellt der Operateur den STANDBY-Modus ein, damit die Operationsschwester den Instrumentenwechsel durchführen kann.



◀ Zur besseren Darstellung der retroösophagealen Region (Abb. aus [38]) wird durch Trokar 6 ein farbiges Plastikbändchen eingeführt und um den Ösophagus geschlungen, das der Assistent mit der Pinzette nach kranial hält. Der Operateur adaptiert

nun mit Einzelknopfnähten locker das linke und rechte Crus der Zwerchfellschenkel. Die Weite des Hiatus erfolgt inspektorisch. Die Naht der Diaphragmaschenkel verhindert eine Herniation der Hemifundoplikatio in den Thoraxraum mit dem Risiko einer nachfolgenden Magenteilnekrose [39,41-43,111,128].



◀ Zur Herstellung der Hemifundoplikatio (Abb. aus [38]) wird der Fundus über dem distalen Ösophagus am rechten Crus mit Einzelknopfnähten fixiert, wobei die oberen Nähte die rechtslaterale Ösophaguswand hinter dem vorderen Vagusast mitfassen. Zwei weitere Nähte fixieren den oberen Manschettenrand an der vorderen Zwerchfellkommissur, sowie eine Naht am linken Crus. Ziel ist eine Manschettenlänge von etwa 3 cm. Alle Knoten fertigt der Operateur ohne Assistenz an.

Am Ende der Operation wird das Tier noch in Vollnarkose durch eine Überdosierung der Anästhetika mit Kalium-Injektion euthanasiert.

c.6 Datenanalyse

Die Datenanalyse erfolgte mit Excel (Microsoft Corp., Redmond, Washington, USA) und SPSS 15.0 (SPSS, Inc.). Ergebnisse wurden als Median und Streubereich (Range) angegeben.

Vergleiche zwischen den Gruppen 1, 2 und 3 wurden mit dem nicht-parametrischen Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Ergaben sich dabei signifikante Unterschiede ($p < 0.05$), erfolgte post hoc ein Vergleich mit dem Mann-Whitney U-Test zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 sowie zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3.

Die nachfolgend aufgeführten Vergleiche beziehen sich auf die Übungsdauer von Tag 3 bis Tag 26.

D. ERGEBNISSE

d.1 Machbarkeit der HDW mit *da Vinci* am Schwein

Zwischen November 2000 und September 2001 wurden mit *da Vinci*TM 26 Hemifundoplikationen nach Dor und Watson am Schwein erfolgreich durchgeführt. Keine Operation musste endgültig abgebrochen oder offen fortgesetzt werden.

d.2 Trokaranzahl und –positionierung in der Abdominalwand

Jede der 26 Operationen wurde mit sechs Trokaren durchgeführt: 3 Trokare wurden für das Endoskop und die zwei *Endowrist*TM-Instrumente, 3 Trokare vom Assistenten für die Mobilisierung des linken Leberlappens, die Darstellung des Operationssitus, das Einführen und Entfernen von Zubehör (Faden, Nadel, Plastikbändchen, Clips) und das Absaugen von Blut genutzt.

Zur Vermeidung von Kollisionen zwischen den Instrumenten wurden die Trokare nach folgenden Regeln platziert:

- die Mittelsäule des Patientenwagens, das Zielorgan und der Bauchnabel des Schweins bildeten eine Linie
- der Endoskoptrokar wurde mindestens 10 cm unterhalb des Zielorgans eingeführt
- die Trokare der Instrumentenarme wurden ebenfalls mit einem Mindestabstand von 10 cm zum Zielorgan gesetzt
- die *Endowrist*TM-Instrumente schauten mindestens 7 cm aus dem jeweiligen Trokar heraus
- der Abstand zwischen den Trokaren betrug jeweils mindestens 5 cm
- die zwei Trokare der *Endowrist*TM-Instrumente und das zu operierende Organ lagen jeweils am Ende eines gleichschenkligen Dreiecks. Das Zielorgan projizierte sich an die Spitze des Dreiecks.

d.3 Komplikationen

Während der 26 *da Vinci*TM-assistierten HDW kam es zu 85 Komplikationen, die wie folgt eingeteilt wurden:

d.3.1 Komplikationen chirurgischer Art

Zweimal (8 %) kam es zu intraoperativen Blutungen durch Verletzung der Vena cava inferior. Einmal (4 %) wurde die Blutung durch Setzen von Clips gestoppt und die *da Vinci™*-assistierte Operation fortgeführt. Bei einem Schwein (4 %) musste die Prozedur kurzzeitig unterbrochen und in eine offene Operationsvariante konvertiert werden, um das Gefäß zu nähen. Anschliessend wurde die Operation *da Vinci™*-assistiert fortgesetzt.

d.3.2 Komplikationen konzeptueller Art

Beschreibung	Anzahl
Fehlermeldungen bei der Installation von <i>da Vinci™</i>	7 (27 %)
Einschränkung der Bewegungsamplitude der Hände des Operateurs durch das Plastikgehäuse der Chirurgenkonsole	6 (23 %)
Fadenriss beim Knoten	5 (19 %)
Kritische <i>da Vinci™</i> -Gerätfehlerzustände	4 (15 %)
Schlechte Sichtverhältnisse	4 (15 %)
Keine Instrumentenreaktion bei Bedienung der Master	3 (11 %)
Beschädigung der Plastikadapter der Kanülen durch Einführen von Nadelmaterial	3 (11 %)
Operationsbild nicht zentriert	3 (11 %)
Kollision zwischen den <i>Endowrist™</i> -Instrumenten	3 (11 %)
Verbrennungen des Lebergewebes durch das Endoskopende	3 (11 %)
Unbrauchbares <i>Endowrist™</i> -Instrument am Verfalldatum	2 (8 %)
Kabelriss eines <i>Endowrist™</i> -Instruments	1 (4 %)
Nadelbruch	1 (4 %)

Tabelle d.3.2 Komplikationen konzeptueller Art

d.3.3 Komplikationen organisatorischer Art

Beschreibung	Anzahl
Verbleiben von Fadenrestmaterial im Abdomen	6 (23 %)
Zeitverlust durch Einführen von Fadenmaterial	5 (19 %)
Zeitverlust wegen fehlenden Materials (Faden, Clip, Instrumente etc.)	3 (11 %)
Faden zu lange (>15 cm)	2 (8 %)
Nicht-Erkennen der Kamera-/Endoskop- Kombination durch <i>da Vinci™</i>	1 (4 %)

Tabelle d.3.3 Komplikationen organisatorischer Art

Der Tod der Schweine erfolgte ausschliesslich durch Injektion von anästhesiologischen Mitteln und nicht komplikationsbedingt.

d.4 Kosten für eine HDW mit *da Vinci* am Schwein (zzgl. Mehrwertsteuer im Jahr 2005)

Bezeichnung	Preis in €
Instrumente (anteilige Kosten für eine Operation bei insgesamt 9-maliger Anwendung)	
- 1 Skalpell/Elektrokauter	208
- 1 Nadelhalter	276
- 1 Cadière-Pinzette	252
- 1 Mikropinzette	252
Steriles Zubehör	
- 2 Instrumentenarmüberzüge	79
- 1 Kameraarmüberzug	39
- 1 Kameraüberzug	28
- 1 Koagulationsshaken	61
- 2 Kanülendichtungen	36
Versuchstier Schwein	
- Kaufpreis	115
- Unterhaltskosten pro Schwein	117
- medizinische Flüssigkeiten pro Schwein	184
Gesamtkosten	1 647

Tabelle d.4 Kosten für eine Hemifundoplikatio am Schwein

Von den 1647 € entfallen 988 € (60 %) auf die Instrumente, 243 € (14,8%) auf das sterile Zubehör und 416 € (25,2 %) auf das Versuchstier.

Der Kaufpreis für das *Vinci™*-System Model IS 1000 beträgt etwa 900.000 € und die jährlichen Wartungskosten belaufen sich auf etwa 110 000 €.

d.5 Subjektiv angegebene Müdigkeit von Operateur und Assistenz

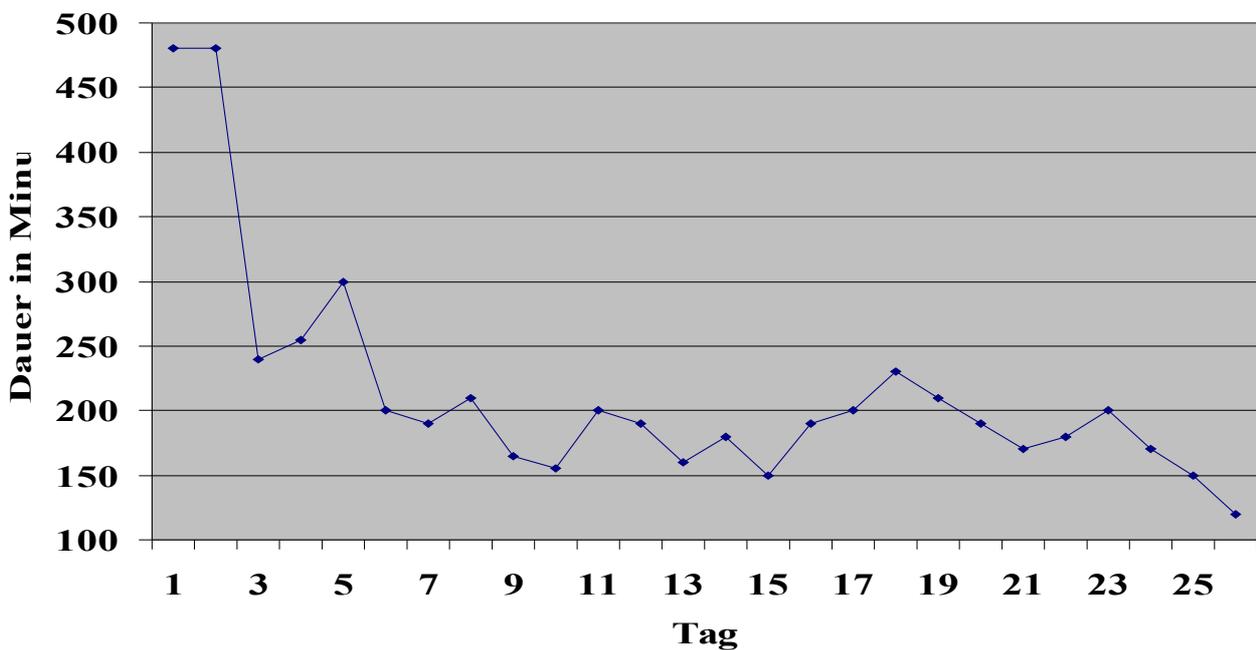
Die durch die Benutzung von *da Vinci™* hervorgerufene Ermüdung wurde am Ende eines jeden Eingriffs subjektiv bewertet:

Subjektive Müdigkeit	Operateur	Assistenten
gering	23 mal (88 %)	16 mal (62 %)
mittelmässig	2 mal (8 %)	9 mal (34 %)
stark	1 mal (4 %)	1 mal (4 %)

