

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Direktor: Univ.-Professor Dr. med. Dr. h.c. Norbert Senninger, FACS,
FRCS

**Relevanz der am Boxtrainer erlernten laparoskopischen
Basisfertigkeiten für eine komplette operative Prozedur am
Beispiel einer simulierten Cholezystektomie am Virtual Reality
Trainer**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Ulrich Pankratius

aus Emden

2015

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen
Wilhelms Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Emile Rijcken

2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Ralph Lellé, MIAC

Tag der mündlichen Prüfung: 29.10.2015

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Direktor: Univ.-Professor Dr. med. Dr. h.c. Norbert Senninger, FACS, FRCS
Referent: Priv.-Doz. Dr. med. Emile Rijcken
Koreferent: Univ.-Prof. Dr. med. Ralph Lellé, MIAC

ZUSAMMENFASSUNG

Relevanz der am Boxtrainer erlernten laparoskopischen Basisfertigkeiten für eine komplette operative Prozedur am Beispiel einer simulierten Cholezystektomie am Virtual Reality Trainer

Pankrätius, Ulrich

Einleitung: Das Simulationstraining in speziellen Skills-Labs führt bei chirurgischen Novizen zu einer messbaren Verbesserung laparoskopischer Basisfertigkeiten. Dies konnte in der Vergangenheit bereits in mehrfachen Studien nachgewiesen werden. Weniger klar ist hingegen, inwieweit die im Skills-Lab erlernten Basisfähigkeiten auch auf eine komplette operative Prozedur anwendbar sind.

Methoden: Zwei Probandengruppen führten jeweils zwei simulierte laparoskopische Cholezystektomien im Abstand von 4 Tagen am Virtual Reality (VR) Trainer durch. Zwischen den beiden simulierten Operationen trainierte die eine Gruppe im Rahmen eines 4-tägigen Kurses laparoskopische Basisfertigkeiten am Boxtrainer. Die Kontrollgruppe hatte hingegen zwischen beiden Cholezystektomien keine Trainingsmöglichkeit. Die operative Leistung wurde anhand verschiedener standardisierter qualitativer und quantitativer Parameter durch die Software des VR-Trainers erfasst.

Ergebnisse: Die trainierte Probandengruppe zeigte im zweiten Durchgang eine deutlich höhere Sicherheit bei der Dissektion der Gallenblase aus dem Leberbett als die Kontrollgruppe (67,7% vs. 58,1%; $p < 0,016$). Zudem fand sich eine bessere Bewegungsergonomie hinsichtlich einer optimierten bimanuellen Zusammenarbeit im Vergleich zur Kontrollgruppe. Darüber hinaus schafften mehr Probanden aus der Interventionsgruppe die komplette operative Prozedur in der vorgegebenen Zeit.

Schlussfolgerung: Die anhand abstrakter Übungen am Boxtrainer erlernten Basisfähigkeiten sind auch im Rahmen einer kompletten operativen Prozedur anwendbar. Daher empfiehlt es sich, im Rahmen einer optimierten Weiterbildung zunächst laparoskopische Basisfähigkeiten am abstrakten Simulationsmodell zu erlernen, bevor konkrete operative Prozeduren selbst vermittelt werden.

Tag der mündlichen Prüfung: 29.10.2015

ERKLÄRUNG

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

**„Relevanz der am Boxtrainer erlernten laparoskopischen Basisfertigkeiten für
eine komplette operative Prozedur am Beispiel einer simulierten
Cholezystektomie am Virtual Reality Trainer“**

in der Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie unter der Anleitung von
Priv.-Doz. Dr. med. Emile Rijcken

1. selbstständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt
und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder
ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur
Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Ort, Datum

Ulrich Pankrätius

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Besonderheiten der laparoskopischen Chirurgie	1
1.2 Laparoskopisches Training	4
1.2.1 Aktueller Stand der laparoskopischen Ausbildung.....	4
1.2.2 Trainingsmodelle	5
1.2.3 Lernerfolge durch laparoskopisches Training.....	9
1.3 Ziel der Studie	10
2. Methoden	11
2.1 Probanden	11
2.2 „Münsteraner Curriculum“: laparoskopische Basisfertigkeiten.....	11
2.3 Cholezystektomie am Virtual Reality Trainer	21
2.4 Studiendesign	25
2.5 Leistungserfassung	27
2.5.1 Leistung am Boxtrainer	27
2.5.2 Leistung am Virtual Reality Trainer	27
2.6 Statistik.....	30
3. Ergebnisse	31
3.1 Demographie der Probanden	31
3.2 Training am Boxtrainer.....	32
3.3 Performance der laparoskopischen Cholezystektomie	33
3.3.1 Baseline-Messung.....	33

3.3.2 Re-Evaluation und Vergleich innerhalb der Gruppen.....	34
3.3.3 Ergebnisse qualitative Parameter.....	36
3.3.4 Ergebnisse Bewegungsparameter	37
3.3.5 Ergebnisse bezüglich Komplettierung der Operation	40
4. Diskussion	44
4.1 Lernerfolg am Boxtrainer.....	44
4.2 Übertragbarkeit der Fähigkeiten – qualitative Parameter	46
4.3 Übertragbarkeit der Fähigkeiten – quantitative Parameter.....	49
4.4 Komplettierung der Prozedur und zeitliche Verbesserung.....	52
4.5 Zusammenfassende Diskussion dieser Arbeit.....	54
5. Literaturverzeichnis	57
6. Anhang	I
6.1 Abbildungsverzeichnis	I
6.2 Tabellenverzeichnis	II
6.3 Abkürzungen	II
6.4 Publikationsverzeichnis	III
6.5 Danksagungen	V
6.6 Tabellarischer Lebenslauf.....	VI

1. Einleitung

1.1 Besonderheiten der laparoskopischen Chirurgie

Heute, mehr als 100 Jahre nach der ersten am Menschen durchgeführten Laparoskopie durch Hans Christian Jacobaeus (23), ist die minimal invasive Chirurgie nunmehr integraler Bestandteil des chirurgischen Alltags. Bei einer Vielzahl von Eingriffen ist das laparoskopische Vorgehen heutzutage Standard, wie zum Beispiel bei der unkomplizierten Appendektomie, Cholezystektomie oder der Fundoplikatio, um nur einige wenige zu nennen. Die Vorteile der laparoskopischen Vorgehensweise sind hinreichend bekannt und mittlerweile durch viele Studien belegt worden. So konnte gezeigt werden, dass minimal invasive Eingriffe im Vergleich zur offenen Operation mit einem verkürzten Krankenhausaufenthalt, geringeren postoperativen Schmerzen, einer früheren Mobilisierung sowie einer niedrigeren allgemeinen Komplikationsrate einhergehen (7, 25, 29, 30). Diese Vorteile werden bewirkt durch die Reduktion des Zugangstraumas im Vergleich zur konventionell offenen Vorgehensweise. Dabei ist auch das onkologische Langzeitergebnis, bei ausgewählten laparoskopischen Eingriffen und korrekter Indikationsstellung, dem der offenen Tumor-Resektionen vergleichbar (6, 26, 43, 58).

Die Vorteile, die den Patienten durch eine laparoskopische Operation ermöglicht werden, sind jedoch nur dann zu erwarten, wenn der betreffende Chirurg eine ausreichende minimal invasive Expertise aufweist. Diese erreicht er jedoch nur durch konstantes Training seiner laparoskopischen Fertigkeiten. Den Erfolg des Trainings kann man dabei anhand von Lernkurven erfassen. Eine Lernkurve beschreibt den Trainingsfortschritt über den Verlauf der Zeit. Die Lernkurven für laparoskopische Eingriffe sind wesentlich länger als für die entsprechenden offenen Operationen. Einem Review aus dem Jahr 2012 zufolge, welches 4852 laparoskopische kolorektale Eingriffe aus 23 Studien umfasste, ist eine Lernkurve von ca. 150 derartigen Operationen notwendig, um die Konversionsrate von anfänglich 14% auf stabile 4% zu senken (34). Für die Reduktion der Operationszeit auf einen Durchschnitt von 180 Minuten waren 100 Fälle notwendig. In einer anderen Studie zeigten Voitek et al., dass eine 40-prozentige Senkung der Operationszeit bei der laparoskopischen Cholezystektomie erst nach ca. 200 geleisteten Operationen zu erwarten ist (55). Der Grund für die längeren Lernkurven in der laparoskopischen Chirurgie sind spezielle technische Ansprüche sowie

psychomotorische Fähigkeiten, durch die der Operateur vor besondere Herausforderungen gestellt wird. Zu nennen sei hier insbesondere die erschwerte visuelle Orientierung: eine Operation, die in einem 3-dimensionalen Situs stattfindet, wird auf dem Monitor lediglich 2-dimensional abgebildet. Dieses führt zu einem Verlust der Tiefenwahrnehmung.

Auch der sogenannte Fulcrum-Effekt erschwert zusätzlich die Koordination zwischen visuellem und motorischem System (18). Dabei kommt es durch die Fixierung der Instrumente in der Bauchdecke zu einer inversen Darstellung der Instrumentenbewegung auf dem Monitor: Bewegt der Operateur das Instrument nach rechts, so wandert es auf dem Bildschirm nach links und umgekehrt. Hinzu kommt, dass der Operateur die Sicht nicht selbst unter Kontrolle hat, sondern diese stark von den Fähigkeiten des kameraführenden Assistenten abhängt. Hat der Assistent nicht die Kenntnisse über die einzelnen OP-Schritte und damit über die jeweils erforderliche Kameraeinstellung, wird dem Operateur die Arbeit zusätzlich erschwert.

Neben visuellen Herausforderungen sind auch ergonomische Hindernisse zu bewältigen (51). Während offene Operationen ein hohes Maß an Freiheit und Beweglichkeit bieten, sind die Freiheitsgrade bei der Laparoskopie erheblich eingeschränkt. Aus diesem Grund werden von Chirurgen häufig unergonomische Körperhaltungen eingenommen um die erforderlichen Instrumentenbewegungen durchzuführen. Diese Fehlhaltungen können zur Folge haben, dass gerade Chirurgen in Kliniken mit hohen laparoskopischen Fallzahlen auf Dauer an muskuloskelettalen Beschwerden der oberen Extremitäten und Wirbelsäule leiden (8, 9, 42).

Schließlich sei auch noch das ausbleibende haptische Feedback als zusätzlich erschwerende Eigenart der Laparoskopie genannt. Durch die fehlende Möglichkeit einer manuellen Palpation des Gewebes entfällt ein wesentlicher Sicherheitsmechanismus, der insbesondere vor Durchtrennung von Gewebsstrukturen hilfreich ist. Die Bestrebung, den Verlust der manuellen Palpation durch visuell aufbereitete taktile Informationen mittels sensorbasierter Verfahren auszugleichen, zeigte sich bislang erfolglos (41).

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - reduziertes Zugangstrauma - Weniger Schmerzen postoperativ - Frühere Mobilisierung des Patienten - Kürzerer Krankenhausaufenthalt - Besseres kosmetisches Ergebnis - Videodokumentation der Operation möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Längere Lernkurven - Längere Operationszeiten (vor allem zu Beginn der Lernkurve) - Fehlende 3D-Sicht - Fehlendes haptisches Feedback - Eingeschränkte Freiheitsgrade - Fulcrum-Effekt

Tabelle 1: Übersicht einiger Vor- und Nachteile der laparoskopischen Chirurgie

1.2 Laparoskopisches Training

1.2.1 Aktueller Stand der laparoskopischen Ausbildung

Neben den ohnehin schon hohen Anforderungen einer chirurgischen Ausbildung wird das Erlernen operativer Techniken durch die eben genannten Eigenarten der Laparoskopie zusätzlich erschwert. Darum stellt das laparoskopische Operieren gerade chirurgische Anfänger vor besondere Herausforderungen. Im Sinne der Patientensicherheit muss es deshalb das Ziel sein, diesen technischen Part der Ausbildung vom Operationssaal in Simulationslabore, sogenannte Skills-Labs, auszulagern.

Häufig wurden in der Vergangenheit bereits Vergleiche zwischen der chirurgischen und der nicht minder anspruchsvollen Ausbildung eines Piloten in der Luftfahrt gezogen (10, 35, 56). Während aber in der Luftfahrt die Flugsimulation seit Jahren fester Bestandteil der Ausbildung ist, hat das laparoskopische Simulationstraining bis heute in Deutschland keinen verbindlichen Eingang in die chirurgische Weiterbildungsordnung gefunden. Die minimalinvasive Ausbildung findet zum großen Teil immer noch nach dem alten, in der offenen Chirurgie vorherrschenden, Mentor-Schüler-Konzept statt, bei dem der junge Assistent unter Aufsicht eines erfahrenen Chirurgen unmittelbar am Patienten in kleinen Teilschritten an die einzelnen Operationen herangeführt wird. Das Training laparoskopischer Fertigkeiten in Simulationslaboren bleibt auf der einen Seite dem eigenen Ehrgeiz des Auszubildenden überlassen, ist andererseits in vielen Kliniken aufgrund fehlender Trainingsmöglichkeiten nicht einmal durchführbar. Laut Umfrage unter einer repräsentativen Stichprobe chirurgischer Abteilungen war in lediglich 27% der befragten Kliniken ein Skills Lab vorhanden (11). Van Dongen et al. konnten hingegen in einer Studie aus dem Jahr 2008 nachweisen, dass selbst bei Vorhandensein einer laparoskopischen Simulationseinheit die Eigeninitiative von Weiterbildungsassistenten hinsichtlich eines freiwilligen Trainings nur begrenzt vorhanden war (53). Aus diesem Grund wäre es ein wichtiger Schritt, das laparoskopische Simulationstraining als festen Bestandteil in die strukturierte chirurgische Weiterbildung zu integrieren. Allerdings ist eine flächendeckende Ausstattung der Kliniken mit Skills Labs sowohl finanziell als auch logistisch mit einem hohen Aufwand verbunden. Deshalb findet das Simulationstraining im Rahmen der chirurgischen Weiterbildung bisher auf Basis einer freiwilligen Teilnahme an (zumeist kommerziellen) extraklinischen Laparoskopie-Kursen statt.

1.2.2 Trainingsmodelle

Für das Einüben laparoskopischer Fertigkeiten stehen verschiedene Trainingsmodelle zur Verfügung (28). Man kann dabei zwischen herkömmlichen, „realen“ Simulatoren, wie z.B. dem Boxtrainer, und den neueren, computerbasierten Simulatoren unterscheiden. Daneben besteht auch die Möglichkeit, das laparoskopische Training am Tiermodell durchzuführen.

Tiermodell

Die zuletzt genannte Möglichkeit kommt der Realität des laparoskopischen Operierens am menschlichen Körper sehr nahe. Im Rahmen der Laparoskopie am narkotisierten Großtier (z.B. am Schwein) können Operationen unter realen Bedingungen, nämlich am durchbluteten und sich durch Atmung und Darmmotilität bewegenden Gewebe, durchgeführt werden. Dem gegenüber stehen jedoch ethische Fragen sowie der enorme Aufwand, den das Training am Versuchstier mit sich bringt. Aus diesem Grund ist das Tiermodell als regelmäßige, den chirurgischen Alltag begleitende, Trainings-Option weniger geeignet und bleibt speziellen Laparoskopie-Kursen vorbehalten.

Boxtrainer

Am häufigsten kommt im Rahmen eines Skills Lab der Boxtrainer, auch Pelvitainer genannt, zum Einsatz (11). Der Grund dafür liegt in den relativ niedrigen Kosten bei dennoch gleichzeitig hohem Trainingseffekt (40). Beim Boxtrainer handelt es sich um eine Nachbildung des menschlichen Torsos aus Plastik oder Plexiglass, in dessen „Bauchdecke“ mehrere Membranen zur Platzierung der Trokare eingelassen sind. Die Übungen am Boxtrainer erfolgen mit normalen laparoskopischen Arbeitsinstrumenten und einer üblichen Kamera-Monitor-Einheit. Mithilfe des Boxtrainers können grundlegende laparoskopische Basisfertigkeiten eingeübt werden, wie z.B. die Kameranavigation, das Greifen und genaue Platzieren von verschieden geformten Gegenständen oder auch das Clippen und Durchtrennen bestimmter Strukturen an vordefinierten Stellen.

Neben diesen „Trockenübungen“ ist es aber auch möglich, Tierorgane innerhalb des Boxtrainers zu platzieren und an diesen eine komplette Operation bzw. Teilschritte derselben zu trainieren. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Durchführung der laparoskopischen Cholezystektomie an einer Schweineleber.

Noch realistischer ist das Konzept des POP (Pulsating Organ Perfusion) Trainers. Dabei wird das frisch entnommene Organ des Tieres in dem Boxtrainer platziert und an spezielle Pumpensysteme angeschlossen, die das Organ mit einer rot gefärbten Flüssigkeit perfundieren. An diesem System können unter nahezu realistischen Bedingungen auch Blutungssituationen simuliert und trainiert werden. Allerdings ist der damit verbundene Aufwand deutlich höher als das herkömmliche „Trocken“-Training am Boxtrainer. Die logistischen Anforderungen, wie z.B. das ständige Vorhalten von Tierorganen, die Kühlung sowie die ständige Reinigung der Simulationstrainer lassen ein regelmäßiges Training im klinischen Alltag kaum zu. Deshalb werden Übungen dieser Art meistens nur im Rahmen spezieller minimalinvasiver Workshops angeboten.



Abbildung 1: Beispiel eines Boxtrainers (Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

Virtual Reality Trainer (VR-Trainer)

Bei dieser Methode des Laparoskopie-Trainings wird von einem Computer eine virtuelle Umgebung simuliert. Die Hardware dieser Trainer besteht zum einen aus dem Computer selbst, mit leistungsstarker Grafikkarte und hochauflösendem Monitor. Ein weiterer Bestandteil der Hardware ist das Trainingsgerät mit den jeweiligen Instrumentengriffen. Mit einem Virtual Reality Trainer können, ähnlich wie beim Boxtrainer, laparoskopische Basisfertigkeiten eingeübt werden. Je nach Modell und Software gibt es mittlerweile auch Geräte, mit denen Teilschritte verschiedener Operationen oder auch komplette minimalinvasive Eingriffe, wie die laparoskopische Cholezystektomie, simuliert werden können. Durch fortschreitende Verbesserungen und Entwicklungen in der Hardware- und Softwarebranche werden die virtuellen Operationen hinsichtlich ihrer Optik zunehmend realitätsgetreuer. Im Bereich der Haptik besteht aktuell noch ein deutlicher Verbesserungsbedarf. Einige Hersteller bieten mittlerweile zwar Geräte mit haptischem Feedback an, wie z. B. den LAP Mentor™ (Symbionix Corporation, Cleveland, Ohio, USA). Allerdings ist das taktile „Erleben“ derzeit noch weit entfernt von der Realität einer echten Laparoskopie. Auch wenn einige Autoren diese zusätzliche haptische Komponente als vorteilhaft für den Lernprozess ansehen (50), konnte diesbezüglich noch kein Benefit im Sinne einer verbesserten Performance bei den Trainierenden nachgewiesen werden (44).

Ein großer Vorteil des Trainings am Virtual Reality Trainer ist hingegen die automatische Erfassung der Performance durch das Computersystem. Durch diese Auswertung ist es dem Übenden möglich, gezielt Schwachstellen zu erkennen um diese speziell noch einmal zu trainieren. Des Weiteren können durch eine kontinuierliche Aufzeichnung im zeitlichen Verlauf Trainingsfortschritte erkennbar gemacht werden. Leider sind die Anschaffungskosten eines solchen Gerätes sehr hoch, sodass in nur wenigen Kliniken die Möglichkeit eines regelmäßigen Virtual Reality Trainings besteht.



Abbildung 2: VR-Trainer LAP Mentor™ (by 3D Systems, Symbionix Products)

1.2.3 Lernerfolge durch laparoskopisches Training

Durch viele Studien konnten inzwischen belegt werden, dass ein entsprechendes Training in Simulationslaboren bei laparoskopisch Unerfahrenen innerhalb kürzester Zeit zu einem deutlichen Lerneffekt führt. Diese Lernerfolge sind dabei sowohl am Boxtrainer als auch am VR-Trainer gleichermaßen zu beobachten (16, 17, 36, 37, 40, 54).

In einem Cochrane-Review aus dem Jahr 2014, bei dem insgesamt 16 Studien mit laparoskopisch komplett unerfahrenen Probanden einer Meta-Analyse unterzogen wurden, zeigte die Boxtrainer-Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe eine signifikante Reduktion der Zeit für die jeweilige Task-Bewältigung (38). Darüber hinaus bestand in der trainierten Gruppe eine verminderte Fehlerrate bei gleichzeitig höherer Präzision und besseren Scores für die Gesamt-Performance.

Ein ähnliches Review aus demselben Jahr, das 7 Studien an Probanden mit geringer laparoskopischer Vorerfahrung umfasste, zeigte ebenfalls für die Boxtrainer-Gruppe eine signifikant bessere Gesamt-Performance im Vergleich zur nicht trainierten Gruppe (22).

Auch am Virtual Reality Trainer sind bereits in mehreren Studien deutliche Lernerfolge nachgewiesen worden. Ein systematisches Review aus dem Jahr 2008 zeigte sowohl für laparoskopisch unerfahrene Probanden als auch für Probanden mit nur geringer laparoskopischer Erfahrung in der Trainings-Gruppe eine deutliche Zeitreduktion, verminderte Fehlerrate sowie eine höhere Präzision im Rahmen der Performance (21).

Neben den eben genannten positiven Effekten auf die Performance der Laparoskopie scheint sich das minimalinvasive Training auch auf die Ausbildungskosten junger Chirurgen auszuwirken. Denn das laparoskopische Training am Boxtrainer führt durch eine Verkürzung der Lernkurve zu Einsparungen aufgrund kürzerer Operationszeiten der Weiterbildungsassistenten (45, 49).

Diese Kostenberechnung lässt sich aufgrund des hohen Anschaffungspreises jedoch nicht ohne weiteres auf den Virtual Reality Trainer übertragen. Orzech et al. zeigten, dass sich die finanziellen Einsparungen durch solch ein Gerät, ein regelmäßiges Training durch mindestens zehn Weiterbildungsassistenten vorausgesetzt, erst über einen längeren Zeitraum von mindestens fünf Jahren bemerkbar machen (40).

1.3 Ziel der Studie

Laparoskopisches Training in Simulationslaboren führt, wie eben beschrieben, bei chirurgischen Neulingen zu einem deutlichen Lerneffekt. Das primäre Ziel eines solchen Trainings sollte es sein, die Sicherheit der Patienten zu erhöhen. Durch die laparoskopische Simulation können grundlegende technische und psychomotorische Fähigkeiten bereits vor dem ersten operativen Patientenkontakt erlernt werden und müssen somit nicht erst am Menschen trainiert werden. Dabei stellt sich allerdings die Frage, inwieweit sich die im Trainingslabor erworbenen Fähigkeiten tatsächlich auf die Performance einer kompletten operativen Prozedur übertragen lassen. Die Datenlage diesbezüglich ist nach wie vor unklar. In zwei kürzlich zum Thema „Skills-Transfer“ publizierten Reviews konnte zwar ein positiver Effekt des Simulationstrainings auf die operative Performance festgestellt werden (13, 15), allerdings ohne zu einem abschließendem Ergebnis zu kommen. Bei den meisten der dort genannten Studien wurde ein Virtual Reality Trainer als Übungsgerät eingesetzt. Dabei waren die Trainingsmethoden sehr unterschiedlich: In einigen Studien trainierten die Probanden einzelne simulierte Tasks, wie z.B. das Clippen und Durchtrennen von Strukturen. In vielen Studien jedoch wurden Teilschritte einer simulierten Operation oder sogar die ganze Operation komplett eintrainiert. Diese Trainingsmethoden sind jedoch in den meisten Kliniken bisher nicht möglich, da ein Virtual Reality Trainer aufgrund der hohen Anschaffungskosten nicht vorhanden ist und deshalb für die meisten Weiterbildungsassistenten als klinikbegleitende Trainingsmöglichkeit nicht zugänglich ist. Somit bleibt die Frage der Übertragbarkeit von am Virtual Reality Trainer erworbenen Fähigkeiten auf eine operative Prozedur zwar interessant, jedoch klinisch aktuell weniger von Bedeutung. Ein Boxtrainer ist hingegen eine kostengünstige Alternative und zeigt, wie bereits in Kapitel 1.2.3 beschrieben, hinsichtlich des Eintrainierens laparoskopischer Basisfertigkeiten eine gleichermaßen effektive Wirkung. In dieser Studie sollte deshalb der Frage nachgegangen werden, ob auch das bloße Training von laparoskopischen Basisfähigkeiten anhand abstrakter Übungen am Boxtrainer bereits zur Erlangung von Fähigkeiten führt, die im Rahmen einer kompletten operativen Prozedur, wie der simulierten laparoskopischen Cholezystektomie, anwendbar sind.

2. Methoden

2.1 Probanden

Insgesamt nahmen 47 Medizinstudenten im Zeitraum von März 2012 und März 2014 an dieser Studie teil. Die Probanden formten dabei zwei Gruppen. Gruppe 1 (Trainingsgruppe) bestand aus 23 Studenten, die an einem 5-tägigen Grundkurs laparoskopischer Basisfertigkeiten teilnahmen. Die zweite Gruppe diente als Kontrollgruppe und wurde aus Studenten gebildet, die für einige Wochen im Rahmen der curricularen Lehre in unserer Klinik zum Praktikum eingeteilt waren (Blockpraktikanten und Famulanten). Alle Studenten befanden sich im klinischen Abschnitt ihrer Ausbildung und besaßen keinerlei laparoskopische Vorerfahrung. Probanden, deren linke Hand die dominante war, wurden von dieser Studie ausgeschlossen. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig und alle Probanden waren mit der anonymisierten Erhebung ihrer Messdaten einverstanden.

2.2 „Münsteraner Curriculum“: laparoskopische Basisfertigkeiten

Der fünftägige Grundkurs laparoskopischer Basisfertigkeiten, an dem Gruppe 1 der Probanden teilnahm, basiert auf einem standardisierten und von unserer Arbeitsgruppe entwickelten Curriculum (12). Dieser Kurs ist als Wahlpflichtfach vom hiesigen Institut für Ausbildung und Studienangelegenheiten (IfAS) der medizinischen Fakultät anerkannt. Das Curriculum besteht aus insgesamt 9 Übungseinheiten mit unterschiedlichem Schweregrad. Anhand der einzelnen Übungen sollen die für eine laparoskopische Operation zwingend notwendigen psychomotorischen Fähigkeiten einstudiert werden. Für jede einzelne Übung stehen den Probanden maximal 300 Sekunden zur Verfügung. Im Rahmen der Auswertung wurden anschließend zusätzliche Zeitstrafen für Fehlerpunkte vergeben. Einen kurzen Überblick über die einzelnen Tasks sowie deren Lernziele und Schweregrad gibt Tabelle 1. Die Einteilung des jeweiligen Schweregrades der Übungen basiert auf einer Analyse von Evaluationsbögen der Probanden, die im Rahmen der schon zuvor zitierten Studie von Bonrath et al. (12) dieses Curriculum durchlaufen haben.

Übung	Ziel	Schweregrad
1. Kameranavigation	Umgang mit der Optik, Orientierung, Einsatz der linken (nicht dominanten) Hand	moderat
2. Fassen und Greifen	Hand-Auge-Koordination, Fulcrum-Effekt	leicht
3. Greifen mit Transfer	Hand-Auge-Koordination, Fulcrum-Effekt, bimanuelles Arbeiten	moderat
4. Zielgenaues Platzieren	Hand-Auge-Koordination, bimanuelles Arbeiten, ruhige Bewegungen, Zielgenauigkeit	moderat
5. Ausschneiden	Bimanuelles Arbeiten, Arbeiten aus verschiedenen Winkeln, Zielgenauigkeit	schwer
6. Röderschlinge platzieren	Bimanuelles Arbeiten, Zielgenauigkeit	leicht
7. Extrakorporales Knoten	Umgreifen, bimanuelles Arbeiten, eine Folge kombinierter Tasks bewältigen	moderat
8. Intrakorporales Knoten	Umgreifen, bimanuelles Arbeiten, eine Folge kombinierter Tasks bewältigen	schwer
9. Clippen	Zielgenaues und sicheres Arbeiten	leicht

Tabelle 2: Münsteraner Curriculum nach Bonrath et al. (12)

Übung 1: Kameranavigation

Innerhalb des Boxtrainers befindet sich eine mittels Watte und Stoff gebastelte und auf einer Holzplatte beweglich angebrachte Darmatrappe (siehe Abbildung 3). In der „Abdominalhöhle“ des Kunststoff-Torsos werden zehn Nummern (0-9) gleichmäßig verteilt. Die Nummern werden sowohl zwischen den aus Stoff simulierten Mesenterialfalten als auch an der inneren Oberseite des Torsos, quasi der inneren

„Bauchdecke“, versteckt. Ziel der Übung ist es, innerhalb von 300 Sekunden alle Nummern aufzufinden. Der Proband führt im Gegensatz zu den restlichen Übungen, wo ihm jeweils ein Kameramann zur Seite steht, diesen Task alleine durch. Trainiert werden sollen vor allem die Orientierung im Raum und der Einsatz der linken, nicht-dominanten Hand, die mit einem Greifinstrument den Darm jeweils hin- und her bewegen muss, um die versteckten Zahlen mit der Kamera visualisieren zu können.



Abbildung 3: Darmtrappe aus Watte und Stoff nachgebildet, zu sehen sind auch verschieden geformten Holzperlen (Bild: Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

Übung 2: Fassen und Greifen

Auf jeder Seite der Darmmatrappe liegen 5 verschieden geformte Holzperlen in 2 verschiedenen Farben. Diese sollen, getrennt nach Farbe, mit einem Greifinstrument in jeweils 2 unterschiedliche Behälter verbracht werden. Bei dieser Übung soll die Hand-Auge-Koordination trainiert und der Proband mit dem Wegfall der Tiefenwahrnehmung und des direkten Tastsinns vertraut gemacht werden.

Übung 3: Fassen und Greifen mit Transfer

In diesem Falle sind lediglich 5 Holzperlen im Boxtrainer ausgelegt. Allerdings muss jede Holzperle zunächst von einem Instrument aufgenommen werden und anschließend von dem Instrument der Gegenseite übernommen werden. Erst dann darf sie in den Behälter gelegt werden. Diese Übung geht noch einen Schritt weiter als die vorige: Neben der Kompensation des 3D-Verlustes muss der Proband nun zusätzlich koordiniert bimanuell agieren und die nicht dominante Hand aktiv in das Geschehen mit einbeziehen.



Abbildung 4: Fassen und Greifen der Holzperlen aus Übung 2 und 3 (Bild: Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

Übung 4: Zielgenaues Platzieren

In einem Holzbrett auf dem Boden des Torsos sind 3 Nägel befestigt. Auf diese Nägel müssen insgesamt 6 kleine Holzwürfel, die in der Mitte mit einem Loch versehen sind, aufgereiht werden (Abbildung 4). Die Würfel sind paarweise in 3 verschiedenen Farben vorhanden. Auf jeden Nagel soll ein Würfelpaar platziert werden. Im Gegensatz zu den vorigen beiden Tasks ist der Zielpunkt der Aktivität durch den Nagel auf ein deutlich kleineres Areal beschränkt. Dadurch soll ein zielgenaues Arbeiten eintrainiert werden.