Tabelle d.5 Subjektiv angegebene Müdigkeit von Operateur und Assistenten

d.6 Übungsdauer

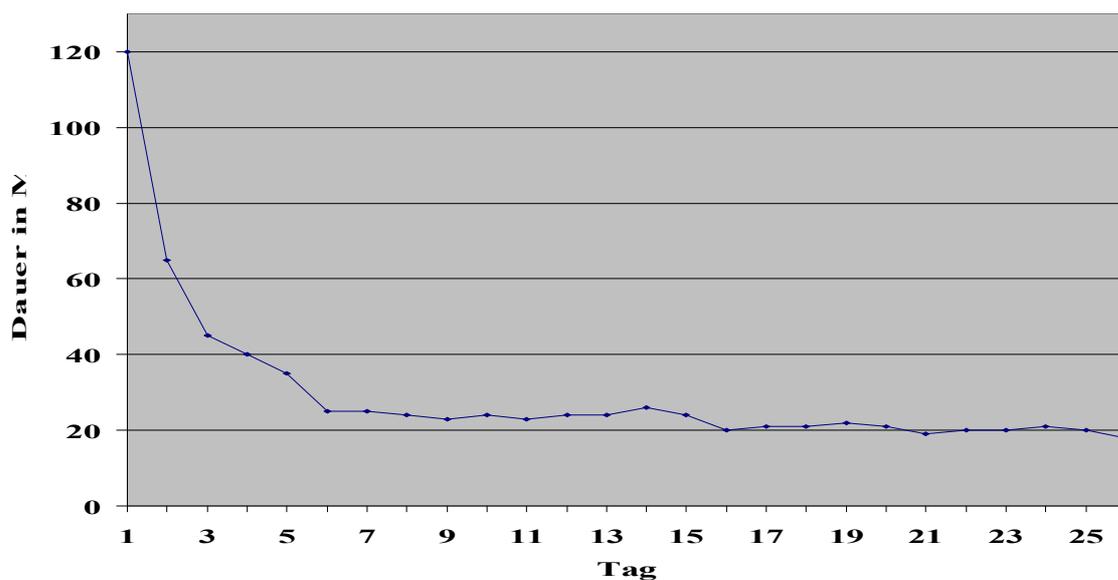
Insgesamt wurde an 26 Tagen trainiert. Die tägliche Übungsdauer betrug im Median 190 Minuten (range, 120-480). Die Dauer der ersten beiden Übungstage war mit 480 Minuten am längsten. Zwischen den Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied ($p > 0.05$). Gemäss dem Kruskal-Wallis Test kam es zu keinem signifikanten Abfall der Übungsdauer ($p=0.188$). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 ($p=0.205$), sowie auch nicht zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 ($p=0.397$).



Graphik d.6: Übungsdauer

d.7 Installationsdauer

Die Installationsdauer von *da Vinci™* beinhaltete die Startsequenzen, das sterile Einkleiden der Arme des Patientenwagens, die Montage der Instrumente und der Endoskop-/Kamerakombination und die korrekte Positionierung des Patientenwagens zum Operationstisch. Die Installationsdauer betrug im Median 23 Minuten (range, 18-120). Mit fortgesetzten Trainingstagen kam es zu einem signifikanten Abfall der Installationsdauer ($p=0.001$). Es bestand sowohl ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 ($p=0.028$) als auch zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 ($p=0.012$). Auch zeigte sich ein Unterschied der Werte der Gruppe 1 (Median 25, range 23-45), Gruppe 2 (Median 23, range 20-26) und Gruppe 3 (Median 20, range 18-22).

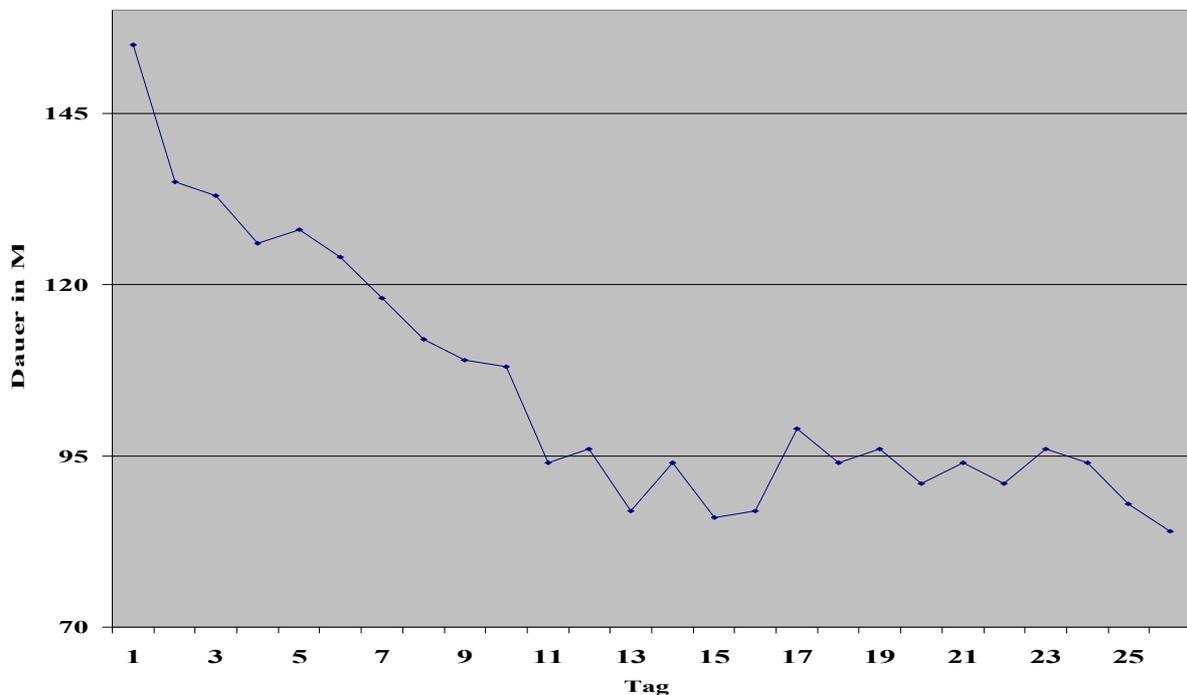


Graphik d.7: Installationsdauer

d.8 Operationsdauer

Die mediane Operationszeit zwischen dem Fassen der Master und dem letzten Operationsschritt betrug 96 Minuten (range, 84-155).

Mit fortgesetzten Trainingstagen kam es zu einem hoch signifikanten Abfall der Operationsdauer ($p < 0.001$). Es zeigte sich ein hoch signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 ($p = 0.001$), jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 ($p = 0.915$). Auch zeigte sich ein Unterschied der Werte der Gruppe 1 (Median 121, range 108-133), Gruppe 2 (Median 94, range 86-99) und Gruppe 3 (Median 92, range 88-96).



Graphik d.8: Operationsdauer

d.9 Instrumentenwechseldauer

Ab dem 4. Übungstag lag die Zeit für das intraoperative Auswechseln eines *Endowrist™*-Instruments im Median bei 1 Minute (range, 1-5).

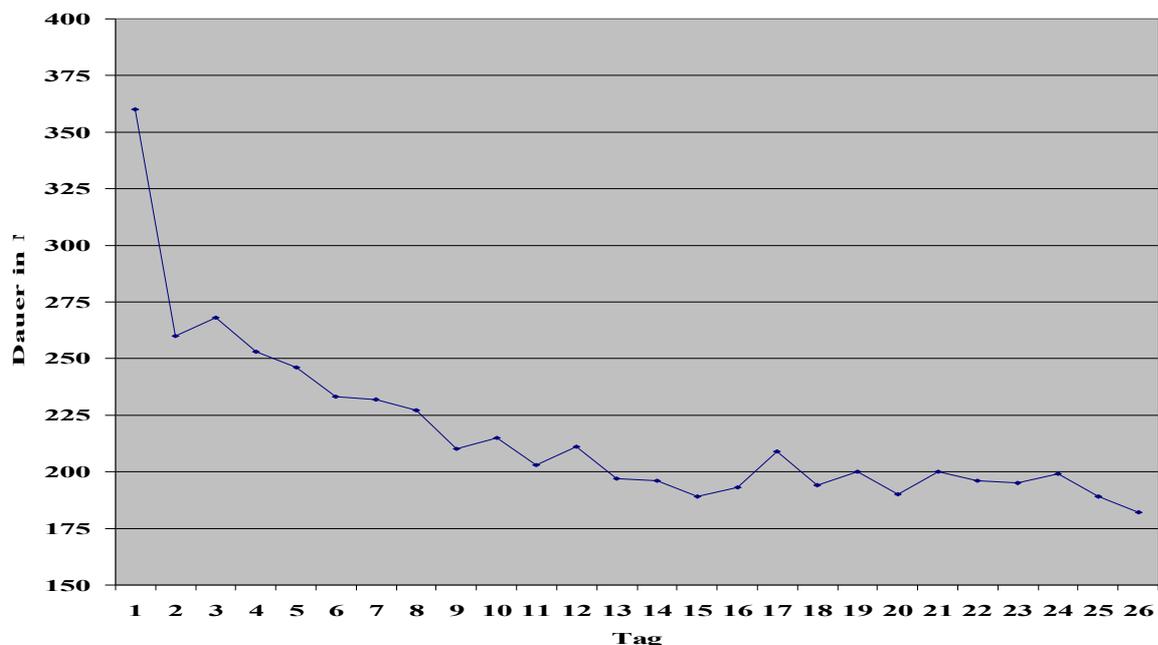
d.10 Lagewehseldauer des Operationstisches

Für einen intraoperativen Lagewechsel des Operationstisches mussten alle Instrumente und die Kamera-/Endoskopkombination aus den Trokaren entfernt und der Patientenwagen neu zum Operationstisch ausgerichtet werden. Ab dem 5. Übungstag betrug diese Zeit im Median 4 Minuten (range, 3-25).

d.11 Operationssaal-Benutzungsdauer

Die Benutzungsdauer des Operationssaales ist die Zeit zwischen der Installation, den Abbau von *da Vinci™*, die Operation und die mechanische Reinigung aller wieder verwendbaren Materialien und Instrumente. Diese Benutzungsdauer betrug im Median 201 Minuten (range, 182-360).

Mit fortgesetzten Trainingstagen kam es zu einem hoch signifikanten Abfall der Benutzungsdauer des Operationssaales ($p < 0.001$). Zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 bestand ein hoch signifikanter Unterschied ($p = 0.001$) jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 ($p = 0.343$). Auch zeigte sich ein Unterschied der Werte der Gruppe 1 (Median 232, range 210-268), Gruppe 2 (Median 196, range 189-211) und Gruppe 3 (Median 195, range 182-200).



Graphik d.11: Operationssaal-Benutzungsdauer

E. DISKUSSION

e.1 Machbarkeit der HDW mit *da Vinci* am Schwein und Wahl der Operationsmethode

Nach der klinischen Zulassung von *da Vinci*TM für gastrointestinale Operationen im September 2000 durch die Federal Drug Administration (FDA) wurde wiederholt die technische Machbarkeit insbesondere der Cholezystektomie und der Fundoplikatio nach Nissen mit *da Vinci*TM am Menschen dokumentiert [27]. Nur sehr wenige Studien wurden am Schwein durchgeführt. 2003 berichteten erstmals Ruurda und Broeders über die technische Machbarkeit der Darmanastomose am Schwein mit *da Vinci*TM [26]. Bislang wurden keine Daten über die technische Machbarkeit der Hemifundoplikatio am Schwein mit *da Vinci*TM publiziert. Die Machbarkeitsrate von 100 % für die Hemifundoplikatio nach Dor und Watson am Schwein mit *da Vinci*TM deckt sich mit den bisher veröffentlichten Resultaten am Menschen [14].