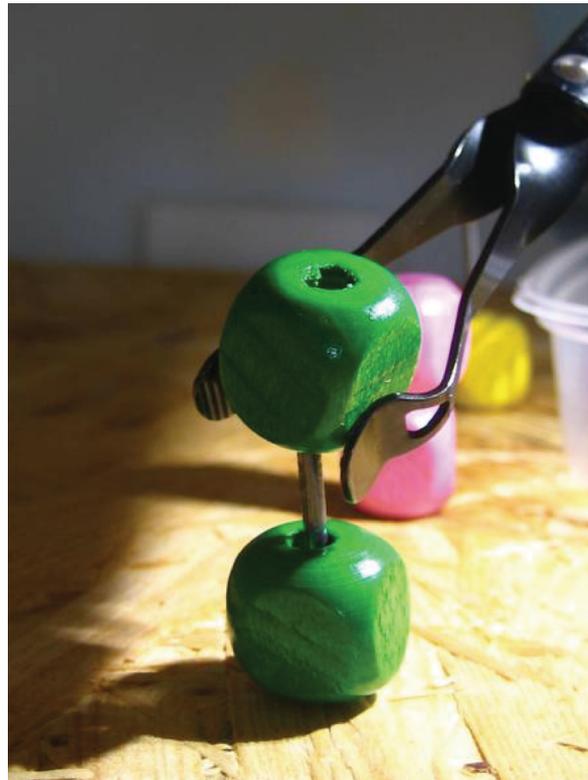


Abbildung 5: Zielgenaues Platzieren (Übung 4) (Bild: Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

Übung 5: Ausschneiden eines Musters

Eine circa 10x10 cm große Kompresse wird zwischen zwei Klammern auf dem Holzbrett befestigt. Auf der Kompresse ist ein Kreis eingezeichnet, welcher von den Probanden zielgenau entlang der Linie ausgeschnitten werden muss (siehe Abb. 6). Der Task ist beendet, wenn der Kreis aus der Kompresse komplett herausgeschnitten ist. Die Schwierigkeit der Übung besteht neben dem zielgenauen Ausschneiden in dem häufigen Umgreifen beider Instrumente. Ohne koordiniertes bimanuelles Arbeiten und Agieren aus unterschiedlichen Winkeln ist diese Aufgabe kaum zu bewältigen.

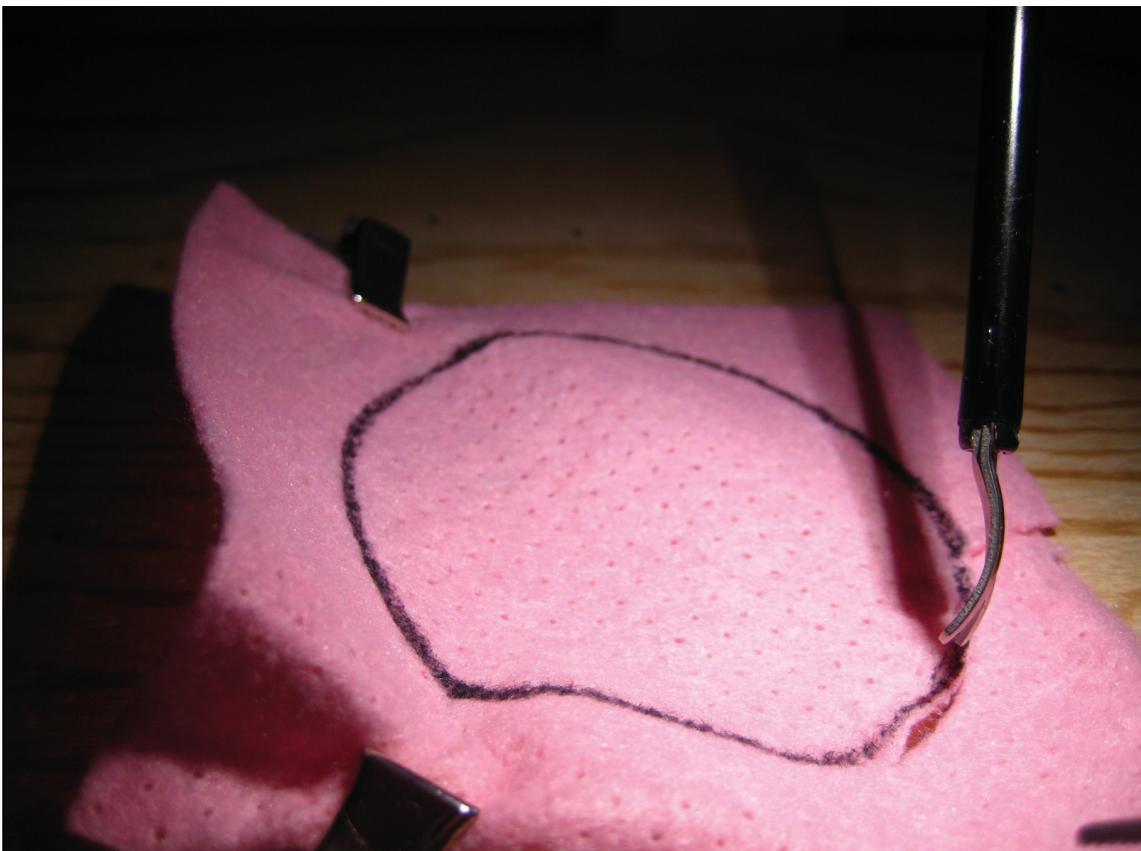


Abbildung 6: Ausschneiden eines Musters aus einer Kompresse bzw. Stofftuch (Übung 5) (Bild: Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

Übung 6: Platzieren einer Röderschlinge

Mit dieser Übung wird ein Teilschritt der laparoskopischen Appendektomie simuliert: Das zielgenaue Platzieren einer Röderschlinge an der Appendixbasis. Bei der Röderschlinge handelt es sich um eine Schlaufe mit einem vorgefertigten Knoten, die sich um bestimmte Strukturen legen und zuziehen lässt. Im klinischen Alltag wird sie meistens zum Verschluss der Appendixbasis verwendet. Ein zurechtgeschnittenes Kunststofftuch (Reinigungstuch), dessen Finger jeweils die Appendix simulieren, wird zwischen zwei Klammern im Boxtrainer befestigt. Die Röderschlinge muss genau auf einer zuvor aufgezeichneten Linie des Handschuh-Fingers platziert und fest zugezogen werden.

Übung 7: Extrakorporales Knoten

Auf dem Arbeitsbrett im Boxtrainer ist ein Metallstift mit einer geschlossenen Öse angebracht. Der Proband arbeitet mit zwei laparoskopischen Nadelhaltern. Zunächst muss die Nadel in den Boxtrainer eingebracht werden indem der rechte Nadelhalter den Faden durch den Trokar ins Innere des Torsos führt. Das andere Ende des Fadens bleibt dabei außerhalb des Boxtrainers. Dann beginnt die eigentliche Übung: Die Nadel wird vom linken Instrument gehalten und muss korrekt im Nadelhalter der rechten Hand eingespannt werden. Anschließend wird die Nadel mit dem Faden durch die Öse geführt, was wiederum ein Umgreifen mit der linken Hand erfordert. Mit dem rechten Nadelhalter wird der Faden dann wieder nach außen gezogen. Außerhalb des Situs werden insgesamt drei Knoten vorgelegt, die jeweils mit einem Knotenschieber nach innen bis auf die Metallöse geführt werden (siehe Abb. 7). Mit dem Abschneiden der beiden Fadenstränge wird die Übung abgeschlossen.



Abbildung 7: Extrakorporales Knoten; hier ist zu sehen, wie der Knoten auf der Metallöse mit einem Knotenschieber festgezogen wird (Übung 7) (Bild: Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

Übung 8: Intrakorporales Knoten

Bei dieser Übung wird eine 10 x 10 cm große Kompresse zwischen zwei Klemmen im Boxtrainer eingespannt. In die Kompresse wurde zuvor ein circa 0,5 cm langer Defekt mittig eingeschnitten. Ziel dieses Tasks ist es, den Defekt mit zwei Nähten zu verschließen. Der Proband arbeitet dabei erneut mit zwei laparoskopischen Nadelhaltern. Zunächst muss die Nadel mit dem rechten Instrument wieder in den Boxtrainer eingebracht werden indem der Nadelhalter den Faden mit der schlaff herunterhängenden Nadel greift und durch den Trokar ins Innere führt. Die Übung beginnt dann mit dem Einspannen der Nadel in den rechten Nadelhalter, was eine beidhändige Koordination erfordert. Anschließend beginnt die Nähübung. An beiden Seiten des Defektes wurden jeweils im Abstand von 0,25 cm vom „Wundrand“ mit Textmarker zwei Einstich- und Ausstichstellen markiert. Der Proband sticht durch die markierte Stelle auf der einen Seite des Schnittes und kommt dann im Defekt mit der

Nadel wieder aus dem Gewebe heraus. Die Nadel wird mit dem linken Instrument ergriffen und erneut in den rechten Nadelhalter eingespannt. Danach erfolgt der Ausstich an der markierten Stelle der gegenüber liegenden Seite. Der schwierigste Teil dieser Übung besteht in dem abschließenden Knoten in der sogenannten „C-Knoten-Technik“ innerhalb des Boxtrainers, da hier ein geschicktes bimanuelles Arbeiten erforderlich ist. Der Knoten beginnt mit zwei gleichläufigen Schlaufen, die durch eine koordinierte Bewegung beider Instrumente um den rechten Nadelhalter gelegt werden. Während das linke Instrument die Nadel am dem einen Fadenende festhält, greift das rechte Instrument nach dem anderen Fadenende und zieht es durch die Schlaufen. Durch gleichmäßigen Zug der Nadelhalter an beiden Fadenenden wird der Knoten fest gezogen. Nach demselben Prinzip wird jeweils noch ein gegenläufiger Knoten hinzugefügt. Die Übung ist mit dem Abschneiden beider Fadenenden abgeschlossen.

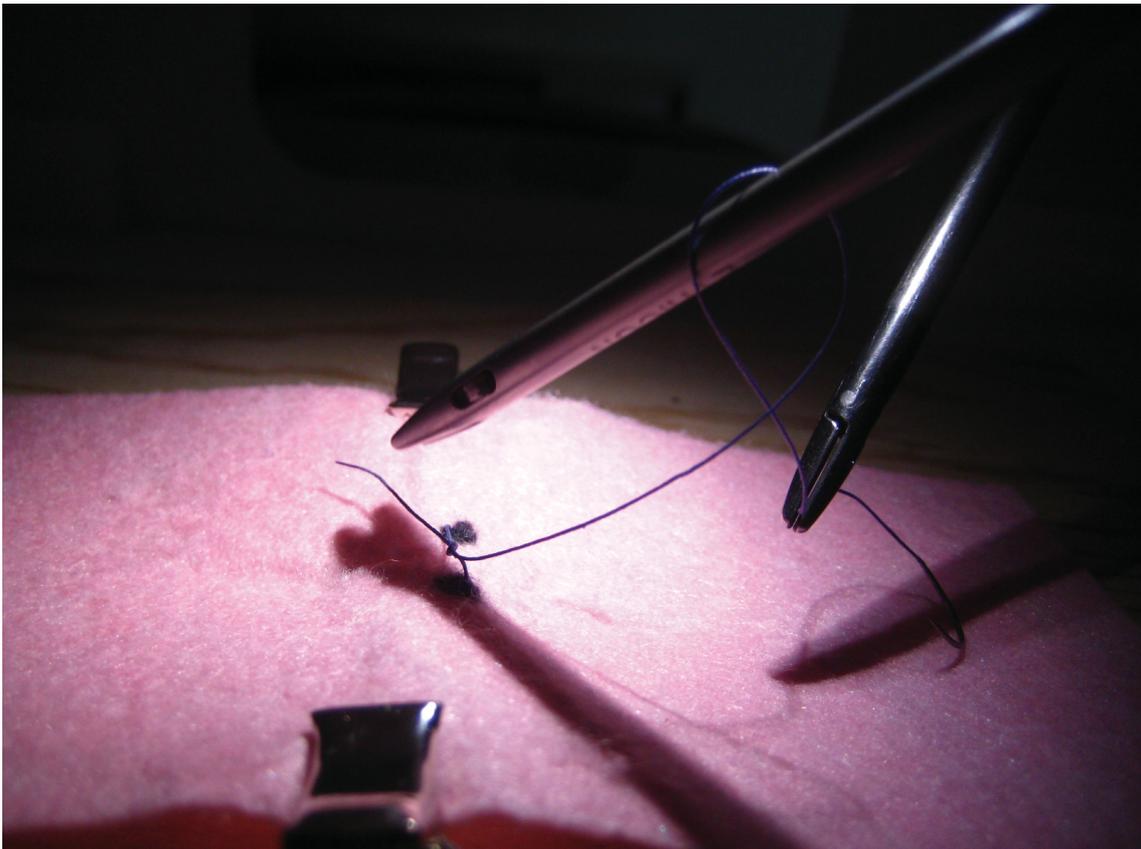


Abbildung 8: Intrakorporales Knoten (Übung 8) (Bild: Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

Übung 9: Sicheres Clippen

Ein länglicher, schmaler Ballon wird mit Wasser gefüllt. Auf dem Ballon werden mit einem Textmarker zirkumferentiell 2 Linien im Abstand von 0,5 cm eingezeichnet. Die Übung besteht darin, den Ballon an beiden markierten Stellen mit jeweils einem laparoskopischen Clip zu verschließen und dazwischen mit einer Schere zu durchtrennen. Die Clips müssen in einem 90° Winkel zum Längsverlauf des Ballons platziert werden, wobei die Clipenden die Breite des Ballons überragen müssen. Die verwendeten Instrumente sind eine laparoskopische Greifzange, ein laparoskopischer Clip-Applikator sowie eine laparoskopische Schere. Kommt es nach Durchschneiden zu einem Wasseraustritt aus dem Ballon, zeigt dieses einen insuffizienten Clipverschluss. Dieser Task zielt insbesondere auf sicheres Agieren ab.

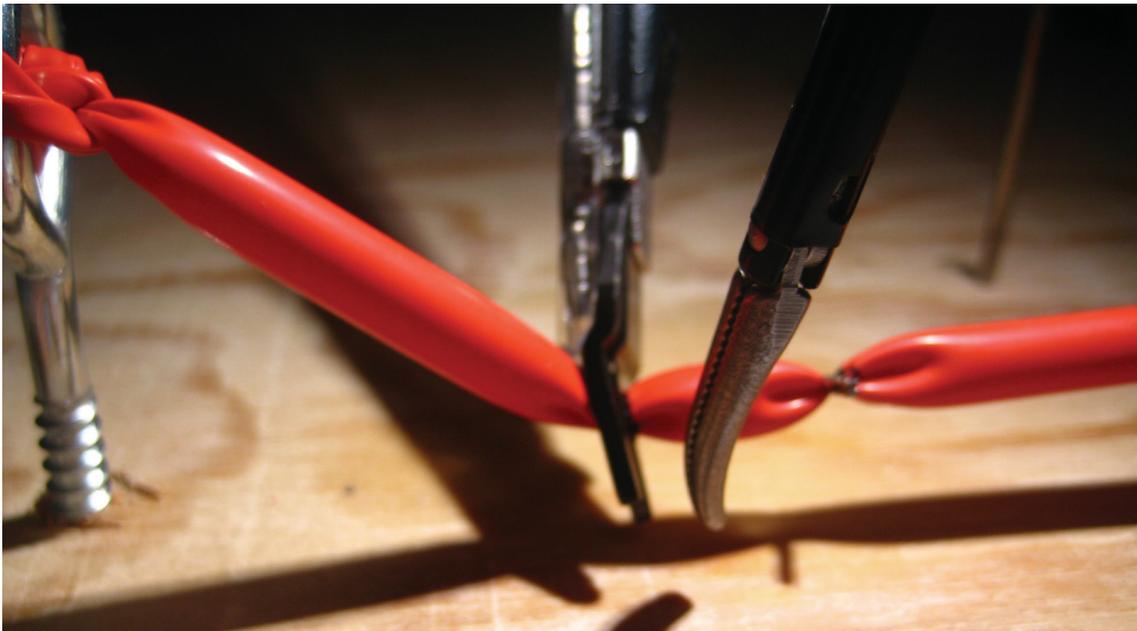


Abbildung 9: Sicheres Clippen des mit Wasser gefüllten Ballons (Übung 9) (Bild: Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Universitätsklinik Münster)

2.3 Cholezystektomie am Virtual Reality Trainer

Die laparoskopische Cholezystektomie wurde von allen Probanden am LAP Mentor™, Modell II (Symbionix Corporation, Cleveland, Ohio, USA) durchgeführt. Dieser Simulator gehört seit einigen Jahren zur festen Ausstattung unseres Skills Labs.

Die Hardware besteht aus einem Computer, der in einem rollbaren Kunststoff-Container untergebracht ist. In diesen Container sind die beiden Arbeitsinstrumente sowie die Kamera eingelassen. Darüber ist an einer Metallhalterung eine Tastatur angebracht, mit der das Computersystem bedient werden kann und ein Monitor mit Touchscreen-Funktion. Zusätzlich gibt es noch eine Pedaleinheit mit zwei Fusstritten, mit denen die simulierten Elektrokauter bedient werden können.