Für die Herstellung einer Antirefluxbarriere am unteren Ösophagus existieren verschiedene Operationstechniken [113]. Die Fundoplikatio nach Nissen ist eine der am meisten angewandten Techniken als Therapie der Refluxkrankheit [119]. Aufgrund ihrer einfachen technischen Durchführbarkeit [112] und ihrer Beherrschung durch das Team aus Nancy wurde die HDW als Trainingsoperation ausgewählt. Gründe für ihre vermehrte Anwendung in Nancy sind im Vergleich zu der Nissen-Technik geringere Dysphagieraten [119,125,126] und weniger postoperative „gas bloat“-Syndrome [127] mit Behinderung des Aufstossens und des Erbrechens [124,102].

Aufgrund der verminderten Anzahl der Dissektionsschritte [112] eignete sich die Dor-und-Watson-Technik als Übungsoperation im engen Raum des gastroösophagealen Überganges besser.

e.2 Trokaranzahl und –positionierung in der Abdominalwand

Die Anwendung von *da Vinci*TM erforderte eine neue Strategie bei der Anordnung der Trokare [57]. Die Trokarlage weicht von der der konventionellen Laparoskopie ab, wo die Trokare aufgrund der starren Instrumente so nah wie möglich aneinander und an das zu operierende Organ (Zielorgan) zu setzen sind. Umgekehrt sind die *Endowrist*TM-Instrumente infolge ihres distalen Gelenks ausreichend weit voneinander und vom Zielorgan zu platzieren, damit sie

über ihren vollen Bewegungsumfang verfügen [73]. Eine optimierte Trokarlage erhöht die Effizienz von *da Vinci™* und beeinflusst die Operationsdauer [74]. Zu nahe zueinander positionierte Trokare können durch Kollision zwischen *Endowrist™*-Instrumente und Endoskop zu Gewebeerletzungen oder Materialschäden führen [73,96]. Aufgrund des fehlenden taktilen Feedback spürt der Operateur an den Master die Erschütterungen beim Zusammenstoß der Instrumente nicht und ist auf die Warnung durch seinen Assistenten angewiesen.

e.3 Komplikationen

Die nur geringe Rate an Gefäßverletzungen durch die *Endowrist™*-Instrumente wird auf die Beachtung der oben erwähnten Regeln zur Trokarplatzierung zurückgeführt. In einem Fall bevorzugte der Operateur, den Eingriff vorübergehend in eine offene Operationsvariante zu konvertieren, um die Gefäßnaht durchzuführen.

Viele Komplikationen konzeptueller Art sind auf die fehlende taktile Krafrückmeldung zurückzuführen [56]. Der Operateur verfügt weder über eine sensorische Rückmeldung noch über eine Kräfteübermittlung der Instrumentenspitzen auf die Master [54]. Bei fehlender Übung kann dies zu Verbiegung oder Brechen der Nadel, Reißen des Fadens oder zu Gewebeerletzungen führen. Bei Kollision zwischen den Instrumenten riss in einem Fall das Stahlkabel eines *Endowrist™*-Instruments, welches ersetzt werden musste. Ursächlich für diesen kostenspieligen Zwischenfall waren eine mangelnde Kommunikation zwischen Assistenz und Operateur sowie zu nah zueinander [73,96] gesetzte Trokare. Eine drohende Instrumentenkollision bemerken die Assistenten am und um den Operationstisch durch Beobachtung der Arme des Patientenwagens eher als der Operateur selbst, der sich auf das 3D-Videobild im Stereosucher konzentriert. Im Falle einer drohenden Kollision ist der Operateur durch die Assistenten mündlich zu warnen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der Kommunikation zwischen Operateur und Assistenz [60], die zu jeder Zeit Überblick über das Operationsfeld haben muss.

Der Operateur muss erlernen, seine Greifkraft über das farbige, vergrößerte 3D-Videobild abzuschätzen. Dies wird durch eine gute Augen-Hände-Koordination erleichtert, d.h. durch das virtuelle Alignment der Augen und Hände mit den Instrumentenspitzen [55-56, 58, 65]. Wie in der Literatur beschrieben wird der Nachteil des fehlenden taktilen Feedbacks durch das optimierte 3D-Videobild teilweise wettgemacht [60]. Anhand der durch die

Instrumentenspitzen verursachten Gewebeerformungen muss der Operateur lernen, die erzeugte Kraft am Bildschirm abzuschätzen.

Weitere Komplikationen haben ihren Ursprung in der ungenügenden Beherrschung der zahlreichen Zusatzfunktionen von *da Vinci™*. Durch eine zu seltene Bedienung der Pedalfunktion CLUTCH kam es wiederholt zu Zusammenstößen der Master mit dem Plastikgehäuse der Chirurgenkonsole. Aufgrund eines aktivierten Ausklinkknopfes des Patientenarmgelenks reagierte dreimal das Instrument nicht auf die Bewegung der Master. Die schlechten Sichtverhältnisse und das nicht zentrierte Operationsbild sind auf die anfänglich falsche Lage des Endoskoptrokkars, die aufgetriebenen Darmschlingen bei unzureichender Nüchternzeit des Schweins (unter 48 Stunden) und den zu seltenen Gebrauch der Pedalfunktionen FOCUS und CAMERA zurückzuführen. Zweimal konnte ein *Endowrist™*-Instrument nicht weiterverwendet werden. Während einer Operation wurde die maximale Anzahl an Anwendungen durch wiederholtes Ein- und Auswechseln desselben Instruments erreicht. *Endowrist™*-Instrumente haben eine auf neun Anwendungen begrenzte Lebensdauer und müssen danach zwingend ausgetauscht werden [56].

Zu Beginn der Schulung kam es viermal zu nicht behebbaren, kritischen Fehlerzuständen: Probleme bei der Messung der Armposition, Wahrnehmung einer unerwarteten Armbewegung, übermäßige Kraftausübung an den Armen und Fehlen der Reserve-Stromversorgung. Zur Vermeidung unkontrollierter Bewegungen der Instrumentenarme wurden reflektorisch alle Servomechanismen des Patientenwagens automatisch ausgeschaltet, Kamera- und Instrumentenarme abgebremst und ihre Positionen im Raum eingefroren. Zum Aufheben dieser Fehlerzustände mussten die Eingriffe unterbrochen und *da Vinci™* neu gestartet werden. Das Auftreten solcher Fehlerzustände ist auf die Unerfahrenheit des Teams zurückzuführen, verdeutlicht die Notwendigkeit einer ausreichend langen Schulung [120] und rechtfertigt die hier durchgeführten 26 Übungseinheiten.

Dreimal kam es durch Berührung von Lebergewebe mit dem Endoskop zu oberflächlichen Verbrennungen. Ursächlich hierfür war die Temperatur des distalen Endoskopendes von über 41 °C.

Dreimal kam es durch Einführen von Nadelmaterial durch die *Endowrist™*-Instrumententrokare zu Einrissen der Plastikadapter und aufgrund undichter Stellen zur Abnahme des Pneumoperitoneums. Der Eingriff musste kurzzeitig unterbrochen und der Plastikadapter ausgetauscht werden. Nachfolgend wurden Nadeln nur noch durch die Assistenztrokkare ohne Plastikadapter eingeführt.

Die Komplikationen organisatorischer Art beruhten auf Abstimmungsproblemen und Unerfahrenheit. Deutlich leichter zu kneten waren Fäden mit einer gekürzten Länge von 5-10 cm. Um den Operationsablauf nicht zu stören, wurden die Fadenreste jeweils zusammen am Ende eines Operationsschrittes durch den Assistentztrokar entfernt. Diese Vorgehensweise stellte sich für den Operateur als weniger störend heraus als die Fadenrestentfernung nach jedem Knoten.

Eine zweite unsterile Operationsschwester war für das Besorgen von Zubehör erforderlich. Ihre Abwesenheit führte zweimal zu erheblichen Zeitverzögerungen.

Einmal wurde die Kamera-/Endoskop-Kombination geräteseitig nicht erkannt. Ursache hierfür war der während der vorhergehenden Übung in der falschen Reihenfolge abgeschaltete Videowagen. Anschliessend wurde eine bestimmte Reihenfolge beim Ein- und Ausschalten der drei *da Vinci™*-Komponenten berücksichtigt.

Wie von Mehrabi et al. dokumentiert, kam es mit steigender Erfahrung mit *da Vinci™* zu einer immer geringeren Komplikationsrate [120].

Insgesamt zeigten sich keine Komplikationen, die ausschliesslich auf die Anwendung von *da Vinci™* zurückzuführen waren. Diese Einsatzsicherheit ist in der Literatur anhand der begrenzten Anzahl an intraoperativen Komplikationen und Konversionen beschrieben [29,57, 58, 61,120,130].

e.4 Kosten

Die meisten Studien über eine innovative medizinische Technologie werden aus Kostengründen an nicht animierten Modellen (bestehend aus Kugeln, Seilen, Hacken) oder an Leichen durchgeführt [45,51-53]. Das Schwein als Trainingsmodell ermöglichte hier realistische Arbeitsbedingungen [120].

Auch diese Studie illustriert das generelle Problem der hohen Kosten für Anschaffung, Wartung und Anwendung eines chirurgischen Roboters wie *da Vinci™* [56,67]. Der Kostenfaktor ist der Hauptgrund, weshalb die Überlegenheit von *da Vinci™* zur konventionellen Laparoskopie bisher nicht belegt werden konnte [36,135].

e.5 Subjektiv angegebene Müdigkeit von Operateur und Assistenz

Eine objektive Beurteilung der Müdigkeit ausschliesslich infolge der Benutzung von *da Vinci™* war nicht möglich. Die 24 autodidaktischen Übungen fanden am Nachmittag nach 16 Uhr statt. Messungen der Muskelaktivität wie in [47] per Elektromyographie zur Beurteilung der

muskulären Anspannung wurden nicht durchgeführt. Die Bewertung der Müdigkeit erfolgte subjektiv. Insgesamt zeigten sich dennoch konkordante Aussagen mit der Literatur. Die ergonomische und sitzende Arbeitshaltung mit Kopfstütze und Armlehne verringert die Ermüdung des Operateurs [56-57,65,70,72]. Die selbständige Kamerakontrolle und die vereinfachte Augen-Hände-Koordination, wonach Augen und Hände mit den Instrumentenspitzen auf einer Linie liegen, fördern das ergonomische Arbeiten [48,56,58-59,62-66,68-69,75,87]. Der Assistent hingegen erfuhr eine ähnlich hohe muskuläre Anspannung wie in der konventionellen Laparoskopie. Er sass zwischen den Armen des Patientenwagens, was die Bedienung der Assistenzinstrumente erschwerte.

e.6 Übungsdauer

Ausser an den beiden ersten Tagen war die Übungszeit an den restlichen 24 Tagen ähnlich lang. Die Trainingszeiten lagen immer am Nachmittag nach 16 Uhr und nach Beendigung des regulären Operationsprogrammes. Die Dauer der einzelnen Übungstage richtete sich nach der Verfügbarkeit des Teams. Dies verdeutlicht die Problematik, dass ein Chirurg sich neue Technologien ausserhalb seiner Dienstzeit aneignen muss [117]. Die entsprechend reduzierte Konzentrationsfähigkeit verlängerte wahrscheinlich die Manipulationszeiten.

Weiterhin ist die Motivation, seine Gewohnheiten zu ändern, um eine neue Technik zu erlernen, ein besonders wichtiger Faktor für ein erfolgreiches Training. Dieser autodidaktische Prozess beeinflusst die Lerngeschwindigkeit der neuen Technik [59].

Der klinische Erfolg von *da Vinci™* ist nicht nur von der Motivation seiner Benutzer, diese Technik anzuwenden und sie weiterzuentwickeln abhängig, sondern auch von der Verfügbarkeit von geschultem Personal [59]. Das vollständige Training über 26 Tage durchlief hierbei nur eine kleine Personengruppe. Die effiziente Anwendung von *da Vinci™* erfordert gemäss Literatur eine konstante Bedienergruppe [59], die sich aus Operateur, Assistent und Krankenschwester zusammensetzt. Diese Gruppe ist umso effektiver je regelmässiger sie zusammenarbeitet. Der Ausfall eines einzelnen Mitgliedes schadet der Gruppenqualität und kann ein erhöhtes Komplikationsrisiko z.B. infolge einer falschen Handhabung zur Folge haben [59].

e.7 Manipulationszeiten

In den zwei ersten Tagen waren die Manipulationszeiten aufgrund zahlreicher theoretischer Erläuterungen länger als an den restlichen 24 Übungseinheiten, die nach dem Prinzip *learning*

by doing absolviert wurden. Ein ähnliches Trainingsmodell am Schwein zur Einführung innovativer chirurgischer Techniken wurde 2004 durch Hanly et al. beschrieben [29,49].

Wie in der Literatur erwähnt [29,35,49,99,131-134] wurde der grösste Lernerfolg bereits nach wenig Training innerhalb der ersten 10 Tage verzeichnet mit einer hoch signifikanten Verringerung aller Manipulationszeiten ($p=0.001$).

Die hoch signifikanten Unterschiede der Installations- und Operations- und Operationssaalbenutzungsdauer in den Gruppen 1 und 2 bestätigen, dass die Bedienung von *da Vinci™* zur Durchführung eines relativ einfachen chirurgischen Eingriffs nur eine kurze Lernkurve benötigt. Die Ursachen für die Verringerung der Operationssaalbenutzungsdauer liegen hauptsächlich in der Optimierung der Installations- und Abbauzeiten von *da Vinci™*. Der weiterhin bestehende hochsignifikante Unterschied der Installationszeiten zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 zeigt, dass die Lernkurve für die Installationszeit auch nach 26 Übungseinheiten nicht abgeschlossen war. Hingegen waren die Lernkurven für die Operations- und Saalbenutzungsdauer sowie Instrumenten- und Operationstischlagewechseldauer bereits innerhalb der ersten 18 Tage abgeschlossen.

Da Vinci™ ist eine komplexe Technologie, dessen Installation und steriles Abdecken zeitaufwendiger sind als für konventionelle Laparoskopietechniken [56,59]. Installations- und Operationszeiten sind umgekehrt proportional zu der Erfahrung seiner Benutzer [83]. Nicht geübte Chirurgen operieren mit *da Vinci™* länger als mit einer konventionellen Technik [58,60]. Mit wachsender Erfahrung sind diese Operationszeiten mit denen in der konventionellen Chirurgie vergleichbar. Einzig die Benutzungszeiten des Operationssaals bleiben mit *da Vinci™* länger als mit konventionellen Techniken [135]. Dies ist auf die Zeiten für die Einschaltsequenz, das sterile Einkleiden der Arme des Patientenwagens, das Positionieren der Instrumente, die Ausschaltsequenz und die manuelle Reinigung wieder verwendbarer Komponenten zurückzuführen.

Es ist hervorzuheben, dass die Bedienung von *da Vinci™* ohne die zwei von Intuitive Surgical organisierten Einführungstage nicht möglich gewesen wäre. Diese von den Gesundheitsbehörden vorgeschriebene Schulung ist Voraussetzung, um die klinische Zulassung für eine innovative chirurgische Technologie zu erhalten und um Unfällen durch falsche Handhabung vorzubeugen [35]. Gleichzeitig macht diese Problematik die Abhängigkeit des Benutzers vom Hersteller deutlich [59]. Die Benutzung von *da Vinci™* basiert auf einem Dualismus zwischen dem Chirurgen als Anwender und dem Hersteller, der die Technik zur Verfügung stellt. Die Beherrschung der Technik durch den Chirurgen und ihre Weiterentwicklung durch den Hersteller definieren die gegenseitige Abhängigkeit. Ohne

ihre Anwendung kann die Technik nicht den Bedürfnissen des Chirurgen angepasst und ohne den Hersteller kann sie nicht ständig auf den neusten Stand gehalten werden.

In der Literatur werden widersprüchliche Aussagen darüber gemacht, ob die Erfahrung in konventioneller Laparoskopie die Lernkurve mit *da Vinci™* verkürzt [61,66]. Gemäss Di Lorenzo et al. ist die Geschicklichkeit mit *da Vinci™* signifikant abhängig von der langjährigen konventionell laparoskopischen Erfahrung des Operateurs [50]. Mehrabi [120] und Hubert [56] hingegen zeigen, dass unerfahrene Chirurgen mit *da Vinci™* eine Verringerung ihrer Lernkurve, erfahrene Laparoskopiker hingegen eine Ausweitung ihrer Fähigkeiten hin zu komplexeren chirurgischen Techniken erfahren [100,104,105]. Angehende Chirurgen der sogenannten Computerspielgeneration gehen mit den Master geschickter um als erfahrenere Kollegen und können rasch relativ komplexe Eingriffe mit *da Vinci™* durchführen [46,120]. Dies ist wohl auch auf deren bessere Augen-Hände-Koordination zurückzuführen [66,120]. In dieser Studie besaßen die Operateure keinerlei Vorerfahrung in der CUMIC. Ihre mehrjährige Erfahrung in konventioneller Laparoskopie drückte sich jedoch nicht in einer vereinfachten Handhabung der Master und einer kürzeren Lernkurve aus [35,36].

Bereits ab dem 4. Übungstag war die Instrumentenwechseldauer vergleichbar mit der in der konventionellen Laparoskopie [29,46].

Im Gegensatz zu *Zeus™* ist *da Vinci™* nicht am Operationstisch fixiert. Bei jedem intraoperativen Lagewechsel des Operationstisches mussten alle Instrumente und die Kamera-/Endoskopkombination aus den Trokaren entfernt und der Patientenwagen neu zum Operationstisch ausgerichtet werden. Dies führte zu Zeitverlusten und zeigte, wie wichtig es ist, den Operationstisch vor dem Andocken des Patientenwagens in die benötigte Lage zu bringen [37]. Werden die Instrumente beim Bewegen des Operationstisches im Abdomen belassen, kann dies zu inneren Verletzungen führen [60].

Bei einem Wechsel des Operationsfeldes (z.B. Erkundung des Oberbauchs und des Beckens) ist der chirurgische Eingriff ebenfalls zu unterbrechen, um die Trokare und Arme des Patientenwagens neu zu setzen [86]. In seiner aktuellen Version ist *da Vinci™* für das präzise Operieren in einem begrenzten Raum ausgelegt [56,76], wie z.B. die Durchführung von Mikroanastomosen oder Dissektionen der Gallengänge [65,77-82]. Die meisten Schwierigkeiten treten in der kolorektalen Chirurgie auf [86], wo häufige Positionswechsel des Operationstischs und der Instrumente erforderlich sind [76].

Folgende Fragestellungen bleiben durch randomisierte Studien weiterhin zu analysieren:

- mindert das präklinische Training mit einer CUMIC-Technik die klinische Komplikationsrate und fördert es die Entwicklung der CUMIC-Technik ?
- führt das präklinische Training zu einer höheren wirtschaftlichen Rentabilität der CUMIC-Technik und Wettbewerbsfähigkeit des Krankenhauses
- ist die *da Vinci™*-assistierte Hemifundoplikatio sicherer als die konventionell laparoskopisch konfektionierte Manschette ?
- ist *da Vinci™* als Hauptvertreter der CUMIC der konventionellen Laparoskopie überlegen ?

e.8 Perspektiven in der Chirurgie

Die technische Durchführbarkeit einer tele-assistierten Operation, wo der erfahrene Chirurg den unerfahrenen Kollegen per Telekommunikationstechnologie beaufsichtigt und ggf. in das Operationsgeschehen eingreift, wurde bereits am Beispiel Nephrektomie und Kolektomie gezeigt [98,106-108,114-118,129,137].

Operationssimulatoren, an denen der Chirurg präoperativ die einzelnen Operationsschritte einüben könnte und die ihn intraoperativ leiten würden, wären eine weitere Entwicklung [50,85,105].

e.8.1 Virtuelle und erweiterte Realität

Als Virtuelle Realität (VR) wird die Darstellung und die Wahrnehmung der Wirklichkeit mit ihren physikalischen Eigenschaften in einer computergenerierten virtuellen Umgebung bezeichnet. Angewandt auf die Chirurgie erlaubt eine 3D-Modellierung der Patientenanatomie eine realitätsgetreuere Darstellung der Strukturen, zwischen denen der Chirurg sich fortbewegen kann [97].

Die VR ist gekennzeichnet durch [97]:

- Immersion: der Anwender taucht mit Hilfe eines stereoskopischen Helms in die virtuelle Umgebung ein
- Navigation: der Anwender bewegt sich frei inmitten der virtuellen Umgebung
- Interaktion: der Anwender interagiert mit den ihn umgebenden Objekten und kann sie verändern

Die VR mit der 3D-Darstellung der menschlichen Organe wird in der Leberchirurgie angewendet [97], in der die Gefässverläufe das Volumen des zu entfernenden Parenchyms bestimmen. Die Resektion von Tumorgewebe soll vollständig, jedoch nicht übermässig sein, um nicht eine Leberinsuffizienz durch Entfernung von zuviel Lebergewebe herbeizuführen. Eine präoperative Bestimmung des zu resezierenden Gewebes und des Lebervolumens nach Resektion vereinfacht die Planung und Durchführung des chirurgischen Eingriffs mit seinen möglichen Folgen. Bisher verfügte der Operateur nur über eine mentale, nicht quantifizierbaren 2D-Darstellung der Leber, die zu einer nicht optimalen Leberexhärese führte.

In Zukunft wird sich der Operateur anhand von CT- und MRI-Bildern dreidimensional rekonstruierten Organen mit allen Gefäss- und Nervenverläufe fortbewegen können, verschiedene Tumorsektionen simulieren und den optimalen Resektionsabstand zum gesunden Gewebe bestimmen. Die Tumordarstellung in 3D ermöglicht es, das Tumolvolumen zu verschiedenen Zeitpunkten der Therapie zu berechnen und durch Vergleich der Volumina den Therapieerfolg zu bewerten.