Die in unseren Labor vorhandene Software bietet drei verschiedene Module an: Das Training laparoskopischer Basisübungen, das Trainieren einzelner operativer Schritte und eine komplette laparoskopische Cholezystektomie. Im Rahmen dieser Studie wurde das letztgenannte Modul verwendet. Innerhalb dieses Moduls stehen wiederum verschiedene Fälle mit unterschiedlichem Schweregrad sowie variablen anatomischen Gegebenheiten zur Auswahl. In dieser Studie wurde jeweils „Case 1“ gewählt, was der Simulation einer einfachen Cholezystektomie ohne Normvarianten der biliären Anatomie entspricht.

Nach Auswahl des Moduls müssen zunächst die Instrumente justiert werden, indem sie für circa 10 Sekunden in einer vom Computersystem vorgegeben Position gehalten werden. Hat das System die Justierung beendet, folgt als nächster Schritt die Kamerawahl, bei der zwischen einer 0° oder 30° Optik ausgewählt werden kann. Die Probanden dieser Studie arbeiteten alle mit einer 30° Optik. Anschließend wird die Kamera in den „Situs“ eingebracht und die korrekte Position mit Sicht auf das Operationsfeld eingestellt. Mit einem Knopf an der Kamera lässt sich der eingestellte Sichtwinkel fixieren, sodass der Proband beide Hände für die Bedienung der Instrumente frei hat. Diese müssen im nächsten Schritt gewählt werden. Sobald die Instrumente auf dem Bildschirm erscheinen beginnt die OP-Zeit zu laufen und das System fängt mit der Aufzeichnung der einzelnen Performance-Parameter an.

Während der Operation wurden vom System zusätzlich Tipps zur Durchführung der laparoskopischen Cholezystektomie in Form von kurzen schriftlichen Notizen am unteren Bildrand eingeblendet.

Der erste Schritt der Operation besteht in der Dissektion des Ductus cysticus und der Arteria cystica im Bereich des Gallenblasenhilus (siehe Abbildung 10). Wichtig ist bei diesem Schritt, die Strukturen klar darzustellen um so den kritischen Blick auf das Calot'sche Dreieck zu ermöglichen. Für diesen Schritt wird als Instrument in der linken Hand eine Fasszange und in der rechten Hand ein elektrisches Häkchen gewählt. Mit dem linken Instrument wird die Gallenblase im Bereich des Infundibulums gefasst und Zug ausgeübt, damit sich das Gewebe im zu dissezierenden Areal besser aufspannt. Die Präparation erfolgt mithilfe des elektrischen Häkchens in der rechten Hand. Der Strom muss dabei durch das Pedal ausgelöst werden.



Abbildung 10: Simulation einer laparoskopischen Cholezystektomie: hier dargestellt die Präparation am Calot'schen Dreieck (Bild: 3D Systems, Simbionix Products)

Nach sicherer Freipräparation der Strukturen erfolgt als nächster Schritt das Clippen und Durchtrennen des Ductus cysticus und der Arteria cystica (siehe Abbildung 11). Dazu muss das rechte Instrument gewechselt werden. Der Proband zieht das Instrument zurück, bis es nicht mehr auf dem Bildschirm sichtbar ist. In dem Moment erscheint ein Menü, welches mehrere weitere Instrumente zur Auswahl stellt. In diesem Falle wird der Clip-Applikator ausgewählt. Der Verschluss beider Strukturen erfolgt mit jeweils 3 Clips: Organseitig wird nah am Infundibulum ein Clip appliziert, mit etwas Abstand zum ersten Clip werden nach zentral zwei Clips direkt nebeneinander gesetzt. Nach dem analogen Clippen der Arteria cystica erfolgt in der rechten Hand der Wechsel auf eine Schere, mit der sowohl die Arterie als auch der Ductus cysticus durchtrennt werden. Das Durchschneiden erfolgt dabei in der Mitte zwischen dem einzelnen und den beiden dicht nebeneinander sitzenden zentralen Clips.

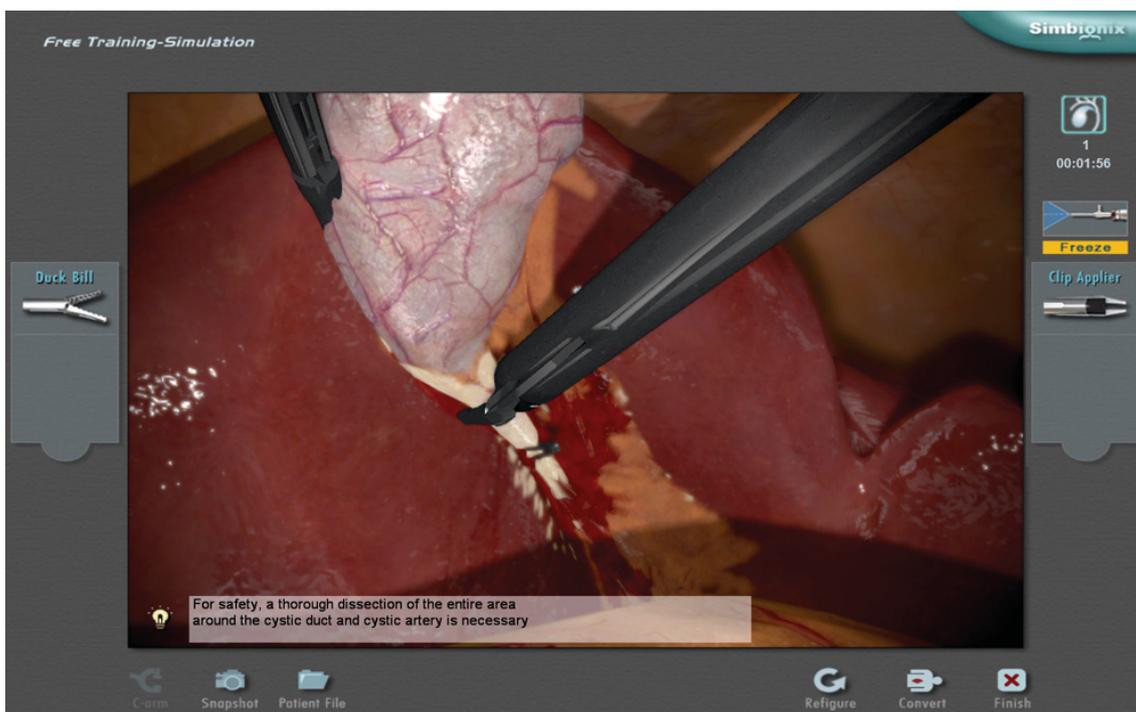


Abbildung 11: Simulation einer laparoskopischen Cholezystektomie: Clippen und Durchtrennen von Ductus cysticus und Arteria cystica (Bild: 3D Systems, Simbionix Products)

Sind die Strukturen durchtrennt, muss anschließend die Gallenblase vom Leberbett separiert werden. Dazu wird als rechtes Instrument wieder das elektrische Häkchen verwendet, mit dem die Adhäsionen und der peritoneale Überzug der Gallenblase durchtrennt werden. In der linken Hand wird weiterhin ein Greifinstrument verwendet, welches Zug auf die Gallenblase ausübt. Dabei muss die linke Hand häufig den Winkel und die Richtung verändern, um die peritoneale Adhäsionen optimal darzustellen und unter ständiger Spannung zu halten (siehe Abbildung 12).

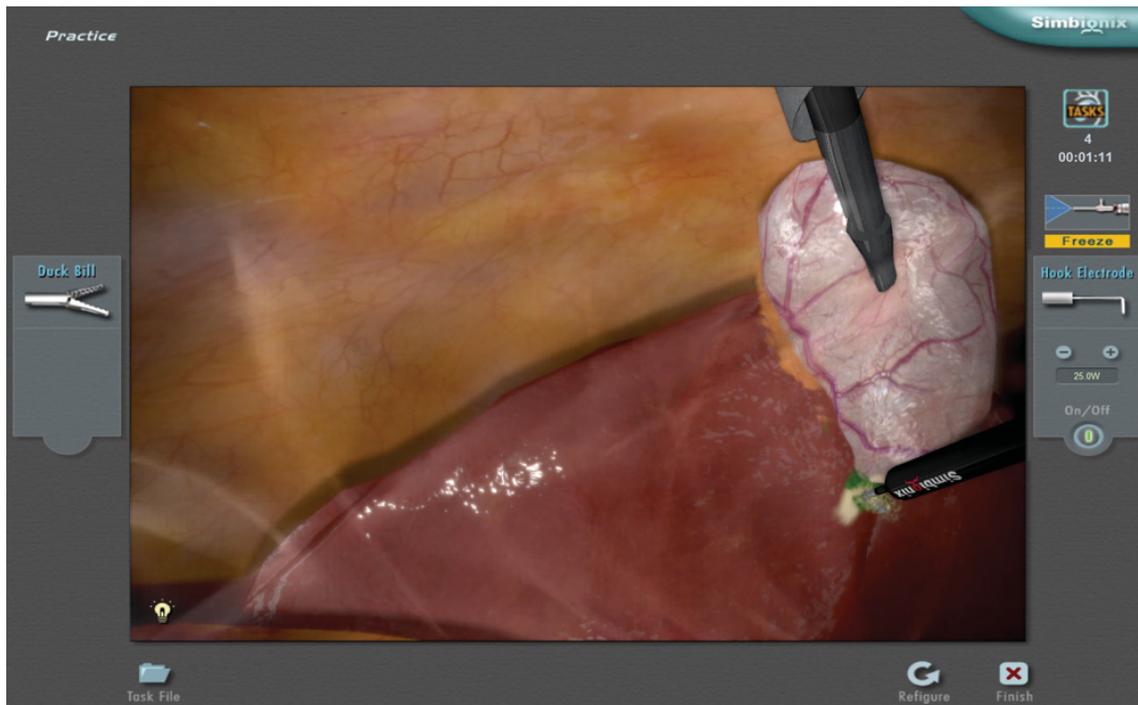


Abbildung 12: Simulation einer laparoskopischen Cholezystektomie: Separation der Gallenblase vom Leberbett; während die linke Hand die Spannung durch Zug an der Gallenblase aufrechterhält, werden mit der rechten Hand die sich anspannenden Fasern mit einem elektrischen Häkchen durchtrennt (Bild: 3D Systems, Simbionix Products)

Mit dem Auslösen der Gallenblase aus dem Leberbett ist die operative Prozedur am Virtual Reality Trainer beendet. An diesem Punkt endet auch die Aufzeichnung der entsprechenden Performance-Parameter. Das Verbringen der Gallenblase in einen Beugebeutel und die Extraktion aus dem Situs wurde nicht mehr von den Probanden erbracht, sondern vom System in einer abschließenden kurzen Videosequenz gezeigt.

2.4 Studiendesign

Der Ablauf dieser Studie ist in Abbildung 13 skizziert. An Tag 1 wurden allen Teilnehmern im Rahmen eines theoretischen Einführungskurses anhand eines Operationsatlasses und eines Operationsvideos grundlegende Kenntnisse über die einzelnen operativen Schritte einer laparoskopischen Cholezystektomie vermittelt. Insbesondere die Notwendigkeit des sicheren Blickes auf das Calot'sche Dreieck mit klarer Darstellung der zu durchtrennenden Strukturen wurde den Probanden erläutert. Zudem erfolgte eine Einführung in die Bedienung und das Arbeiten mit dem Virtual Reality Trainer. Zuletzt wurde den Probanden noch eine komplette laparoskopische Cholezystektomie unter erneuter Erklärung der einzelnen Operations-Schritte am Virtual Reality Trainer voroperiert.

Nach Abschluss des theoretischen Teils führten alle Probanden eine komplette laparoskopische Cholezystektomie am VR-Trainer durch. Die maximal zur Verfügung stehende Zeit für die Operation wurde dabei auf 900 Sekunden (15 Minuten) begrenzt. Wurde die Cholezystektomie nicht innerhalb von 15 Minuten geschafft, erfolgte der Abbruch der Operation.

Nach der Durchführung der ersten laparoskopischen Cholezystektomie sowie Erhebung der Baseline-Werte hatten die Probanden der Kontrollgruppe (Gruppe 2) die nächsten vier Tage trainingsfrei. In dieser Zeit bestand keine Möglichkeit für einen Zugang zum Skills Lab. Gruppe 1 hingegen unterzog sich in den folgenden vier Tagen einem intensiven laparoskopischen Training am Boxtrainer. Dabei wurden die 9 laparoskopische Basis-Übungen anhand des zuvor beschriebenen Curriculums (siehe Kapitel 2.2) einstudiert. Jede Übungseinheit wurde zweimal pro Tag, damit insgesamt 8 mal in 4 Tagen, durchlaufen. Jeweils zwei Probanden bildeten ein festes Team aus Kameramann und Operateur.

Während des Trainings wurde jedes Team individuell von erfahrenen Tutoren betreut, die entweder nach offensichtlichem Bedarf oder auch bei Rückfragen der Studenten Tipps zur besseren Handhabung der Instrumente oder anderweitige Hinweise zur erfolgreichen Aufgabenbewältigung geben konnten. Falls es von den Probanden gewünscht wurde, konnten einzelne Übungen vom Tutor erneut demonstriert werden. Zudem wurden Handzettel mit Tipps und Tricks in der laparoskopischen Chirurgie jedem Teilnehmer ausgehändigt. Ein aktives Eingreifen in eine laufende Übungseinheit der

Studenten erfolgte nicht.

Bei jeder Übung wurde die dafür benötigte Zeit sowie der Anzahl der Fehler erfasst. Pro Task standen maximal 300 Sekunden zur Verfügung. Im Falle eines Überschreitens der vorgegebenen Zeit galt die jeweilige Übung als nicht bestanden. Jeder einzelne Fehler in der Performance wurde dokumentiert und im Rahmen der Auswertung mit einer entsprechenden Zeitstrafe versehen.

Nach Abschluss dieses Übungskurses (Skills Lab) wurde an Tag 5 von den Probanden eine nochmalige laparoskopische Cholezystektomie (lap. CHE) am Virtual Reality Trainer operiert und die entsprechenden Performance-Parameter erneut erhoben.

Bei den Probanden der Kontrollgruppe (Gruppe 2) wurde an Tag 5 ebenfalls eine Re-Evaluation der Cholezystektomie am Virtual Reality Trainer durchgeführt.

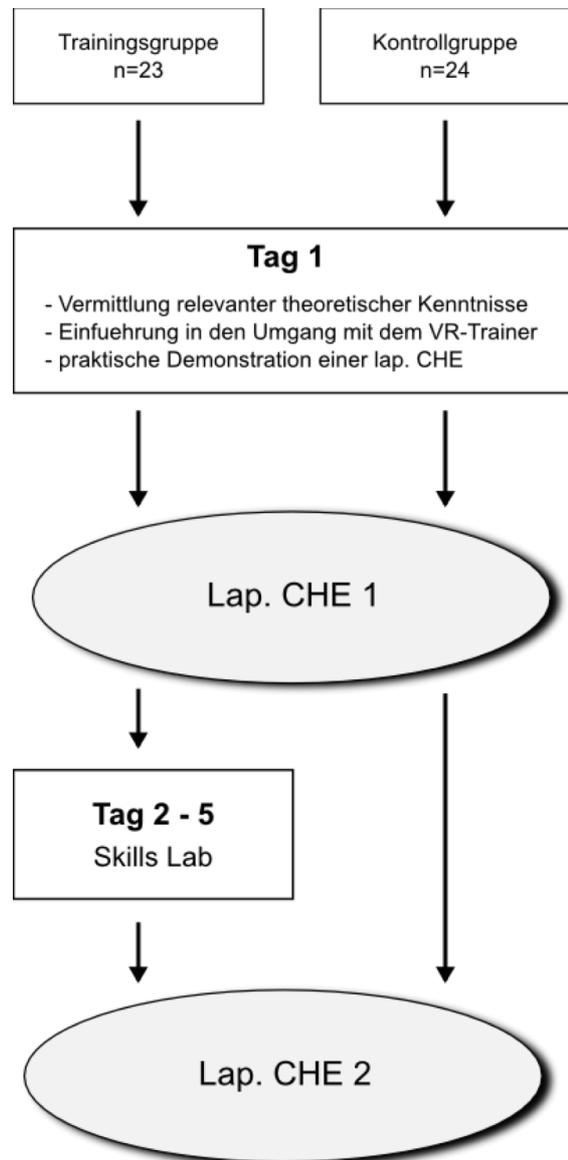


Abbildung 13: Studiendesign

2.5 Leistungserfassung

2.5.1 Leistung am Boxtrainer

Die Messung der Leistungen am Boxtrainer, an welchem Gruppe 1 das Curriculum durchlief, erfolgte manuell durch den jeweiligen Tutor, der das Probanden-Team betreute. Bei jedem der acht Durchgänge wurde mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen, die für die jeweiligen Tasks benötigt wurden. Maximal 300 Sekunden standen pro Übung zur Verfügung. Neben dieser quantitativen Messung wurde auch die Qualität der Leistung durch Registrierung der Fehlerrate erhoben. Jeder Fehlerpunkt wurde im Rahmen der späteren Auswertung in eine Zeitstrafe umgewandelt. Dabei wurde bei kleineren Ungenauigkeiten, wie z.B. Abweichungen von vordefinierten Arealen, an denen geclickt oder eine Struktur durchtrennt werden sollte, ein Zeitaufschlag von 1 Sekunde pro Millimeter vergeben. Schwerwiegendere Fehler, wie z.B. die Undichtigkeit eines gesetzten Clips mit Austreten von Wasser aus dem Ballon oder ein nicht festsitzender Knoten, wurden mit 10 Sekunden Zeitaufschlag versehen.