Eine weitere Entwicklung der 3D-Darstellung wäre die Schaffung eines virtuellen menschlichen Körpers, der die Simulation von chirurgischen Eingriffen mit ihren Folgen auf die verschiedenen Organsysteme erlaubt. Die Abbildung der menschlichen Organe als Hologramme würde das Tragen von speziellen Brillen überflüssig machen und dem Chirurgen gestatten, das zu operierende Organ vor dem Eingriff genau und aus allen Blickwinkeln zu untersuchen und verschiedene chirurgische Strategien einzustudieren, ohne den Patienten zu berühren [97]. Die für die Hologrammdarstellung benötigten Daten würden mit der konventionellen Radiologie (CT, MRI, Ultraschall) gewonnen werden.

e.8.2 Operationsplanung

Die VR erlaubt der Planung und Überwachung eines chirurgischen Eingriffs [96-97]. Die Operationstechnik würde präoperativ analysiert und am virtuellen Organ getestet werden. Gekoppelt mit der CUMIC würde die VR eine Kontrolle aller Handlungen des Operateurs zulassen. Alle chirurgischen Einzelschritte würden während der Operation mit dem zuvor erarbeiteten Informatikmodell konfrontiert werden. Im Falle einer fehlerhaften Handlung

seitens des Operateurs, z.B. bei einer unbeabsichtigten Durchtrennung eines Nerven, würde der Eingriff zuvor unterbrochen werden. Am Bildschirm würden die zu schützenden Strukturen farblich gekennzeichnet werden.

Die CUMIC in Verbindung mit der VR erlaubt die Planung, Simulation und die Kontrolle des operativen Eingriffs [74,96]. Derzeit werden die Trokare gemäss der Erfahrung des Operateurs oder auf der Grundlage von an Leichen oder Tieren durchgeführten Operationen gesetzt. Eine präoperative informatikgestützte Operationsplanung könnte die Trokarlage optimal an die Patientenanatomie anpassen.

Am Beispiel einer koronaren Bypassoperation könnte sich die Operationsplanung mit Hilfe eines CUMIC-Systems wie *da Vinci™* wie folgt darstellen [74,96]:

e.8.2.1 Organmodellierung

Die präoperative Planung des chirurgischen Eingriffs beginnt mit der 3D-Rekonstruktion des zu operierenden Organs (das Herz als Zielorgan) und der umgebenden Strukturen (der Brustkorb) anhand von CT- und MRI-Bildern. In dem so erhaltenen anatomischen Modell werden Areale definiert, in denen die Roboterinstrumente eindringen dürfen und Areale, die verboten sind. Die verbotenen Areale dürfen zum Erreichen des Zielorgans nicht durchquert werden. Ihre Durchdringung würde zu Gewebeschäden führen. Das anatomische Organmodell wird nun mit einem geometrischen Modell des CUMIC-Systems *da Vinci™* gekoppelt, um die Platzierung der Trokare in Abhängigkeit der Patientenanatomie und der einzelnen Operationsschritte zu optimieren. Die Trokareinstichstellen werden derart gewählt, dass Zusammenstösse zwischen den Roboterinstrumenten vermieden werden.

Z.z. weist die dynamische 3D-Organmodellierung folgende Probleme auf [97]:

- die Genauigkeit der Organwiedergabe. Das virtuelle Organmodell setzt sich aus mehreren Dreiecken zusammen und stellt nur eine ungefähre Kopie der Realität dar
- die Berücksichtigung der Organverformungen. Im Vergleich zu einer statischen Form wie ein Knochen verändert ein verformbares Organ wie das Herz seine Form ständig. In der Planungsphase werden die Trokarstellen nur für eine bestimmte geometrische Form und Lage des Zielorgans berechnet. Bei einem bewegten Zielorgan sind die Trokare in Abhängigkeit von der Organlage und –form ständig neu zu platzieren, um einen optimalen Abstand zwischen Trokare und Zielorgan zu gewährleisten.

Die Schwierigkeit liegt in der Simulation der natürlichen Organbewegungen. Ziel ist es, das Organmodell und die in der Planungsphase virtuell erarbeiteten und bestätigten Operationsschritte in das reelle Arbeitsgeschehen zu integrieren. Dieses Konzept der *erhöhten Realität* würde eine genauere Kontrolle der Instrumentenarmpositionen und der chirurgischen Einzelschritte durch Erkennung der anatomischen Strukturen ermöglichen. So könnte z.B. eine Gefäßsektion vom Computer überprüft werden, bevor sie vom Operateur veranlasst wird. Dieses Konzept der *erhöhten Realität* würde in der Ausbildung angehender Chirurgen Anwendung finden. Im Rahmen der informatikgestützten Operationsüberwachung würde ein Operationsschritt intraoperativ vom Computer überprüft werden, bevor er tatsächlich vom Operateur durchgeführt würde.

In Zukunft werden die Roboterinstrumente die rhythmischen Organbewegungen des Herzens automatisch verfolgen und dem Operateur den Eindruck verleihen, er operiere an einem unbeweglichen Organ [74].

e.8.2.2 Trokarpositionierung

Computergesteuert erfolgt die optimale Trokarpositionierung zum Zielorgan, um eine maximale Bewegungsamplitude der Roboterarme zu gewährleisten und Kollisionen zwischen den Roboterarmen zu vermeiden.

e.8.2.3 Bestätigung und Simulation am Informatikmodell

In dieser Etappe wird die technische Durchführbarkeit der geplanten Operation gemäss der ermittelten Modellierung des Zielorgans, des CUMIC-Systems und der computergestützten Trokarpositionierung geprüft. An einem Informatikmodell erfolgt die Simulation der Operation in all ihren Einzelheiten. Bei Problemen (z.B. Kollision zwischen zwei Roboterarmen oder mit einer anderen anatomischen Struktur) kann der Operateur die Trokarlage verändern, bis er die optimale Operationskonfiguration erhält, die er bestätigt. Diese Simulation erlaubt es, verschiedene Operationsstrategien auszuprobieren, Operationstechniken einzuüben und angehende Chirurgen zu schulen.

Die Anwendung dieser computergestützten Operationsplanung am Menschen könnte in Zukunft zu einer vollständigen Automatisierung des Operierens führen. In Abhängigkeit von

der geplanten Operation würde der Chirurg ein entsprechendes Informatikmodell wählen, die spezifischen Patienten- und Zielorgandaten eingeben, den Operationsvorgang simulieren und ggf. optimieren. Anschliessend hätte er die Wahl zwischen selbst operieren (der Computer überwacht den Chirurgen und unterbricht den Eingriff, bevor dieser einen Fehler begeht) oder operieren lassen (von der Steuerkonsole aus überwacht der Chirurg das computergesteuerte Operieren und greift nur bei Problemen ein) [74].

F. ZUSAMMENFASSUNG

Die Durchführung abdomineller Eingriffe mit Hilfe von Fernsteuerungssystemen für endoskopische Instrumente beinhaltet große Differenzen gegenüber der konventionellen Laparoskopie. In dieser Untersuchung wurden erstmalig die Lernkurvenparameter der Hemifundoplikatio nach Dor und Watson (HDW) mit dem *da Vinci* System am Schwein evaluiert. An 26 Tagen führte ein allgemeinchirurgisches Team des Universitätsklinikums Nancy/Frankreich ohne Vorkenntnisse in computerunterstützter Chirurgie insgesamt 26 HDW mit *da Vinci* an 26 Schweinen durch. Gemessen wurden die Dauer für Übung, Installation, Operation, Saalbenutzung, Instrumentenwechsel und Operationstischlagewechsel, bestimmt wurden zudem Komplikationen und Kosten. Median (Range) der täglichen Übungsdauer betragen 190 (120-480) Minuten, der Installationsdauer 23 (18-120) Minuten, der Operationszeit 96 (84-155) Minuten, der Operationssaal-benutzungsdauer 201 (182-360) Minuten, der Instrumentenauswechseldauer 1 (1-5) Minuten, der Operationstischlagewechseldauer 4 (3-25) Minuten.

Zur Beurteilung des Lernfortschritts wurden nach zwei Einführungstagen die nachfolgenden 24 Übungstage in drei gleichlange Gruppen unterteilt (Gruppe 1/2/3: Tag 3-10/11-18/19-26). Für alle Manipulationszeiten zeigte sich ein signifikanter Abfall zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 ($p < 0.05$), nicht aber zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 ($p > 0.1$), lediglich für die Installationsdauer war ein weiterer signifikanter Abfall zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 zu verzeichnen ($p = 0.012$). Die Lernkurven erreichten mithin innerhalb 18 Tagen asymptotische Werte.

Zweimal (8 %) kam es zu intraoperativen Blutungen durch Verletzung der Vena cava inferior. Eine Operation (4 %) musste vorübergehend, keine jedoch endgültig in eine offene Operationsvariante konvertiert werden. Von 1647 Euro für eine *da Vinci* -assistierte HDW am Schwein entfielen 1231 Euro (74.7 %) auf den Einsatz von *da Vinci*. Die Etablierung eines Fernsteuerungssystems für endoskopische Instrumente (*da Vinci*) erscheint mit vertretbaren Kosten und Übungszeiten möglich.

G. LITERATURVERZEICHNIS

- 1 LOOP FD (1998) *Coronary artery surgery: the end of the beginning*, Cardiothor Surg, 14, 554-571
- 2 CHITWOOD WR Jr (1999) *Surgery for acquired cardiovascular disease*, J Thorac Cardiovasc Surg, 118, 1-3
- 3 REIFFERSCHIED M, WELLER S (1989) *Chirurgie*, Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag, 8, 197-229
- 4 BRUHAT MA et coll (1994) *La cœlioscopie : installation et matériel*, In: Informatisation de l'Unité de Soins du Futur / ed. par DEMONGEOT J, LE BEUX P, WEIL G, Informatique et Santé, Springer-Verlag France, 7, 25
- 5 CADIÈRE GB (1995) *Traitement du reflux gastro-oesophagien par coeliovidéoscopie*, Editions Techniques, Encycl Méd Chir (Paris-France), Techniques Chirurgicales – Appareil Digestif, 40-189, 10
- 6 CADIÈRE GB (2000) *Chirurgie laparoscopique par robot : système Mona™ / Da Vinci™* In: Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur / ed. par MARESCAUX J., SEZEUR A., France : Arnette, 177-185
- 7 CADIÈRE GB, LEROY J (1999) *Principes généraux de la chirurgie laparoscopique*, Encycl.Méd.Chir. (Elsevier, Paris), Techniques Chirurgicales – Appareil Digestif, 40-050, 9
- 8 MÜLLER JM (1999) *Videoendoskopische Chirurgie – Eine Standortbestimmung*, Dt Ärztebl, 26, 1779
- 9 REVERMANN H, SONNTAG PH (1987) *Schlüsseltechnologien: Turbulenter Wandel der Industrie durch innovative Dynamik*, Berlin Offenbach: vde-Verlag GmbH, 63-69
- 10 *Le Petit Larousse Grand Format 2001* (2000) Larousse Paris, 1413
- 11 MARESCAUX J, SEZEUR A, GOSSOT D, MUTTER D (2000) *Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur*, Monographies de l'Association Française de Chirurgie, Arnette France, 208-209
- 12 COIFFET P (2000) *Robots*, Encyclopaedia Universalis France, 6, 1-15
- 13 ESPIAU B (2000), *La Robotique – Histoire et perspectives*, INRIA Rhône-Alpes, 1-12
- 14 AYAV A, BRESLER L, BRUNAUD L, BOISSEL P (2004) *Early results of one-year robotic surgery using the Da Vinci system to perform advanced laparoscopic procedures*, J Gastrointest Surg, 8, 720-726
- 15 ESPIAU B (2000), *La science au Présent 2001 : La robotique : état des lieux et perspectives*, ed. Encyclopaedia Universalis, 245-256
- 16 DARIO P, GUGLIEMELLI E, ALLOTTA B, CARROZZA MC (1996) *Robotics for Medical Applications*, IEEE Robotics & Automation Magazine, 1070-9932, 44-54
- 17 LANDAIS P, JAIS J-P, DEMONGEOT J (1999) *Information et informatique en médecine*, mt, 5, 23

- 18 ZERAH M, DRUET H, CINALLI G, BRUNELLE F, SAINTE-ROSE C (1998) *Robotique et neurochirurgie*, mt, 4, 137-144
- 19 BRUHAT MA, DUBOIS F et coll (1992) Introduction à *La chirurgie abdomino-pelvienne par cœlioscopie*, Monographies de l'Association Française de Chirurgie, Springer-Verlag France, 7-8
- 20 GOSSOT D, MUTTER D, LEROY J, GAYET B, SEZEUR A (2000) *Le Bloc opératoire : présent et futur*, In: Nouvelles Technologies et Chirurgie du futur / ed. par MARESCAUX J, SEZEUR A et coll., ed Arnette Groupe Liaisons, 100
- 21 GOSSOT D (2000) Les Instruments chirurgicaux In: *Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur* ed. par MARESCAUX J., SEZEUR A., GOSSOT D., MUTTER D., Monographies de l'Association Française de Chirurgie, Arnette France, 9-17
- 22 GOSSOT D, MUTTER D, LEROY J, GAYET B, SEZEUR A (2000) *Le bloc opératoire : présent et futur* In: *Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur* ed. par MARESCAUX J, SEZEUR A, GOSSOT D, MUTTER D, Monographies de l'Association Française de Chirurgie, Arnette France, 99-122
- 23 GREEN PS, HILL W, JENSEN JF, SHAH A (1995) *Telepresence Surgery*, IEEE Engineering in Medicine and Biology, 324-329
- 24 MARESCAUX J, SMITH M (2000) *Chirurgie laparoscopique : système Zeus™* In: *Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur* ed. par MARESCAUX J, SEZEUR A, GOSSOT D, MUTTER D, Monographies de l'Association Française de Chirurgie, Arnette France, 187-192
- 25 CADIÈRE GB (2000) *Chirurgie laparoscopique par robot : système Mona™/da Vinci™* In: *Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur* ed. par MARESCAUX J, SEZEUR A, GOSSOT D, MUTTER D, Monographies de l'Association Française de Chirurgie, Arnette France, 177-185
- 26 RUURDA JP, BROEDERS IA (2003) *Robot-assisted laparoscopic intestinal anastomosis*, Surg Endosc,17, 236-41
- 27 BALLANTYNE GH (2007) *Telerobotic gastrointestinal surgery: phase 2 - safety and efficacy*, Surg Endosc,21, 1054-1062
- 28 GUTT CN, REITER MA, KÖNINGER J, CHOUDHRY A, MEHRABI A, BÜCHLER MW (2005) *Robotik in der Viszeralchirurgie*, Chir Gastroenterol, 21, 29-37
- 29 HANLY EJ, MAROHN MR, BACHMAN SL, TALAMINI MA, HACKER SO, HOWARD RS, SCHENKMAN NS (2004) *Multiservice laparoscopic surgical training using the daVinci surgical system* Am J Surg,187, 309-315
- 30 LAVALLEE S, CINQUIN P, DEMONGEOT J (1991) *Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur*, Informatique et Santé, Edition Springer, 213-221
- 31 LAVALLEE S, CINQUIN P, TROCCAZ J (1997) *Computer Integrated Surgery and Therapy: State of the Art*, Editeurs Roux C and Coatrieux JL, IOS Press, 1997, 239
- 32 ZYLKA-MENHORN V (1997) *Wenn ein Roboterarm das Skalpell führt*, Deutsches

- Ärzteblatt, 27, 1870-1876
- 33 BARNAUD C, EOUZAN JY, GOSSOT D, TOMASINI C, SEZEUR A (2000) *Architecture et perspectives d'un système vidéo-endoscopique* In: *Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur* ed. par MARESCAUX J, SEZEUR A, GOSSOT D, MUTTER D, Monographies de l'Association Française de Chirurgie, Arnette France, 19-41
- 34 TENIERE P, SCOTTE M, LE BLANC I, MULLER J-M (1994) *Traitement du reflux gastro-oesophagien de l'adulte*, Editions Techniques, Encycl. Méd. Chir. (Paris-France, Techniques Chirurgicales, Appareil Digestif, 40 – 188, 16
- 35 CHITWOOD WR, NIFONG LW, CHAPMAN WHH, FELGER JE, BAILEY BM, BALLINT T, MENDLESON KG, KIM VB, YOUNG JA, ALBRECHT RA (2001) *Robotic Surgical Training in an Academic Institution*, Ann Surg, 234, 475-486
- 36 HEEMSKERK J, VAN GEMERT WG, DE VRIES J, GREVE JW, BOUVY ND (2007) *Learning Curves of Robot-assisted Laparoscopic Surgery Compared With Conventional Laparoscopic Surgery, An Experimental Study Evaluating Skill Acquisition of Robot-assisted Laparoscopic Tasks Compared With Conventional Laparoscopic Tasks in Inexperienced Users*, Surg Laparosc Endosc Percutan Tech, 17, 171-174
- 37 VIDOVSZKY TJ, SMITH W, GHOSH J, ALI MR (2006) *Robotic cholecystectomy: Learning Curve, Advantages, and Limitations*. J Surg Res, 136, 172-178
- 38 HÜTTL TP, SPELSBERG FW, GEIGER TK, HEISS MM, JAUCH KW (2003) *10 Jahre laparoskopische Antirefluxchirurgie – Indikationsstellung, Verfahrenswahl und Komplikationsvermeidung*, Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag, 38, 84-98
- 39 DALLEMAGNE B, WEERTS JM, JEHAES C, MARKIEWICZ S (1996) *Cause of failures of laparoscopic antireflux operations*, Surg Endosc, 10, 305-310
- 40 GEROK W, HUBER CHR, MEINERTZ TH, ZEIDLER H (2000) *Die Innere Medizin*, 10. Auflage, 567-574
- 41 ISSELBACHER KJ, BRAUNWALD E, WILSON JD, MARTIN JB, FAUCI AS, KASPER DL (1995) *Harrison Médecine Interne*, Editeurs McGraw-Hill Libri Italia Srl et Arnette Paris, 13, 1362
- 42 ISSELBACHER KJ, BRAUNWALD E, WILSON JD, MARTIN JB, FAUCI AS, KASPER DL (1995) *Harrison Médecine Interne*, Editeurs McGraw-Hill Libri Italia Srl et Arnette Paris, 13, 1355 – 1360
- 43 SIEWERT JR (1998) *Chirurgie*, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 6, 555
- 44 DAVIES B (2000) *A Review of robotics in surgery*, Proc Inst Mech Eng, 214, 129-140
- 45 RO CY, TOUMPOULIS IK, ASHTON RC JR, IMIELINSKA C, JEBARA T, SHIN SH, ZIPKIN JD, MCGINTY JJ, TODD GJ, DEROSE JJ JR (2005) *A novel drill set for the enhancement and assessment of robotic surgical performance*, Stud Health Technol Inform, 111, 418-421
- 46 SARLE R, TEWARI A, SHRIVASTAVA A, PEABODY J, MENON M (2004)

- Surgical robotics and laparoscopic training drills*, J Endourol, 18, 63-67
- 47 JUDKINS TN, OLEYNIKOV D, NARAZAKI K, STERGIU N (2006) Robotic surgery and training: electromyographic correlates of robotic laparoscopic training, Surg Endosc, 20, 824-829
- 48 MOORTHY K, MUNZ Y, DOSIS A, HERNANDEZ J, MARTIN S, BELLO F, ROCKALL T, DARZI A (2004) *Dexterity enhancement with robotic surgery*, Surg Endosc, 18, 790-795
- 49 HANLY EJ, ZAND J, BACHMAN SL, MAROHN MR, TALAMINI MA (2005) *Value of the SAGES Learning Center in introducing new technology*, Surg Endosc, 19, 477-483
- 50 DI LORENZO N, COSCARELLA G, FARACI L, KONOPACKI D, PIETRANTUONO M, GASPARI AL (2005) *Robotic systems and surgical education*, JSLS, 9, 3-12
- 51 NIO D, BEMELMAN WA, BOER KT, DUNKER MS, GOUMA DJ, GULIK TM (2002) *Efficiency of manual versus robotical (Zeus) assisted laparoscopic surgery in the performance of standardized tasks*, Surg Endosc, 16, 412-415
- 52 NIO D, BALM R, MAARTENSE S, GUIJT M, BEMELMAN WA (2004) *The efficacy of robot-assisted versus conventional laparoscopic vascular anastomoses in an experimental model*, Eur J Vasc Endovasc Surg, 27, 283-286
- 53 DAKIN GF, GAGNER M (2003) *Comparison of laparoscopic skills performance between standard instruments and two surgical robotic systems*, Surg Endosc, 17, 574-579
- 54 MÜLLER JM (1999) *Videoendoskopische Chirurgie – Eine Standortbestimmung*, Dt Ärztebl 96, Heft 26, 1780
- 55 HOWE RD, MATSUOKA Y (1999) *Robotics for Surgery*, Annu Rev Biomed Eng, 1, 211-240
- 56 HUBERT J, FEUILLU B, MANGIN P, LOBONTIU A, ARTIS M, VILLEMOT JP (2003) *Laparoscopic computer-assisted pyeloplasty: the results of experimental surgery in pigsc*, BJU Int, 92, 437-440
- 57 CADIERE GB, HIMPENS J, GERMAY O, IZIZAW R, DEGUELDRE M, VANDROMME J, CAPELLUTO E, BRUYNS J (2001) *Feasibility of robotic laparoscopic surgery, 146 cases*, World J Surg, 25, 1467-1477
- 58 HORGAN S, VANUNO D (2001) *Robots in laparoscopic surgery*, J Laparoendoscopic Adv Surg Tech, 11, 415-419
- 59 TAILLE S, DIDIER J (2000) *La robotique au bloc opératoire*, Compiègne : Université de Technologie de Compiègne, 25
- 60 TALAMINI M, CAMPBELL K, STANFIELD C (2002) *Robotic Gastrointestinal Surgery: Early Experience and System Description*, J Laparoendoscopic Adv Surg Tech, 12, 225-232
- 61 SUNG GT, GILL IS (2001) *Robotic Laparoscopic Surgery: A Comparison of The da Vinci and ZEUS Systems*, Urology, 58, 893-898
- 62 MELVIN WS, NEEDLEMAN BJ, KRAUSE KR, WOLF RK, MICHLER RE,