Zur Ermittlung eines möglichen Lerneffektes am Boxtrainer wurden jeweils die Mittelwerte der beiden Messungen des ersten Tages (Durchgang 1 und 2) sowie der beiden Messungen am letzten Tag des Curriculums (Durchgang 7 und 8) gegeneinander ausgewertet.

2.5.2 Leistung am Virtual Reality Trainer

Die Leistung der laparoskopischen Cholezystektomie am Virtual Reality Trainer wurde durch das integrierte Computersystem automatisch erfasst und gespeichert. Jedem Probanden wurde eine eigene anonymisierte Kennung zugeordnet, unter welcher vom System die entsprechenden Parameter abgespeichert werden konnten. So war im Verlauf die Zuordnung der Daten sowohl von der Baseline-Cholezystektomie als auch der Re-Evaluation zu jedem Probanden möglich.

Das Computersystem erfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Daten. Zum einen wird die Dauer der gesamten Prozedur erfasst. Darüber hinaus werden weitere **quantitative Parameter** erhoben: Die Anzahl der Bewegungen beider Hände, die gesamte Bewegungsstrecke beider Instrumente sowie die Geschwindigkeit der Bewegungen. Diese Werte zielen auf die Bewegungsökonomie der Probanden ab. Daneben werden

auch **qualitative Messwerte** erfasst, mit denen auf die Sicherheit der Performance Rückschlüsse gezogen werden können. In Abbildung 14 wird beispielhaft ein vom Virtual Reality Trainer erstellter Auswertungsbogen gezeigt.

2kurs01 2kurs01 Lap Chole Complete Procedure Module Lap Chole Case 1 Session 3 01/10/2012 11:43:37

Metric	Value
Number of applied clips	6
Safe clipping - distance between the clips (mm)	4.4
Safe clipping - distance between the distal clip and the infundibulum (mm)	12.1
Safe cautery (%)	74.1
Number of non-cauterized bleeding	1
Number of movements of left instrument	219
Number of movements of right instrument	663
Average speed of left instrument movement (cm/sec)	1.6
Average speed of right instrument movement (cm/sec)	2.1
Total path length of left instrument (cm)	295.8
Total path length of right instrument (cm)	1111.5
Number of lost clips	0
Safe cutting - distance from the clip (mm)	1.6
Number of perforations	1
Total cautery time	00:00:24
Efficiency of cautery (%)	78.6
The time cautery is applied without appropriate contact with adhesions	00:00:05
Time cautery is applied less than 5mm from the duct	00:00:02
Time cautery is applied less than 15mm from the clip	00:00:03
Total time	00:15:06

Abbildung 14: Beispiel eines Auswertungsbogen des Symbionix LAP Mentor™

Die einzelnen **quantitativen Parameter**, die im Rahmen dieser Studie ausgewertet wurden, waren folgende: Zeit (Sekunde, s) für die gesamte operative Prozedur; Anzahl der Bewegungen jeweils getrennt für die linke und rechte Hand, die Bewegungsstrecke (cm) der Instrumente sowie die Durchschnittsgeschwindigkeit beider Instrumentenbewegungen (cm/s).

Um den Einfluss der dominanten rechten Hand auszugleichen, wurden im Rahmen der Auswertung zusätzlich sowohl die Anzahl der Bewegungen als auch die Strecke beider Instrumente jeweils zu einem Parameter (Gesamtzahl der Bewegungen und Gesamtstrecke) summiert. Des Weiteren wurde als zusätzlicher Parameter der prozentuale Anteil der linken Hand an der Gesamtbewegung und -strecke errechnet, um eine mögliche Veränderung der Performance der nicht-dominanten Seite im Verhältnis

zur Gesamtbewegung zu erfassen. Die Bewegungsgeschwindigkeiten beider Instrumente wurden zu einem Durchschnittswert zusammengefasst.

Folgende **qualitative Parameter** wurden ausgewertet: „Sicherheit und Effizienz des Koagulierens“ (jeweils in %) sowie „inadäquates Koagulieren“ (s). Diese drei Parameter bewerten die Qualität im Rahmen der Dissektion der Gallenblase vom Leberbett. Die „Sicherheit des Koagulierens“ gibt die Zeit in Prozent an, in der in ausreichendem Abstand von vitalen Strukturen (Leberhilus) koaguliert wird. Die Effizienz beschreibt dabei den prozentualen Anteil der Koagulation, der tatsächlich zur Durchtrennung der Adhäsionen verwendet wurde. Je höher beide Prozentwerte sind, desto besser ist die Qualität der Dissektion. „Inadäquates Koagulieren“ beschreibt die Zeit in Sekunden, in der ein Koagulieren ohne adäquaten Kontakt zu Adhäsionen stattgefunden hat. Ein hoher Wert spricht für einen weniger zielgerichteten und damit potentiell gefährdenden Einsatz des elektrischen Instrumentes.

Zwei weitere Parameter, die ebenfalls untersucht wurden, geben Aufschluss über die Qualität der Darbietung beim Durchtrennen der Arteria cystica und des Ductus cysticus: „Sicherheit beim Clippen“ (mm) und „Sicherheit beim Schneiden“ (mm). Der erstgenannte Parameter zielt auf einen ausreichenden Abstand zwischen den gesetzten Clips ab, um die Strukturen dazwischen mit entsprechendem Sicherheitsabstand durchtrennen zu können. „Sicherheit beim Schneiden“ beschreibt hingegen den Abstand zwischen dem Schnitt und dem nächstgelegenen Clip. Ein zu geringer Abstand birgt die Gefahr einer potentiellen Leckage der zuvor geclippten Struktur und wird als Unsicherheitsfaktor gewertet. Im Rahmen der Auswertung wurden diese beiden Werte summiert und zu einem Parameter „Sicherheit beim Clippen und Schneiden“ zusammengefasst.

Zusätzlich registriert das System auch die Anzahl der Komplikationen, die im Rahmen der simulierten Operation auftraten. Es werden vom Computer drei Arten von Komplikationen ausgegeben: „Schwerwiegende Komplikationen“, womit die Verletzung vitaler Strukturen gemeint ist, sowie „nicht gestillte Blutungen“ und „Perforationen“. Letzteres bezieht sich auf die Perforation der Gallenblase im Rahmen der Dissektion vom Leberbett. Für die Auswertung dieser Studie wurde die Unterteilung der Komplikationsarten aufgehoben und die jeweilige Anzahl zu einem einzigen Parameter „Komplikationen“ summiert.

Da die Operationszeit für die Probanden auf 900 Sekunden (15 Minuten) begrenzt war und die Prozedur nach Ablauf dieser Zeit abgebrochen wurde, war die Auswertung einer potentiellen zeitlichen Verbesserung zwischen Baseline-Messung und Re-Evaluation bei den meisten Studienteilnehmern nicht möglich. Nur bei einigen Teilnehmern, die sowohl beim ersten Durchlauf als auch bei der Re-Evaluation innerhalb der vorgegebenen Zeit die komplette Cholezystektomie geschafft hatten, konnte eine Auswertung der zeitlichen Veränderung erfolgen. Insgesamt wurde deshalb lediglich zwischen „OP komplettiert“ und „nicht komplettiert“ unterschieden.

2.6 Statistik

Die initiale Datenerfassung erfolgte tabellarisch mittels Calc (Libre Office, The Document Foundation, Berlin, Deutschland). Die Auswertung der Daten wurde mit SPSS für Mac, Version 22.0 (IBM Corporation, Armonk, USA) durchgeführt. Zunächst erfolgte die Überprüfung der Variablen auf Normalverteilung anhand von QQ-Plots sowie dem Shapiro-Wilks Test. Die am Boxtrainer erhobenen Parameter in Gruppe 1 zeigten überwiegend keine Normalverteilung. Auch die am Virtual Reality Trainer in beiden Gruppen erhobenen Variablen wiesen größtenteils keine Normalverteilung auf. Aus diesem Grund erfolgte die weitere statistische Auswertung anhand nicht-parametrischer Tests. Für den Vergleich zwischen den beiden Gruppen wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet, der Wilcoxon signed-rank Test entsprechend für die Datenauswertung abhängiger Variablen innerhalb einer Gruppe. Für dichotome Variablen erfolgte die Auswertung mittels Chi-Quadrat Test und für den Vergleich abhängiger nominalskalierte Variablen innerhalb einer Stichprobe wurde der McNemar Test verwendet. Ein p -Wert $< 0,05$ zeigt jeweils statistische Signifikanz.

3. Ergebnisse

3.1 Demographie der Probanden

Insgesamt nahmen 47 Probanden an dieser Studie teil. Ein Student, der initial für den Trainingskurs ausgewählt worden war, erschien nach dem ersten Tag nicht mehr zum Kurs und wurde durch einen anderen Teilnehmer ersetzt. Da dieser nicht an der Baseline-Evaluation am Virtual Reality Trainer teilgenommen hatte, wurde er von der Studie ausgeschlossen. Somit standen für die Auswertung in Gruppe 1 die Daten von 23 Probanden zur Verfügung. Die Kontrollgruppe umfasste 24 Studenten.

Die demographischen Daten der Studienteilnehmer sind Tabelle 2 zu entnehmen. Hinsichtlich Alter, Geschlecht sowie aktuellem Studiensemester zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in beiden Gruppen. Alle Studenten hatten keinerlei laparoskopische Vorerfahrung und alle Probanden gaben die rechte Hand als die Dominante an.

<i>Merkmal</i>	<i>Gruppe 1 (Training)</i>	<i>Gruppe 2 (Kontrolle)</i>	<i>p-Wert</i>
Alter (Jahre)	23 (21-40)	24 (23-31)	0,274
Geschlecht (männlich / weiblich)	7 / 16	9 / 15	0,609
Semester	9 (8-10)	9 (7-10)	0,32
Linkshänder	<i>keiner</i>	<i>keiner</i>	

Tabelle 3: Demographie der Probanden. Alter und Semester in Medianen mit Spannweite in Klammern; p-Wert ermittelt durch Mann-Whitney-U-Test, p-Wert hinsichtlich Geschlechterverteilung mittels Chi-Quadrat-Test; $p < 0,05$ ist statistisch signifikant.

3.2 Training am Boxtrainer

Alle Probanden der Gruppe 1 (n=23) absolvierten vollständig das zuvor beschriebene Curriculum und alle 23 Teilnehmer führten jede Übung insgesamt 8 mal durch. Für jeden einzelnen Task war nach Abschluss des Kurses eine signifikante Verbesserung gegenüber der Baseline-Messung zu verzeichnen ($p < 0,000$ für jeden Task, siehe Abb. 15). Damit wurde gezeigt, dass durch die Absolvierung des Box-Trainer-Curriculums eine signifikante Verbesserung der laparoskopischen Basisfähigkeiten erreicht wurde.

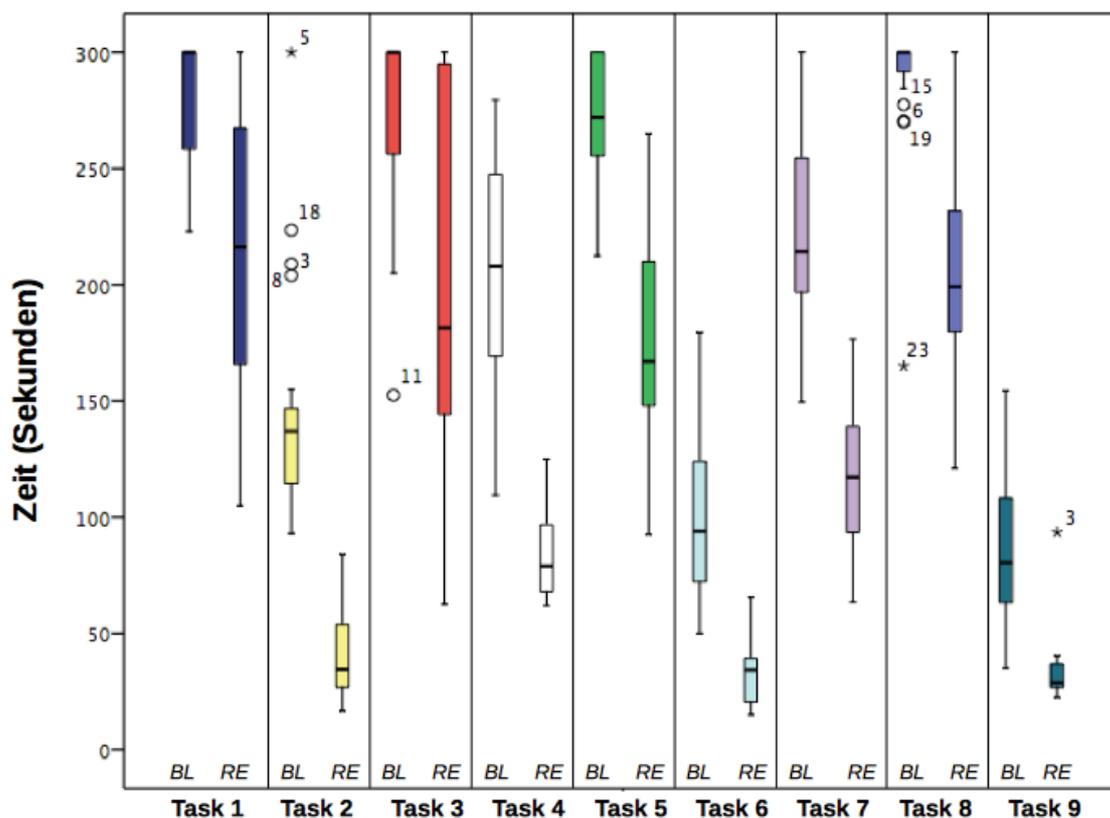


Abbildung 15: Boxplots der von Gruppe 1 am Boxtrainer durchgeführten Übungen; getrennt nach Tasks sind jeweils die Werte der Baseline-Messung (*BL*) sowie der Re-Evaluation (*RE*) dargestellt. Task 1: Kamera-Navigation; Task 2: Fassen und Greifen; Task 3: Fassen und Greifen mit Transfer; Task 4: Zielgenaues Platzieren; Task 5: Ausschneiden eines Musters; Task 6: Platzieren einer Röderschlinge; Task 7: Extrakorporales Knoten; Task 8: Intrakorporales Knoten; Task 9: Clippen. ^omarkiert Ausreißer mit daneben stehender Probanden-Nummer, * zeigt Extremwerte an. Bei jedem Task zeigte sich im Rahmen der Re-Evaluation eine signifikante zeitliche Reduktion gegenüber der Baseline-Messung mit jeweils p -Werten $< 0,000$ (Wilcoxon signed-rank Test).