- ELLISON EC (2001) *Computer-Assisted Robotic Heller Myotomy: Initial Case Report*, J Laparoendoscopic Adv Surg Tech, 11, 251-253
- 63 GARCIA-RUIZ A, GAGNER M, MILLER JH, STEINER CP, HAHN JF (1998) *Manual vs. Robotically Assisted Laparoscopic Surgery in the Performance of Basic Manipulation and Suturing Tasks*, Arch Surg, 133, 957
- 64 HELLER K, GUTT C, SCHAEFF B, BEYER PA, MARKUS B (2002) *Use of the robot system Da Vinci for laparoscopic repair of gastro-oesophageal reflux in children*, Eur J Pediatr Surg, 12, 239-242
- 65 CADIERE GB, HIMPENS J, VERTRUYEN M, FAVRETTI F (1999) *The World's First Obesity Surgery Performed by a Surgeon at a Distance*, Obes Surg, 9, 206-209
- 66 KAPPERT U, CORNELIUS M, TUGTEKIN SM, CICHON R, SCHÜLER S (1999) *Roboterassistierte Herzchirurgie*, Wiss Z Techn Univers Dresden, 48, 126-130
- 67 CORBILLON E, XERRI B, POUILLIE AI et al (2001) *La Chirurgie assistée par ordinateur – Rapport d'étape Mai 2002*, ANAES Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation de Santé, Service évaluation des technologies, Service évaluation économique, 31
- 68 KYO S, ASANO H (2002) *Advantages and limitations in minimally invasive cardiac surgery*, Nippon Geka Gakkai Zasshi, 103, 722-728
- 69 LAVALLEE S, CINQUIN P, TROCCAZ J (1997) *Computer Integrated Surgery and Therapy: State of the Art*, Editeurs Roux C and Coatrieux JL, IOS Press, 241-242
- 70 GIULIANOTTI PC (2001) *Minimally-invasive Robotic Surgery*, Osp Ital Chir, 7, 345-346
- 71 ANGELINI L (2001) *Technological Innovation in Surgery – But The Surgeon remains the Protagonist*, Osp Ital Chir, 7, 349
- 72 LOBONTIU A (2001) *The da Vinci™ Surgical System performing computer-enhanced surgery*, Osp Ital Chir, 7, 370-371
- 73 CECCONI S, CORATTI A, ANGELINI M, CARAVAGLIOS G, SAVARESE L, PARINI D, GIULIANOTTI PC (2001) *Clinical Experience Using Robotics in a large Community Hospital*, Osp Ital Chir, 7, 380
- 74 COSTE-MANIERE E, ADHAMI L, SEVERAC-BASTIDE R, LOBONTIU A, SALISBURY Jr. JK, BOISSONNAT JD, SWARUP N, GUTHART G, MOUSSEAUX E, CARPENTIER A (2001) *Optimized Port Placement for the Totally Endoscopic Coronary Artery Bypass Grafting Using the da Vinci Robotic System*, In: D. Russ and S. Singh, editors, Lecture Notes in Control and Information Sciences, Experimental Robotics VII, Volume 271, Springer, 199-208
- 75 GUTHART G, SALISBURY Jr. JK (2000) *The Intuitive™ Telesurgery System: Overview and Application*, In: Proc IEEE International Conference on Robotics and Automation, 618-622
- 76 CECCONI S, CORATTI A, ANGELINI M, CARAVAGLIOS G, SAVARESE L, PARINI D, GIULIANOTTI PC (2001) *Clinical Experience Using Robotics in a large*

- Community Hospital*, *Osp Ital Chir*, 7, 383
- 77 HIMPENS J, LEMAN G, CADIERE GB (1998) *Telesurgical Laparoscopic Cholecystectomy*, *Surg Endosc*, 12, 1091
- 78 MARESCAUX J, SMITH MK, FOLSCHER D, JAMALI F, MALASSAGNE B, LEROY J (2001) *Telerobotic Laparoscopic Cholecystectomy: initial clinical experience with 25 patients*, *Ann Surg*, 234, 1-7
- 79 CADIERE GB, HIMPENS J, VERTRUYEN M, BRUYNS J, FOURTANIER G (1999) *Nissen Fundoplication done by Remotely Controlled Robotic Technique*, *Ann Chir*, 53, 137-141
- 80 MEININGER D, BYHAHN C, MARKUS BH, HELLER K, WESTPHAL K (2001) *Total Endoscopic Nissen Fundoplication with the Robotic Device „da Vinci“ in Children, Hemodynamics, Gas Exchange and Anesthetic Management*, *Anaesthesist*, 50, 22-29
- 81 GUILLENEAU B, JAYET C, TEWARI A, VALLENCIEN G (2001) *Robot Assisted Laparoscopic Nephrectomy*, *J Urol*, 166, 200-201
- 82 ABBOU CC, HOZNEK A, SALOMON L, LOBONTIU A, SAINT F, CICCIO A et al (2000) *Remote Laparoscopic Radical Prostatectomy carried out with a Robot, Report of a case*, *Prog Urol*, 10, 520-523
- 83 CADIERE GB, HIMPENS J, FAVRETTI F (2001) *Obesity Surgery by Robot*, *Osp Ital Chir*, 7, 396
- 84 SMITH MK, RUBINO F, LEROY J, MARESCAUX J (2001) *Robot-Assisted Biliary Surgery*, *Osp Ital Chir*, 7, 400
- 85 GIULIANOTTI PC (2001) *Robotic-surgery: the future is now*, *Osp Ital Chir*, 7, 439
- 86 BALLANTYNE GH, MEROLA S, WEBER P, WASIELEWSKI A (2001) *Robotic Solutions to the Pitfalls of the Laparoscopic Colectomy*, *Osp Ital Chir*, 7, 411
- 87 VANUNO D, HORGAN S (2001) *Robot-Assisted Living Donor Nephrectomy*, *Osp Ital Chir*, 7, 426
- 88 OTT D (1909) *Die direkte Beleuchtung der Bauchhöhle, der Harnblase, des Dickdarms und des Uterus zu diagnostischen Zwecken*, *Rev Med Tchèque (Prague)*, 2, 27-30
- 89 KELLING G (1923) *Zur Coelioskopie*, *Arch Klin Chir*, 126, 226-229
- 90 SEMM K (1976) *Pelviskopie und Hysteroskopie*, Schattauer Verlag Stuttgart
- 91 SUTTON C, DIAMOND M (1998) *Endoscopic Surgery for Gynecologists*, Saunders London
- 92 MARLOVITS H, LANGE J (1997) *Die Geschichte der Laparoskopie*. *Ther Umsch*, 54, 489-491
- 93 SPANER SJ, WARNOCK G L (1997) *A brief history of endoscopy, laparoscopy and laparoscopic surgery*, *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 7, 369-373
- 94 LITYNSKI GS, PAOLUCCI V (1998) *Origin of Laparoscopy: Coincidence or Surgical Interdisciplinary Thought ?*, *World J Surg*, 22, 899-902
- 95 SCHALLER G, KÜNKEL M, ENGELKE V, MANEGOLD BC (1995) *Laparoskopie und Licht*, *Endosk heute*, 3, 245-247
- 96 ADHAMI L, COSTE-MANIERE E, BOISSONNAT J-D (2000) *Planning and*

- simulation of robotically assisted minimal invasive surgery* In: Proc. Medical image computing and computer assisted intervention (MICCAI 2000), volume 1935 of Lect. Notes in Comp. Sc. 1954, Springer, 624-633
- 97 SOLER L, MALASSAGNE B, MARESCAUX J (2000) *Application d'un nouveau concept en chirurgie hépatique : la procédure assistée par ordinateur, de la réalité virtuelle à la télémanipulation* In: Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur / ed. par MARESCAUX J., SEZEUR A., France : Arnette, 157-164
- 98 VIENS-BITKER C (2000) *De la mise à disposition de l'outil télé-médecine à la réalisation des objectifs attendus*, ITBM-RBM, Ed. scientifiques et médicales Elsevier SAS, 21, 268-270
- 99 HERNANDEZ JD, BANN SD, MUNZ Y, MOORTHY K, DATTA V, MARTIN S, DOSIS A, BELLO F, DARZI A, ROCKALL T (2004) *Qualitative and quantitative analysis of the learning curve of a simulated surgical task on the da Vinci system*, Surg Endosc, 18, 372-378
- 100 Mc CARTHY A, HARLEY P, SMALLWOOD R (1999) *Virtual arthroscopy training: do the "virtual skills" developed match the real skill required ?*, Stud Health Technol Inform, 62, 221-227
- 101 MELANGE M (1996) *Le reflux gastro-œsophagien et l'œsophagite par reflux : comment concilier la qualité, l'efficacité et le coût du diagnostic ?*, Louvain Med, 115, 593-596
- 102 LUNDELL LR (1994) *The knife or the pill in the long term treatment of gastroesophageal reflux diseases*, Yale J Biol Med, 67, 233-246
- 103 BRAGA DA VEIGA FRADE F (1998) *Le traitement chirurgical du reflux gastro-œsophagien*, Louvain Med, 117, 195-198
- 104 CHAUDHRY A, SUTTON C, WOOD J, STONE R, Mc CLOY R (1999) *Learning rate for laparoscopic surgical skills on MIST VR, a Virtual Reality simulator: quality of human computer interface*, Ann R Coll Surg Engl, 81, 281-286
- 105 FRIED GM, DEROSIS AM, BOTHWELL J, SIGMANN HH (1999) *Comparison of laparoscopic performance in visio with performance measured in laparoscopic simulator*, Surg Endosc, 13, 1077-1081
- 106 CUBANO M, POULOUSE B, TALAMINI M, STEWART R, ANTOSEK L, LENTZ R et al (1999) *Long distance mentoring: a novel tool for laparoscopy abroad the USS Abraham Lincoln*, Surg Endosc, 13, 673-678
- 107 LEE B, BISHOFF J, JANAYSCHEK G, KAMOLPRONWIJIT W, RATCHANON C, O'KELLEY S et al (1998) *A novel method of surgical instruction: international telementoring*, World J Urol, 16, 367-370
- 108 SCHULMAM P, DOCIMO S, SALEH W, BREITENBACH C, MOORE R, KAVOUSSI L (1997) *Telesurgical mentoring*, Surg Endosc, 11, 1001-1005
- 109 LAGROT F, MICHEAU Ph, COSTAGLIOLA M et al (1970) *Lordose dorsale basse dans l'exposition de la région sus-mésocolique*, Presse Med, 78, 1551

- 110 HAY JM, MAGDELEINAT P, REGNARD JF (1993) *Installation de l'opéré pour l'abord du hiatus œsophagien*, Ann Chir, 47, 80 – 83
- 111 SEGOL Ph, BAPTISTE P, LHIRONDEL C et al (1982) *Hernie hiatale et reflux gastro-œsophagien*, Encycl Med Chir, Paris France, Gastro-entérologie, 9016, 10
- 112 BOUTELIER Ph, CHIPPONI J (1989), *Le traitement chirurgical du reflux gastro-œsophagien de l'adulte*, Rapport présenté au 91^o congrès français de chirurgie, Editeur Masson, 124-139
- 113 METZGER ALEJANDRO (1997) *Laparoscopic fundoplication: History of a trend-setting operation* In: BÜCHLER MW, FREI E, KLAIBER Ch, KRÄHENBÜHL L, *Gastroesophageal Reflux Disease (GERD): Back to the surgery ?*, Prog Surg Basel, Karger, 23, 138-145
- 114 ROSSER J, WOOD M, PAYNE J, FULLUM T, LISEHORA G, ROSSER L et al (1997) *Telementoring: a practical option in surgical training*, Surg Endosc, 11, 852-855
- 115 MOORE R, ADAMS J, PARTIN A, DOCIMO S, KAVOUSSI L (1996) *Telementoring of laparoscopic procedures*, Surg Endosc, 10, 107-110
- 116 SAGES (1997), *Guidelines for the surgical practice of telemedicine*, Surg Endosc, 11, 789-792
- 117 SEZEUR A, MARESCAUX J, ALLAERT FA (2000) *Apport des télécommunications appliquées à la chirurgie* In: *Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur* / ed. par MARESCAUX J., SEZEUR A., France : Arnette, 137-152
- 118 GO PM, PAYNE JH (1996) *Endoscopic surgery teleconferencing*, Int Surg, 81, 18-20
- 119 MUNRO A (2000) *Laparoscopic anterior fundoplication*, JR Coll Surg Edinb, 45, 93-98
- 120 MEHRABI A, YETIMOGLU CL, NICKKHOLGH A, KASHFI A, KIENLE P, KONSTANTINIDES L, AHMADI MR, FONOUNI H, SCHEMMER P, FRIESS H, GEBHARD MM, BÜCHLER MW, SCHMIDT J, GUTT CN (2006) *Development and evaluation of a training module 52evelop clinical introduction of the da Vinci robotic system in visceral and vascular surgery*, Surg Endosc, 20, 1376-1382
- 121 BREUMELHOF R, SMOUT AT, SHYNS MW et al (1990) *Prospective evaluation of the effects of Nissen fundoplication on gastrooesophageal reflux*, Surg Gynecol Obstet, 171, 115-119
- 122 GOSSOT D, SARFATI E, AZOULAY D et coll (1987) *Facteurs de morbidité de l'intervention de Nissen*, J Chir, 124, 363-371
- 123 NEGRE JB (1984) *La fundoplicature de Nissen, échec et inconvénients à long terme*, Ann Chir, 38, 275-280
- 124 WOODWARD ER, THOMAS HF, McALHANY JC (1971) *Comparison of crural repair and Nissen fundoplication in the treatment of oesophageal hiatus hernia with peptic oesophagitis*, Ann Surg, 173, 782-792
- 125 WATSON DI, JAMIESON GG, PIKE GK, DAVIES N, RICHARDSON M, DEVITT PG (1999) *Prospective randomized double-blind trial between*