3.3 Performance der laparoskopischen Cholezystektomie

3.3.1 Baseline-Messung

Alle 47 Studienteilnehmer führten zwei Cholezystektomien im Abstand von vier Tagen am VR-Trainer durch. Bei der Baseline-Evaluation zwischen beiden Gruppen (siehe Tabelle 3) zeigte sich ein Unterschied bezüglich des Parameters „Inadäquates Koagulieren“ (12 Sekunden (6-16) in Gruppe 1 gegenüber 20 Sekunden (14-29) in Gruppe 2; $p < 0,0004$). Darüber hinaus fand sich bei Gruppe 1 eine prozentual geringere Bewegungsstrecke der linken Hand im Vergleich zu Gruppe 2 (23,3 vs. 29,5; $p < 0,009$) sowie eine höhere Geschwindigkeit der Instrumentenbewegung (2,65 cm/s vs. 2,15 cm/s; $p < 0,021$). Hinsichtlich der restlichen Bewegungsparameter sowie der Sicherheitsparameter und Anzahl der Komplikationen zeigten sich keine Unterschiede. In Gruppe 2 schafften mehr Probanden (9 von 24) die Cholezystektomie sofort bei der Baseline-Messung gegenüber 5 von 23 Probanden in Gruppe 1. Dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant.

<i>Parameter</i>	<i>Gruppe 1 (Training)</i>	<i>Gruppe 2 (Kontrolle)</i>	<i>p-Wert</i>
Sicherheit Koagulation (%)	66,2 (51,9-74,1)	54,7 (50-65,7)	0,115
Effizienz Koagulation (%)	61,9 (54,5-70,5)	60,1 (56,3-63,9)	0,360
Inadäquates Koagulieren (sec)	12 (6-16)	20 (14-29)	0,0004
Anzahl Bewegungen	905 (788-1008)	936 (871-989)	0,898
Anteil Bewegung links (%)	26,58 (24,12-30,83)	29,04 (24,4-33,71)	0,259
Bewegungsstrecke (cm)	1514,9 (1381,3-2067)	1814,3 (1632,9-2016,9)	0,242
Anteil Strecke links (%)	23,26 (21,02-29,82)	29,45 (26,96-35,22)	0,009
Geschwindigkeit (cm/sec)	2,15 (1,85-2,65)	2,65 (2,2-2,78)	0,021
Sicherheit clippen / schneiden (mm)	5,3 (4,5-8,3)	6,3 (4,7-8,9)	0,587
Komplikationen (Anzahl)	4 (2-7)	5 (3-6)	0,699
OP komplettiert (Anzahl Probanden)	5	9	0,238*

Tabelle 4: Baseline Cholezystektomie am VR-Trainer. Die Werte entsprechen Medianen mit 25ter -75ter Perzentile in Klammern. p-Werte ermittelt durch Mann-Whitney-U-Test, *p-Wert ermittelt durch Chi-Quadrat-Test; $p < 0,05$ ist statistisch signifikant.

3.3.2 Re-Evaluation und Vergleich innerhalb der Gruppen (vorher-nachher)

Bei der Re-Evaluation zeigten sich bis auf die Parameter „Sicherheit beim Koagulieren“ sowie „Inadäquates Koagulieren“ keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Hinsichtlich der Gesamt-Performance war jedoch der Anteil der Probanden, die die laparoskopische Cholezystektomie innerhalb der vorgegebenen Zeit bewältigten, signifikant höher in Gruppe 1 (Trainingsgruppe). Diese Unterschiede werden des Zusammenhangs wegen in den folgenden Unterkapiteln ausführlicher dargestellt.

Beim Vergleich der Daten zwischen Baseline- und Re-Evaluation innerhalb der beiden Gruppen fand sich in Gruppe 2 neben einem Anstieg der vollständig durchgeführten Cholezystektomien lediglich eine Zunahme der Bewegungsgeschwindigkeit (siehe Kapitel 3.3.4). Weitere signifikante Änderungen fanden sich nicht.

Beim Vergleich der Baseline und Re-Evaluation zeigten sich in der Gruppe 1 eine signifikante Zunahme der Sicherheit der Koagulation sowie eine signifikante Zunahme der Bewegungen der linken Hand. Ebenso stieg die Geschwindigkeit der Instrumentenbewegungen signifikant an. Dahingegen nahm der negative Parameter „Inadäquates Koagulieren“ signifikant zu. Die Unterschiede zwischen Baseline und Re-Evaluation in Gruppe 1 zeigt Tabelle 5.

Parameter	Baseline Gruppe 1	Re-Evaluation Gruppe 1	p-Wert
Sicherheit Koagulation (%)	66,2 (51,9-74,1)	67,7 (60,4-79,6)	0,039
Effizienz Koagulation (%)	61,9 (54,5-70,5)	62,8 (59,5-69,9)	0,224
Inadäquates Koagulieren (sec)	12 (6-16)	15 (11-28)	0,002
Anzahl Bewegungen	905 (788-1008)	852 (725-911)	0,009
Anteil Bewegung links (%)	26,58 (24,12-30,83)	29,77 (24,51-34,21)	0,021
Bewegungsstrecke (cm)	1514,9 (1381,3-2067)	1834,6 (1559,3-2037,2)	0,248
Anteil Strecke links (%)	23,26 (21,02-29,82)	29,18 (21,94-32,26)	0,144
Geschwindigkeit (cm/sec)	2,15 (1,85-2,65)	2,45 (2,25-2,75)	0,002
Sicherheit clippen / schneiden (mm)	5,3 (4,5-8,3)	6,4 (4,5-8,1)	0,833
Komplikationen (Anzahl)	4 (2-7)	4 (2-8)	0,807
OP komplettiert (Anzahl Probanden)	5	22	0,000015*

Tabelle 5: VR-Cholezystektomie Gruppe 1 – Vergleich Baseline und Re-Evaluation. Werte entsprechen Medianen mit 25ter-75ter Perzentile in Klammern. p-Wert ermittelt durch Wilcoxon signed-rank Test und *McNemar-Test; p< 0,05 ist statistisch signifikant.

3.3.3 Ergebnisse qualitative Parameter

Die Sicherheit beim Koagulieren stieg in Gruppe 1 von 66,2% (Baseline-Messung) auf 67,7% bei der Re-Evaluation ($p < 0,039$; siehe Tab 4). Auch *zwischen* beiden Gruppen fand sich zum Zeitpunkt der Re-Evaluation ein signifikanter Unterschied in der Sicherheit des Koagulierens (67,7% (60,4-79,6) in Gruppe 1 vs. 58,1% (50,1-67,9) in Gruppe 2; $p < 0,016$; siehe Abb. 16).

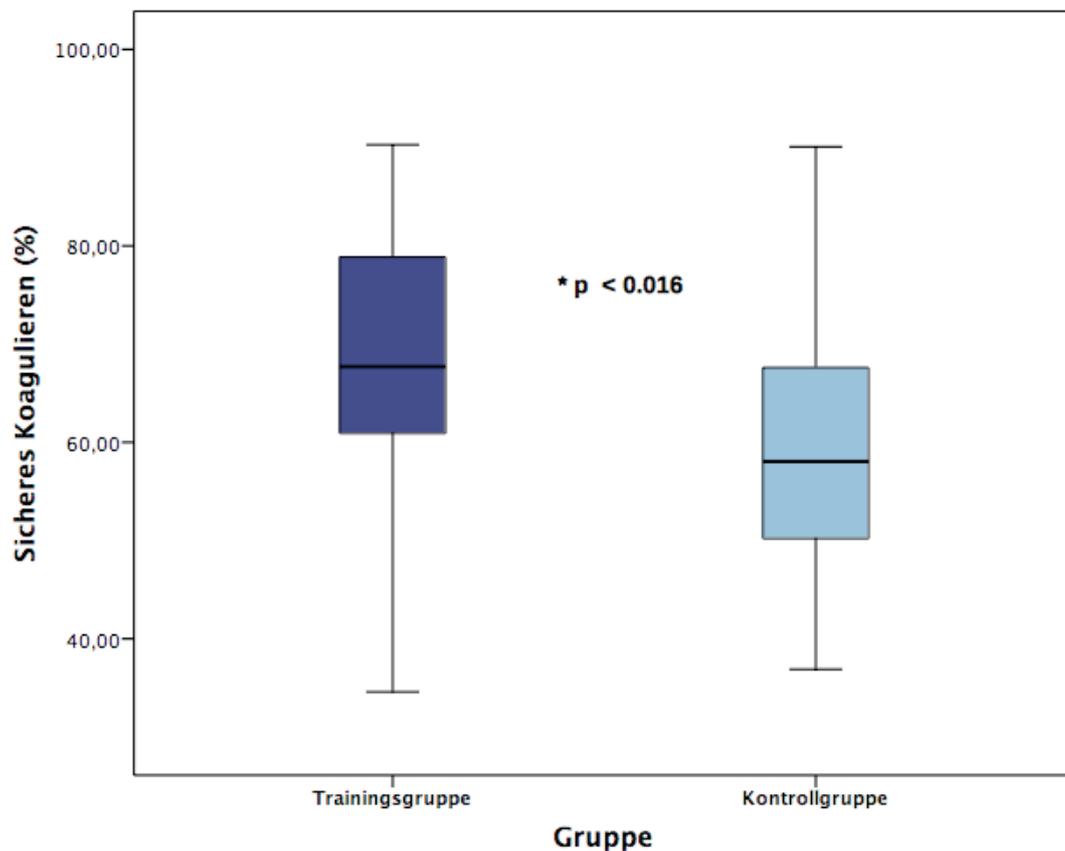


Abbildung 16: Boxplots zeigen den Parameter „Sicheres Koagulieren“ (%) in beiden Gruppen zum Zeitpunkt der Re-Evaluation. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist signifikant ($p < 0,016$). *p-Wert ermittelt durch Mann-Whitney-U-Test.

Bezüglich des Parameters „Inadäquates Koagulieren“ zeigte sich in Gruppe 1 im Verlauf eine Zunahme von 12 Sekunden (6-16) auf 15 Sekunden (11-28; $p < 0,002$; siehe Tab 4). Trotz Verschlechterung dieses Parameters war bei der Re-Evaluation im Vergleich *zwischen* beiden Gruppen die Zeit des inadäquaten Koagulierens in der Trainingsgruppe signifikant kürzer (15 Sekunden (11-28) in Gruppe 1 vs. 21 Sekunden (17-30) in Gruppe 2; $p < 0,043$). Allerdings zeigte dieser Parameter auch während der Baseline-Messung bereits einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (siehe Kapitel 3.3.1 sowie Tab. 3).

Hinsichtlich des qualitativen Parameters „Sicherheit beim Clippen und Schneiden“ fanden sich sowohl bei der Re-Evaluation *zwischen* beiden Gruppen als auch im Vergleich von Baseline- und Re-Evaluation *innerhalb* beider Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Auch die getrennte Auswertung von „Clippen“ und „Schneiden“ konnte keine signifikanten Unterschiede nachweisen.

Bei der Anzahl der Komplikationen fand sich ebenfalls kein Unterschied, weder im Rahmen der Re-Evaluation zwischen beiden Gruppen noch innerhalb einer Gruppe im Verlauf. Die separate Auswertung der einzelnen, vom VR-Trainer kategorisierten Komplikationen (vitale Komplikationen, nicht gestillte Blutungen sowie Perforationen) zeigte ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

3.3.4 Ergebnisse Bewegungsparameter

Gruppe 1 führte bei der laparoskopischen Cholezystektomie im zweiten Durchgang eine deutlich geringere Anzahl von Bewegungen aus als bei der Baseline-Messung (vorher 905 (788-1008), nachher 852 (725-911); $p < 0,009$; siehe Tab. 4). Bei separater Auswertung der vom VR-Trainer aufgezeichneten Bewegungen beider Hände zeigte sich im Vergleich zur Baseline-Messung in Gruppe 1 eine signifikante Abnahme der Bewegungen der rechten Hand (Median Baseline: 671 (606-743) vs. Median Re-Evaluation: 560 (514-657); $p < 0,001$; siehe Abbildung 17).

Des Weiteren fand sich der Trend zu einem Anstieg der Bewegungsanzahl der linken, nicht dominanten Hand von 223 (189-303) auf 248 (198-303). Dieser Anstieg war jedoch nicht signifikant. Allerdings stieg der prozentuale Anteil der linksseitigen Bewegungen im Verhältnis zur Anzahl der Gesamtbewegungen in Gruppe 1 signifikant von 26,6% auf

29,8% ($p < 0,021$) an. In Gruppe 2 fand sich bei der Re-Evaluation in beiden Händen eine leichte Abnahme der Bewegungsanzahl, jedoch ohne dass diese Änderung statistische Signifikanz erreichte.

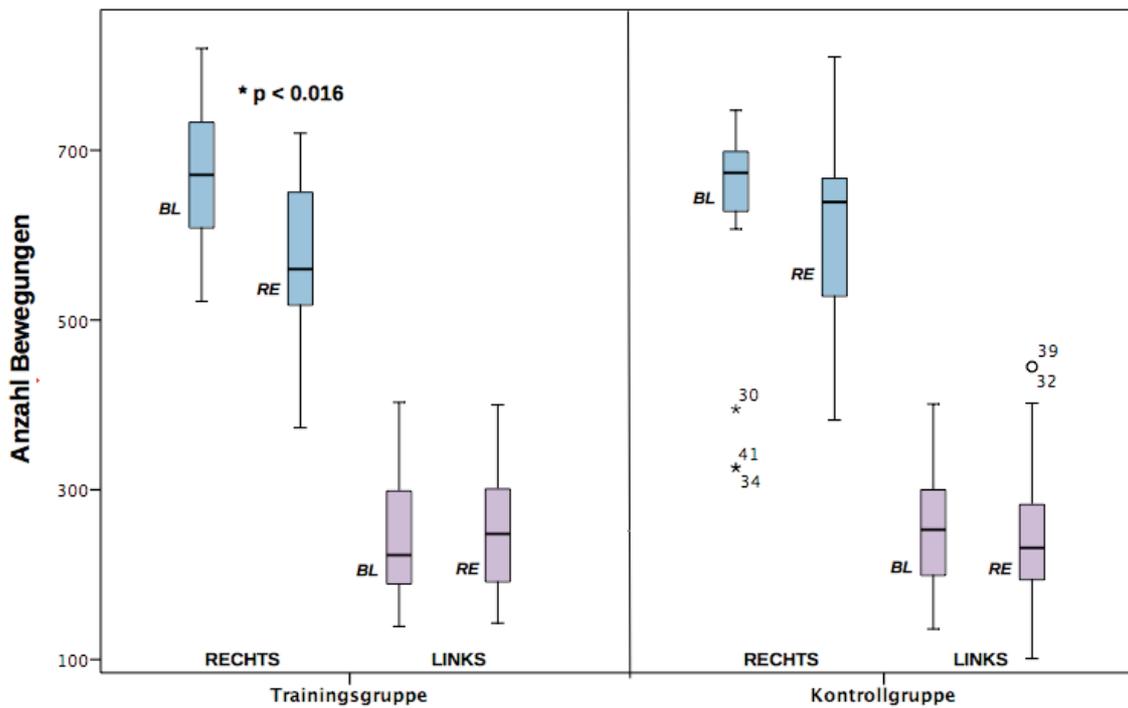


Abbildung 17: Boxplots zeigen die Anzahl der Instrumentenbewegungen bei der Durchführung der laparoskopischen Cholezystektomie sowohl von rechter als auch linker Hand; getrennt nach beiden Gruppen sind jeweils die Werte der Baseline-Messung (BL) sowie der Re-Evaluation (RE) dargestellt. ^omarkiert Ausreißer mit daneben stehender Probanden-Nummer, *zeigt Extremwerte an. *Im Rahmen der Re-Evaluation fand sich in Gruppe 1 eine signifikante Abnahme der Bewegungen der rechten Hand ($p < 0,016$), die linke Hand zeigte tendenziell eine Zunahme der Bewegung (ohne statistische Signifikanz). Innerhalb der Kontrollgruppe fanden sich keine signifikanten Veränderungen.

In beiden Gruppen zeigte sich zwischen den beiden Messzeitpunkten eine Zunahme der Bewegungsgeschwindigkeit der Instrumente (in Gruppe 1 von 2,15 cm/s (1,85-2,65) auf 2,45 cm/s (2,25-2,75), $p < 0,002$; in Gruppe 2 von 2,65 cm/s (2,2-2,78) auf 2,85 cm/s (2,3-3,51), $p < 0,004$). Im Vergleich *zwischen* beiden Gruppen bestand, im Gegensatz zur Baseline-Messung (siehe Tab.3), hinsichtlich der Bewegungsgeschwindigkeit bei der Re-Evaluation kein signifikanter Unterschied mehr.

Auch die prozentuale Bewegungsstrecke der linken, nicht-dominanten Hand, die bei Gruppe 1 im Rahmen der Baseline-Messung signifikant niedriger war als in der Kontrollgruppe (siehe Tab.3), zeigte zum Zeitpunkt der Re-Evaluation keine signifikanten Unterschiede mehr. Dieser Parameter stieg in Gruppe 1 von 23,3% (21,02-29,82) auf 29,2% (21,94-32,26) an (siehe Tab. 4). Allerdings war diese Zunahme statistisch nicht signifikant ($p < 0,144$) und führte lediglich zum Ausgleich der bei der Baseline-Messung bestehenden Unterschiede zwischen beiden Gruppen. In Gruppe 2 war hingegen ein leichter Rückgang der linksseitigen Bewegungsstrecke zu verzeichnen, der jedoch ebenfalls keine statistische Signifikanz erreichte.

Hinsichtlich der gesamten, kombinierten Bewegungsstrecke zeigte sich weder zwischen noch innerhalb beider Gruppen eine signifikante Veränderung. Schaut man sich die Bewegungsstrecke getrennt für beide Hände an, so zeigt sich jedoch bei Gruppe 1 eine *tendenzielle* Zunahme der Strecke des linksseitigen Instrumentes von 331,6 cm (280,6 – 583,2) auf 498,3 cm (327,4 – 653,4; $p < 0,162$). Dieser Trend war in der Kontrollgruppe nicht zu beobachten. Gegenüber der Baseline-Messung nahm die Strecke der linksseitigen Instrumentenbewegung in Gruppe 2 eher ab (von 528,15 cm (427,57 – 635,75) auf 424,7 cm (340,1 – 741,23); $p < 0,753$).

3.3.5 Ergebnisse bezüglich Komplettierung der Operation

Die Anzahl der Probanden, welche die laparoskopische Cholezystektomie innerhalb der vorgegebenen Zeit bewältigten, zeigte bei der Re-Evaluation in beiden Gruppen einen signifikanten Anstieg gegenüber der Baseline-Messung. Dieser Effekt war in der Trainingsgruppe noch stärker ausgeprägt als in der Kontrollgruppe. Während in Gruppe 1 die Anzahl der komplett durchgeführten Cholezystektomien von 5 auf 22 Probanden stieg ($p < 0,000015$) zeigte sich in Gruppe 2 ein Anstieg von 9 auf 18 Probanden ($p < 0,004$; siehe Abb. 18).

Darüber hinaus fand sich bei der Re-Evaluation auch ein signifikanter Unterschied *zwischen* beiden Gruppen bezüglich der Komplettierung der Operation: In Gruppe 1 schafften 22 von 23 Probanden die komplette Prozedur innerhalb der 900 Sekunden gegenüber 18 von 24 Probanden in Gruppe 2; $p < 0,047$; Abb. 18).

Eine Übersicht der Verteilung von komplettierten sowie nicht komplettierten Operationen in Bezug zu Baseline-Messung sowie Re-Evaluation zeigt Tabelle 6. Wie aus der Tabelle hervorgeht, schaffte in beiden Gruppen jeder Proband, der die Cholezytektomie bereits im ersten Anlauf komplettierte, diese auch bei der Re-Evaluation. Insgesamt gab es bei dieser Studie lediglich 7 Teilnehmer, die weder im ersten noch im zweiten Durchgang die Operation bewältigten. Davon befanden sich 6 Probanden in der Kontrollgruppe und nur 1 Proband in der Trainingsgruppe.

Trainingsgruppe			Kontrollgruppe		
OP komplett (BL)	OP komplett (RE)		OP komplett (BL)	OP komplett (RE)	
	Nein	Ja		Nein	Ja
Nein	1	17	Nein	6	9
Ja	0	5	Ja	0	9

Tabelle 6: Kreuztabelle mit Verteilung des Parameters „OP komplettiert“ in Bezug auf Baseline-Messung (BL) und Re-Evaluation (RE). In der Trainingsgruppe fand sich lediglich 1 Teilnehmer, der in beiden Durchläufen die laparoskopische Cholezystektomie nicht vollständig bewältigte gegenüber 6 Teilnehmern in der Kontrollgruppe.

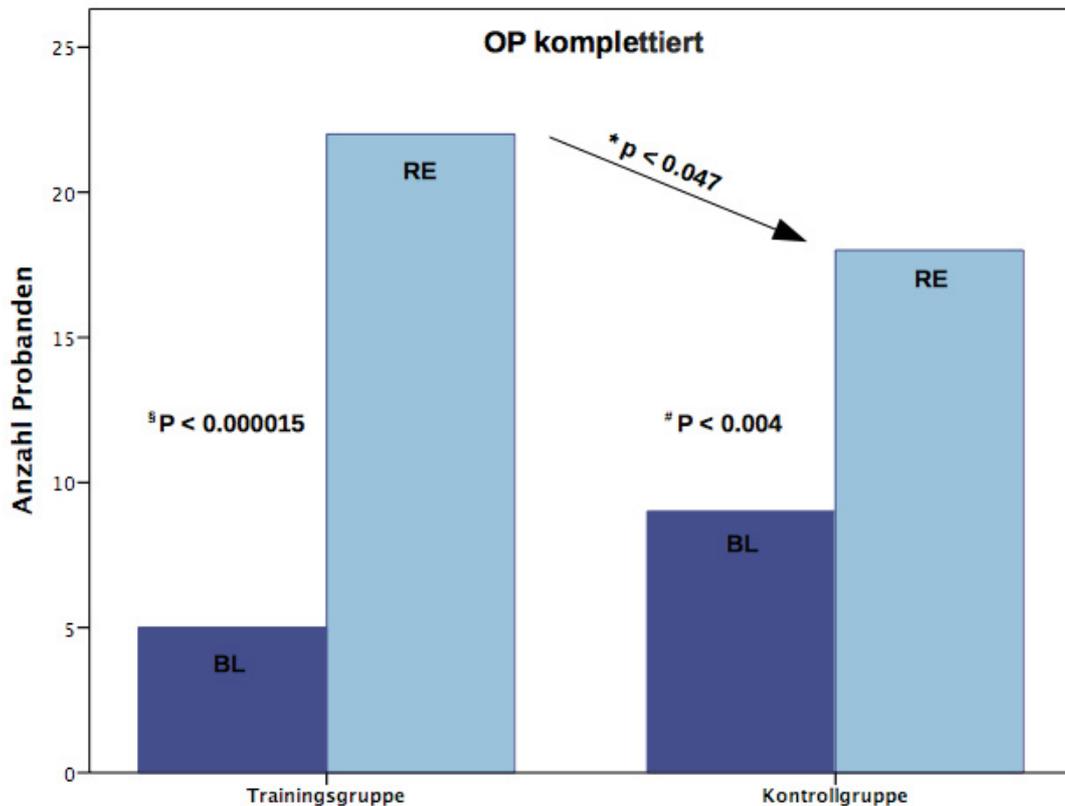


Abbildung 18: Anzahl der Probanden, die eine simulierte laparoskopische Cholezystektomie in der vorgegebenen Zeit bewältigten. Pro Gruppe wird jeweils die Anzahl zum Zeitpunkt der Baseline-Messung (BL) sowie der Re-Evaluation (RE) gezeigt. §Bei Gruppe 1 fand sich eine deutliche Zunahme kompletierter Cholezystektomien im Vergleich zur Baseline-Messung ($p < 0,000015$; McNemar-Test); # bei der Kontrollgruppe war der Anstieg ebenfalls signifikant ($p < 0,004$). *Bei der Re-Evaluation zeigt sich zwischen beiden Gruppen ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Anzahl kompletierter Operationen zu Gunsten der Trainingsgruppe ($p < 0,047$; Chi-Quadrat Test).

Hinsichtlich einer zeitlichen Verbesserung bei der Performance der laparoskopischen Cholezystektomie konnten lediglich die Probanden ausgewertet werden, die bereits bei der Baseline-Messung die Prozedur innerhalb der vorgegebenen Zeit geschafft hatten. Insgesamt waren dies 14 Teilnehmer, davon 5 in der Trainingsgruppe und 9 Probanden in der Kontrollgruppe (siehe auch Tab.3). Aufgrund des Cut-off's bei 900 Sekunden war bei den restlichen Teilnehmern eine diesbezügliche Aussage nicht möglich. Bei den 5 Studenten der Trainingsgruppe fand sich eine signifikante Verbesserung der Zeit von 861 Sekunden (769-883) auf 640 Sekunden (584-753), $p < 0,043$ (siehe Abb. 19). Jeder einzelne der 5 Probanden führte die zweite Cholezystektomie in kürzerer Zeit durch als bei der Baseline-Messung. Die 9 Probanden der Kontrollgruppe zeigten ebenfalls eine leichte zeitliche Verbesserung, die jedoch statistisch nicht signifikant war. Drei der neun Teilnehmer benötigten beim zweiten Durchgang sogar länger als bei der Baseline-Cholezystektomie.

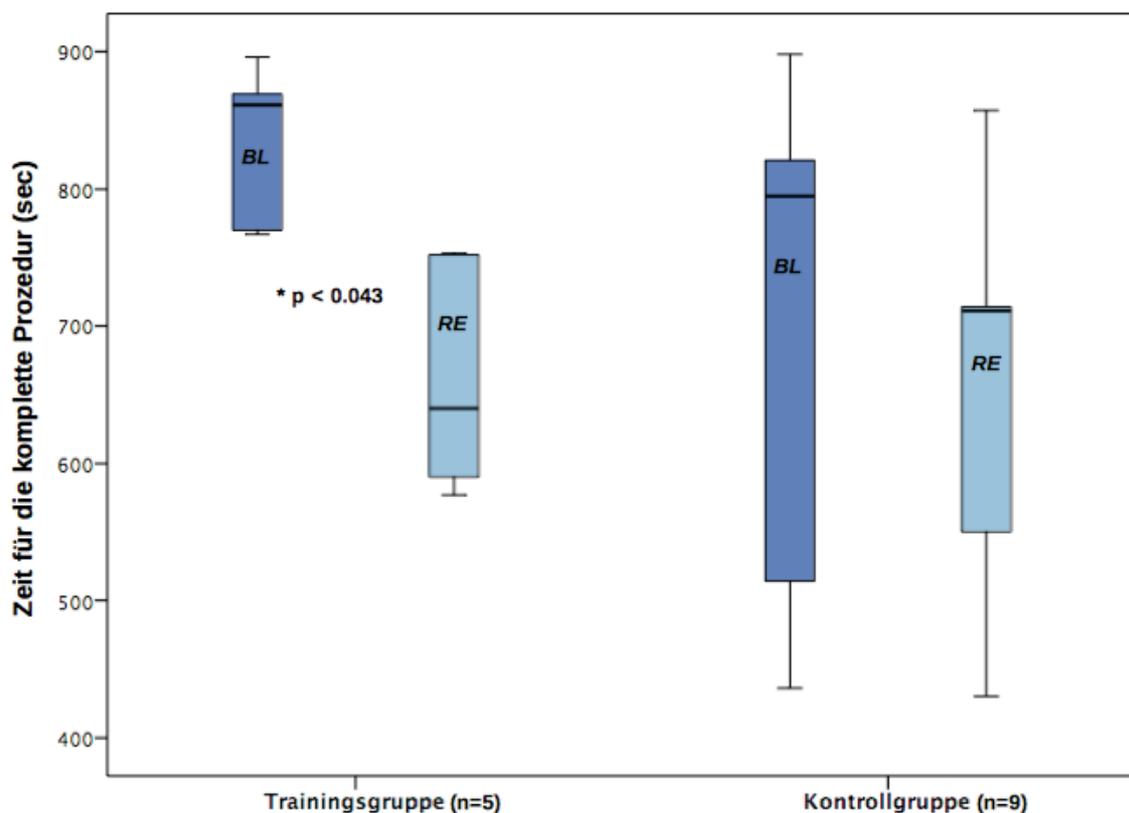


Abbildung 19: Boxplots der benötigten Zeit für eine simulierte laparoskopischen Cholezystektomie zum Zeitpunkt der Baseline (BL) sowie der Re-Evaluation (RE). Ausgewertet wurden die Probanden, die die OP in beiden Durchgängen komplett bewältigten. *p-Wert ermittelt durch Wilcoxon signed-rank Test

Parameter	Gruppe 1	Gruppe 2
Sicherheit Koagulation (%)	↑	↔
Effizienz Koagulation (%)	↔	↔
Inadäquates Koagulieren (sec)	↓*	↔*
Anzahl Bewegungen	↑	↔
Anteil Bewegung links (%)	↑	↔
Bewegungsstrecke (cm)	↔	↔
Anteil Strecke links (%)	↔	↔
Geschwindigkeit (cm/sec)	?	?
Sicherheit clippen / schneiden (mm)	↔	↔
Komplikationen (Anzahl)	↔	↔
OP komplettiert (Anzahl Probanden)	↑	↑

Tabelle 7: Zusammenfassende Übersicht der Veränderungen der erfassten Parameter in beiden Gruppen; ↑ = Verbesserung, ↓ = Verschlechterung, ↔ = keine Veränderung (Anmerkungen: *trotz Verschlechterung des Wertes in Gruppe 1 und gleichbleibender Tendenz in Gruppe 2 zeigte die Trainingsgruppe dennoch signifikant bessere Werte als Gruppe 2; ? = in beiden Gruppen signifikante Geschwindigkeitszunahme der Bewegungen, eine Wertung dieses Umstandes als Verbesserung oder Verschlechterung ist hier nicht möglich)

4. Diskussion

4.1 Lernerfolg am Boxtrainer

Das laparoskopische Operieren erfordert besondere technische und psychomotorische Fähigkeiten. Aus diesem Grund sind die laparoskopischen Lernkurven deutlich länger als für vergleichbare offene Operationen. Zur Sicherheit der Patienten wird deshalb zunehmend gefordert - und von einigen wenigen Kliniken auch praktiziert (33) - einen Teil der Lernkurve vor den OP-Saal zu verlagern, in sogenannte Skills-Labs. Gerade in der heutigen Zeit, in der viele verschiedene Trainingsmodelle zur Verfügung stehen, ist es nicht mehr notwendig (und darüber hinaus auch ethisch kaum noch vertretbar), am Patienten die ersten laparoskopischen Erfahrungen zu sammeln. Das bloße Erlernen von technischen Fertigkeiten sollte nicht mehr am Menschen, sondern in speziellen Trainingslaboren erfolgen. Diese Forderung wird dadurch noch unterstützt, daß in vielen Studien ein signifikanter Lernerfolg bei chirurgischen Novizen durch ein entsprechendes laparoskopisches Training nachgewiesen werden konnte (siehe Kapitel 1.2.3).

Auch in dieser Studie war ein deutlicher Lerneffekt bei der Probanden-Gruppe zu verzeichnen, die anhand eines strukturierten Curriculums laparoskopische Basisfertigkeiten am Boxtrainer eingeübt hatte. Jeder einzelne der insgesamt 9 Tasks wurde bei der Re-Evaluation in signifikant kürzerer Zeit durchgeführt als zuvor bei der Baseline-Messung. Diese Daten bestätigen die Ergebnisse der Studie von Bonrath et al., die ebenfalls aus unserer Arbeitsgruppe hervorging (12). Dort fand sich nach Beendigung des Kurses ebenfalls eine signifikante Verbesserung in der Performance aller 9 Tasks. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, daß die am Boxtrainer erlernten Fähigkeiten bis zu 6 Wochen nach Beendigung des Kurses noch vorhanden waren. Im Rahmen der aktuellen Arbeit durchliefen die Probanden der Gruppe 1 das gleiche Curriculum wie in der eben zitierten Studie. Durch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse von Bonrath et al. wird die Effektivität dieses laparoskopischen Basiskurses einmal mehr unter Beweis gestellt.