- laparoscopic Nissen fundoplication and anterior partial fundoplication*, Br J Surg, 86, 123-130
- 126 ANDERSON JA, MYERS JC, WATSON DI et al (1998) Concurrent fluoroscopy and manometry reveal differences of laparoscopic Nissen and anterior fundoplication, Dig Dis Sci, 43, 847-853
- 127 WATSON DI, LIU JF, DEVITT PG, GAME PA, JAMIESON GG (2000) *Outcome of laparoscopic anterior 180-degree partial fundoplication for gastroesophageal reflux disease*, Gastrointest Surg, 4, 486-492
- 128 ORRINGER MB, SLOAN H (1978) Combined *Collis-Nissen reconstruction of the oesophagogastric junction*, Ann Thorac Surg, 25, 16-21
- 129 FUMEX D, SEZEUR A (2000) *Les réseaux et la transmission des données* In: Nouvelles Technologies et Chirurgie du Futur / ed. par MARESCAUX J., SEZEUR A., France : Arnette, 131-132
- 130 GIULIANOTTI PC (2001) *Robotic-surgery: the future is now*, Osp Ital Chir, 7, 440
- 131 SBRANA F, ANGELINI M, CORATTI A, CARAVAGLIOS G, BELCASTRO M, PARINI D, GIULIANOTTI PC (2001) *Learning systems in robot-assisted surgery: didactic and organizational models*, Osp Ital Chir, 7, 356-357
- 132 ISGRO F, KIESSLING AH, BLOME M, LEHMANN A, KUMLE BERNHARD, SAGGAU W (2001) *Robotic surgery using Zeus™ Microwrist™ technology: the next generation*, Osp Ital Chir, 7, 376-377
- 133 CECCONI S, CORATTI A, ANGELINI M, CARAVAGLIOS G, SAVARESE L, PARINI D, GIULIANOTTI PC (2001) *Clinical experience using robotics in a large community hospital*, Osp Ital Chir, 7, 382-383
- 134 RASSWEILER J, BINDER J, FREDE T (2001) *Robotic and telesurgery: will they change our future ?*, Curr Opin Urol, 11, 309-320
- 135 HEEMSKERK J, VAN GEMERT WG, GREVE JW, BOUVY ND (2007) *Robot-assisted versus conventional laparoscopic Nissen fundoplication: a comparative retrospective study on costs and time consumption*, Surg Laparosc Endosc Percutan Tech, 17, 1-4
- 136 SATAVA R M (1997), *Virtual reality and telepresence for military medicine*, Ann Acad Med Singapore, 26, 118-120.
- 137 MARESCAUX J, LEROY J, RUBINO F, SMITH M, VIX M, SIMONE M, MUTTER D (2002) *Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications*, Ann Surg, 235, 487-492

H. DANKSAGUNGEN

Diese Arbeit entstand in Zusammenarbeit zwischen den universitären allgemeinchirurgischen Kliniken des Vivantes-Auguste-Viktoria-Krankenhauses in Berlin und des Centre Hospitalier Régional et Universitaire Nancy/Frankreich.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei:

- **Herrn Prof. Dr. Dr. Karl-Jürgen Bauknecht/Berlin** für die länderübergreifende Betreuung und den grossen Freiraum bei der Erstellung der Dissertation
- **Herrn Prof. Dr. Patrick Boissel/Nancy** für die Überlassung dieses interessanten und zukunftssträchtigen Themas
- **Herrn Prof. Dr. Laurent Bresler/Nancy** für seine ständige Diskussionsbereitschaft und Korrekturvorschläge
- **Herrn Prof. Dr. Johannes Mayr/Basel und Herrn Prof. Dr. Christoph Bühner/Basel** für Ihre ständige und selbstlose Hilfsbereitschaft und zahlreichen Hilfestellungen bei der Überarbeitung der Dissertation
- **Herrn Dr. Maurice Soustiel, Herrn Dr. Adrian Lobontiu, Karin Weibel und Christopher Wittmann** von Intuitive Surgical Incorporation Paris für die freundliche Überlassung von zahlreichem Informations- und Bildmaterial zu *da Vinci™*
- **Frau Dr. Eve Coste-Manière und Herrn Dr. Louai Adhami** vom Forschungsinstitut INRIA in Sophia Antipolis/Côtes d'Azur für die weiterführenden Anregungen und Zukunftsvisionen im Bereich der computergestützten Chirurgie
- **Frau Nicole Viel sowie allen beteiligten Operationsschwestern** der operativen Disziplinen, **Frau Yasmine Elafri** sowie **allen MitarbeiterInnen** des Labors für experimentelle Chirurgie in Nancy für bereichernde Diskussionen und das immer freundliche Arbeitsklima
- meiner Frau **Sharon** für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Layouterstellung und Durchsicht der Arbeit, meinen Kindern **Noah** und **Ella** für ihre Geduld, meinem Vater **Aldo**, meinem Bruder **Mario** und meiner Schwester **Giorgia** für deren moralische Unterstützung
- meiner Mutter **Evelin** für ihren jahrelangen unermüdlichen und motivierenden Beistand, die zum allergrössten Teil meiner Ausbildung beigetragen hat. Ihr widme ich diese Arbeit.

I. LEBENSLAUF

„Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.“

J. BEGRIFFSDEFINITIONEN/ABKÜRZUNGEN

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AESOP	A utomated E ndoscopic S ystem for O ptimal P ositioning
Algorithmus	Gesamtheit an Ablaufregeln, deren Anwendung ein gegebenes Problem mittels einer endlichen Anzahl von Operationen lösen kann
Bewegungsfreiheits	Robotikbezeichnung, die die Bewegungen in drei Raumachsen x, y, z
-grad (BFG)	definiert [11]
bipolar	Koagulationsmodus mit Hochfrequenz, bei der der Strom von einer Elektrode zur anderen läuft, ohne eine Weiterleitung an benachbarte Gewebe. Der Patient ist also nicht Teil des elektrischen Stromkreislaufs
CA	Kalifornien, Staat der Vereinigten Staaten von Amerika
CHRU	C entre H ospitalier R égional et U niversitaire, Regionales Universitätskrankenhaus
CUMIC	C omputerunterstützte M inimalinvasive C hirurgie
Digitalisierung	Umwandlung analoger Signale in die digitale Form
Endoskop	mit einer Beleuchtungsvorrichtung ausgestattete optische Röhre, die dazu dient, zur Untersuchung in menschliche Körperhöhlen eingeführt zu werden
HDM	Hemifundoplikatio nach Dor und Watson
Hologramm	durch Holographie (dreidimensionale Wiedergabe eines Gegenstandes durch Laserlicht) gewonnenes Bild
Informatik	Wissenschaft von der systematischen Verarbeitung von Informationen, insbesondere der automatischen Verarbeitung mit Hilfe von Rechenanlagen oder Computern
INRIA	I nstitut N ational de R echerche en I nformatique et en A utomatique, nationales Forschungsinstitut für Informatik und Automatik [10]
Internet	I nterconnected N etworks, d. h. verbundene Netzwerke, ist ein weltweites, elektronisches Netzwerk voneinander unabhängiger Netzwerke. Es dient der Kommunikation und dem Austausch von Informationen. Jeder Rechner eines Netzwerkes kann dabei prinzipiell mit jedem anderen Rechner kommunizieren. Die Kommunikation der einzelnen Rechner erfolgt über definierte Protokolle zum Datenaustausch.
Joystick	Steuerknüppel zur Bedienung von Spiel- und Steuerelementen
Laparoskopie	endoskopische Untersuchung der Unterleibshöhle über eine kleine Inzision der Unterleibswand (Synonyme: Zölioskopie, zölio stammt vom griechischen Wort <i>koilia</i> und bedeutet <i>Bauch</i>)
Laparotomie	Öffnen der Bauchhöhle durch einen weiten Bauchdeckenschnitt
MIC	M inimalinvasive C hirurgie

monopolar	Koagulationsart mit Hochfrequenzstrom, bei der der Strom durch eine aktive Elektrode über den Patienten geerdet wird. Anders als bei der bipolaren Koagulation ist der Patient Teil des Stromkreislaufs
offene Chirurgie	im Gegensatz zur MIC werden hier weite Zugänge und Inzisionen gewählt (z.B. Laparotomie)
online Operationssitus	per Internet eine Seite oder eine Person konsultieren
prä-, intra- postoperativ	Stelle, an der operiert wird
Roboter	vor, während und nach einer chirurgischen Operation
Roboter	Maschinen, die nach einem bestimmten Programm festgelegte Aufgaben erfüllen
Telemedizin/- chirurgie	Therapie unter Überbrückung einer räumlichen Distanz zwischen Chirurg und Patient mittels eines Systems wie daVinci™
Telemanipulation	Manipulation eines Objektes über eine räumliche Distanz
Telepräsenz	Prinzip, das die Illusion gibt, sich in einer anderen Realität zu entwickeln (Immersion)
TM	Trademark, geschützte Marke
Trokar	Instrument, mit dessen Hilfe in der Chirurgie scharf oder stumpf eine Öffnung in eine Körperhöhle (z. B. Bauchraum, Brustraum) geschaffen und durch ein Rohr offen gehalten wird.
U.S.A.	United States of America, Vereinigte Staaten von Amerika
Virtuelle Medizin	Darstellung und gleichzeitige Wahrnehmung der Wirklichkeit (hier des menschlichen Körpers, eines Krankheitsbildes) und ihrer physikalischen Eigenschaften in einer in Echtzeit computergenerierten künstlichen, dreidimensionalen Umgebung. Auch das Arzt-Patient-Verhältnis durch Internet

K. ERKLÄRUNG AN EIDES STATT

„Ich, Sergio Bruno Sesia, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema:

Evaluation der Lernkurve der Hemifundoplikatio nach Dor und Watson mit dem Fernsteuerungssystem für endoskopische Instrumente *da Vinci* am Schwein

selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Berlin, den 23.01.2008

Sergio Bruno Sesia