Während der Lernerfolg eines laparoskopischen Simulationstrainings mittlerweile unbestreitbar ist, bleibt die Übertragbarkeit der im Skills-Lab erworbenen Fähigkeiten auf eine komplexe operative Prozedur nach wie vor unklar. Mehrere Studien haben bereits versucht, eine Verbesserung der operativen Leistung im realen Operations-Saal nach vorherigem Simulationstraining nachzuweisen. Zwei systematische Reviews aus dem

Jahr 2014 (13, 15), die einen Großteil dieser Studien zusammenfassend auswerteten, fanden zwar einen positiven Effekt des laparoskopischen Simulationstrainings auf die operative Performance, konnten jedoch einen Transfer der im Skills-Lab erworbenen Fähigkeiten in den OP nicht mit letzter Konsequenz nachweisen. Dieses lag zum einen an der geringen Anzahl der jeweiligen Studienpopulation mit zum Teil weniger als 10 Probanden pro Gruppe. Zum anderen wiesen die Studien ein hohes Maß an Heterogenität auf, sowohl hinsichtlich der erfassten Parameter als auch der Art der Trainingsmodelle sowie der Evaluation der Übertragbarkeit. In den meisten Studien erfolgte das Training an einem Virtual Reality Trainer. Dabei war auch die Art des Trainings unterschiedlich: In einigen Studien wurden abstrakte Übungseinheiten durchlaufen. In anderen Studien hingegen wurden komplette operative Prozeduren oder Teilschritte derselben eintrainiert. Die Evaluation des Transfers der erworbenen Fähigkeiten erfolgte ebenso unterschiedlich: In einigen Studien wurden unter Aufsicht erfahrener Chirurgen von den Probanden Teilschritte einer Operation am Patienten durchgeführt und ausgewertet, in anderen wiederum erfolgte die Evaluation anhand einer kompletten Operation am Tiermodell. Diese Heterogenität macht eine zusammenfassende Auswertung dieser Studien im Rahmen einer Übersichtsarbeit extrem schwierig, sodass beide erwähnten Reviews zu keinem abschließenden Ergebnis bezüglich der Übertragbarkeit der im Skills-Lab erlernten Fähigkeiten kommen.

In dieser Studie wurde als Trainingsmodell für Gruppe 1 der Boxtrainer gewählt. Die Probanden trainierten anhand eines etablierten Curriculums verschiedene abstrakte Übungen ein (siehe Kap. 2.2). Mit dieser Arbeit sollte die Frage beantwortet werden, inwieweit laparoskopisch Unerfahrene auch anhand abstrakter Übungen an einem einfachen Boxtrainer Fähigkeiten erwerben können, die im Rahmen einer kompletten operativen Prozedur anwendbar sind. Zur Evaluation der Übertragbarkeit führten die Probanden dabei jeweils zwei simulierte laparoskopische Cholezystektomien am Virtual Reality Trainer durch. Wünschenswert wäre es sicher gewesen, die erlernten Fähigkeiten im Rahmen eines realen operativen Settings zu untersuchen. Jedoch wäre die Evaluation einer Operation am Patienten durch laparoskopische Neulinge nicht vertretbar. Zudem bietet der VR-Trainer den großen Vorteil, dass viele verschiedene Performance- und Sicherheitsparameter objektiv erfasst und gespeichert werden.

Die Bewertung der erfassten Daten hingegen ist schwierig. Der LAP Mentor™ liefert eine große Anzahl von verschiedenen Parametern, deren Aussagekraft in Bezug auf die Performance zum Teil unklar ist. Während der LapSim (Surgical Science, Gothenburg, Schweden) mittlerweile der am meisten untersuchte VR-Trainer ist (47), gibt es zum LAP Mentor™ bisher kaum Studien zur Konstruktvalidität. Lediglich die verschiedenen *quantitativen* Parameter wie Bewegungsanzahl, Bewegungstrecke und Zeit sind in ihrer Bedeutung für die laparoskopische Performance bekannt. Hinsichtlich der *qualitativen* Parameter findet man in der aktuellen Literatur jedoch kaum Daten. In den wenigen Studien, in denen diese Parameter ausgewertet wurden, finden sich größtenteils widersprüchliche Ergebnisse.

4.2 Übertragbarkeit der Fähigkeiten – qualitative Parameter

Auch im Rahmen dieser Arbeit sind einige Parameter schwer zu interpretieren. So zeigte sich hinsichtlich des Parameters „Inadäquates Koagulieren“ schon bei der Baseline-Messung ein signifikant besserer Wert in Gruppe 1. Obwohl sich dieser Parameter im zweiten Durchgang deutlich verschlechterte, bestand auch bei der Re-Evaluation nach wie vor ein signifikant besseres Ergebnis gegenüber der Kontrollgruppe. „Inadäquates Koagulieren“ beschreibt die Zeit, in der ohne Kontakt zu Adhäsionen koaguliert wird. Der elektrische Strom wird dabei durch einen Fußschalter geregelt. Im optimalen Fall wird nach Durchtrennen einer Verwachsung der Fuß vom Schalter genommen und erst wieder betätigt, wenn das Instrument Kontakt mit der nächsten Adhäsion bekommt. Bleibt der Fuß jedoch auf dem Schalter zwischen dem Durchtrennen zweier Verwachsungen, so werden die Sekunden dazwischen als „Inadäquates Koagulieren“ gewertet. Dieses Zusammenspiel zwischen Fuß und Händen wurde jedoch von Gruppe 1 naturgemäß nicht am Boxtrainer trainiert, sodass die ausbleibende Verbesserung dieses Parameters im zweiten Durchlauf nicht überrascht. Zudem stellt sich die Frage, inwieweit „Inadäquates Koagulieren“ überhaupt Rückschlüsse auf die Performance zulässt. Wenn ein Operateur nach einer Verwachsungslösung die als nächstes zu durchtrennende Adhäsion schon im Blick hat und dabei den Fuß direkt auf dem Schalter belässt, so kann daraus – trotz länger gemessener Zeit des „inadäquaten“ Koagulierens – nicht zwingend eine schlechtere Performance abgeleitet

werden. Nichtsdestotrotz sollte die Auslösung des Koagulationsstromes ohne gezielten Kontakt zum Gewebe unterlassen werden, um mögliche Risiken der unbemerkten Verletzung benachbarter Strukturen zu vermeiden. Davon jedoch abgesehen zeigte sich in der Trainingsgruppe immerhin eine signifikant bessere Performance als in der Kontrollgruppe.

Hinsichtlich der „Sicherheit beim Koagulieren“ zeigte die Trainingsgruppe bei der zweiten Cholezystektomie eine deutliche Verbesserung gegenüber der Baseline-Messung. Auch im Vergleich mit der Kontrollgruppe war diesbezüglich eine signifikant bessere Performance zu beobachten. Dieser Parameter ist im Gegensatz zum „Inadäquaten Koagulieren“ unabhängig von der Dauer des applizierten Stromes und von der Dauer der Betätigung des Fußschalters. Er beschreibt den prozentualen Anteil der Koagulation, in dem ein ausreichender Abstand zu vitalen Strukturen der Leberpforte gehalten wird. Die signifikante Verbesserung dieses Parameters in der Trainingsgruppe (sowohl im Verlauf als auch gegenüber der Kontrollgruppe) überrascht ein wenig, da eine Prozedur dieser Art vorher nicht am Boxtrainer geübt wurde. Bei keinem der 9 Tasks war das Agieren mit einem erforderlichen Sicherheitsabstand zu definierten Strukturen ein Bestandteil der Übung. Erklärbar wäre der Unterschied möglicherweise dadurch, dass Gruppe 1 anhand verschiedener Tasks zur Zielgenauigkeit - z.B. Task 4 (zielgenaues Platzieren der Würfel), Task 5 (Ausschneiden eines Kreises), 6 (zielgenaues Platzieren der Röderschlinge) - gelernt hat, den Aktionsradius auf das wesentliche Zielgebiet zu beschränken und nicht unkontrolliert auf andere Regionen auszuweiten. Hinsichtlich der Dissektion der Gallenblase bedeutet dies, dass die trainierten Probanden sich auf das Durchtrennen der Verwachsungen im Zielgebiet des Leberbettes konzentrierten und ihren Aktionsradius nicht darüber hinaus in Richtung vitaler Leberstrukturen ausweiteten. Dies wäre eine mögliche Erklärung dafür, dass bei Gruppe 1 eine höhere Sicherheit des Koagulierens gemessen wurde als bei der Kontrollgruppe. In der aktuellen Literatur findet man nur wenige Daten in Bezug auf diesen Parameter mit widersprüchlichen Ergebnissen. Die Autoren einer Studie zur Konstruktvalidität des LAP Mentor™ (52) fanden keinen Unterschied bei der Sicherheit des Koagulierens zwischen den drei Gruppen Experten, Assistenten und laparoskopischen Neulingen. Zum Teil wurden die Experten dabei sogar von den Novizen übertroffen. Eine andere Validitäts-Studie hingegen, in der anhand eines Gastric-Bypass-Modules die Unterscheidungsfähigkeit des VR-Trainers zwischen bariatrischen Chirurgen und Allgemeinchirurgen untersucht

wurde, fand bei der Expertengruppe (bariatrische Chirurgen) eine signifikant höhere Sicherheit des Koagulierens als bei der Kontrollgruppe (19). In einer weiteren Studie zur Konstrukt-validität des LAP Mentor™ bezüglich der Differenzierung zwischen spezialisierten kolorektalen Chirurgen und Allgemeinchirurgen zeigte sich die Expertengruppe (kolorektale Chirurgen) ebenfalls der Kontrollgruppe beim sicheren Koagulieren überlegen, allerdings ohne statistische Signifikanz (46). Weitere Studien, die den Parameter „sicheres Koagulieren“ hinsichtlich der Validität zwischen verschiedenen Gruppen auswerteten, fanden sich nicht. Lediglich eine Studie befasste sich noch mit der Frage, inwieweit dieser am VR-Trainer gemessene Wert prädiktiv für die Performance des Koagulierens in einem realen operativen Umfeld (laparoskopische Kolektomie am Schwein) ist (5). Neben einem weiteren Parameter war das „sichere Koagulieren“ am VR-Trainer die am stärksten mit der intraoperativen Performance korrelierende Fähigkeit.

Auch wenn die Validität dieses Parameters derzeit nicht abschließend geklärt ist, so zeigt diese Arbeit immerhin eine signifikante Verbesserung bei der Sicherheit des Koagulierens in der Trainingsgruppe, während die Kontrollgruppe diesbezüglich deutlich schlechter abschnitt. Wie bereits erwähnt, hatte Gruppe 1 zuvor mehrere Aufgaben zur Zielgenauigkeit am Boxtrainer einstudiert. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Probanden der Gruppe 1 in der Lage waren, diese am Boxtrainer erlernte Fähigkeit auch auf eine komplexere, vorher nicht explizit trainierte operative Prozedur, wie die sichere Dissektion der Gallenblase mittels elektrischem Strom, anzuwenden.

Als weitere qualitative Parameter für die operative Leistung bei der laparoskopischen Cholezystektomie am VR-Trainer wurden die Sicherheit beim Clippen und Schneiden sowie die Anzahl der Komplikationen ausgewertet. Bezüglich der Sicherheit beim Clippen und Schneiden zeigte sich in beiden Gruppen weder im Verlauf noch im Vergleich untereinander ein signifikanter Unterschied. Auch bei der Anzahl der Komplikationen ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede, weder im Vorher-Nachher-Vergleich noch zwischen beiden Gruppen. Es wundert, dass Gruppe 1 im Vergleich zur Kontrollgruppe keine bessere Leistung beim sicheren Clippen und Schneiden ablieferte. Schließlich wurde gerade dieser Task (Task 9) explizit am Boxtrainer geübt und dabei ein deutlicher Lerneffekt erzielt. Einschränkend muss dazu

allerdings gesagt werden, dass der am Boxtrainer gemessene Lernerfolg lediglich anhand des Parameters „Zeit“ ausgewertet wurde. Die vom VR-Trainer erfassten Werte beziehen sich hingegen auf einen ausreichend großen Sicherheitsabstand beim Clippen und Schneiden, was bei der Performance am Boxtrainer nicht untersucht wurde. Diese vom LAP Mentor™ erhobenen Werte wurden in der bisherigen Literatur bezüglich ihrer Aussagekraft kaum untersucht und sind hinsichtlich ihrer Validität unklar. Lediglich in der bereits erwähnten Studie zur Konstruktvalidität des LAP Mentor™ wurden die Parameter „Sicherheit beim Clippen und Schneiden“ ebenfalls ausgewertet (52). Die Autoren dieser Studie fanden diesbezüglich keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (Experten, Assistenten und Novizen). Dasselbe galt auch im Hinblick auf die Anzahl der Komplikationen. Zum Teil zeigten die unerfahrenen Probanden sogar eine bessere Leistung als die Expertengruppe. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass der LAP Mentor™ aktuell noch nicht in der Lage ist, eine valide Aussage zur Performance hinsichtlich dieser Parameter zu liefern. Dies könnte auch der Grund sein, weshalb im Rahmen dieser Arbeit kein Unterschied zwischen den trainierten Probanden und der Kontrollgruppe zu evaluieren war.

Bezüglich der Anzahl der Komplikationen war der fehlende Unterschied zwischen den beiden Gruppen hingegen nicht unerwartet. Für alle Probanden waren dies die ersten beiden (wenn auch simulierten) operativen Prozeduren, die sie jemals durchgeführt haben. Eine völlig komplikationslose laparoskopische Cholezystektomie war von beiden Gruppen nicht zu erwarten, weder im ersten noch im zweiten Durchgang. Auch eine signifikante Verbesserung direkt bei der zweiten Cholezystektomie wäre unrealistisch gewesen.

4.3 Übertragbarkeit der Fähigkeiten – quantitative Parameter

Die Kontrollgruppe zeigte bereits bei der Baseline-Cholezystektomie am VR-Trainer eine deutlich höhere Geschwindigkeit der Instrumentenbewegung als die Trainingsgruppe. Beide Gruppen legten zudem im Rahmen der zweiten Cholezystektomie noch einmal an Geschwindigkeit der Instrumentenbewegung zu. Eine Interpretation dieses Parameters fällt schwer, da schnelle Bewegungen sowohl als zielstrebiges und sicheres Arbeiten aber auch als überhastetes und hektisches Agieren gewertet werden können. Umgekehrt können auch langsame Bewegungen entweder als bedächtiges und

genaues Arbeiten oder als Unsicherheit interpretiert werden. Dieses Problem hatten auch die Autoren der zuvor bereits mehrfach erwähnten Studie zur Konstruktvalidität des LAP Mentor™ (52): Die Ergebnisse für den Parameter „Instrumentengeschwindigkeit“ waren zwischen den dort teilnehmenden drei Gruppen (Experten, Assistenten, Anfänger) uneinheitlich. Bei jeder der verschiedenen Prozeduren wies eine andere Gruppe die höhere Bewegungsgeschwindigkeit auf. Die Schlussfolgerung der Autoren, dass der Parameter „Geschwindigkeit der Instrumentenbewegung“ zur Beurteilung der operativen Performance ungeeignet ist, kann ebenfalls anhand der Ergebnisse dieser Arbeit nachvollzogen werden.

In Bezug auf die Bewegungsökonomie zeigte Gruppe 1 aber bei der zweiten Cholezystektomie eine deutliche Verbesserung. Obwohl die Anzahl der Bewegungen signifikant geringer war als bei der Baseline-Evaluation, schafften im zweiten Durchgang fast alle Probanden die operative Prozedur in der vorgegebenen Zeit. Daraus lässt sich ableiten, dass weniger unnötige Bewegungen durchgeführt wurden und die Probanden der Trainingsgruppe die Bewegungen effizienter und zielführender gestalteten. In der aktuellen Literatur herrscht Einigkeit darüber, dass mit Zunahme der laparoskopischen Expertise die für eine Prozedur benötigte Bewegungsanzahl abnimmt. In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass in den jeweiligen Expertengruppen signifikant weniger Bewegungen bei der Ausübung einer definierten Prozedur ausgeführt wurden als in den weniger erfahrenen Probandengruppen (1, 3, 46, 48, 52). Im Rahmen dieser Arbeit zeigte sich bei den trainierten Probanden vor allem eine deutliche Abnahme der Bewegungsanzahl des rechten Instrumentes bei tendenzieller Zunahme der Bewegung linksseitig. Prozentual stieg im Verhältnis zur Gesamtzahl der Bewegungen die Beweglichkeit der linken, nicht dominanten Hand, signifikant an. Diese Entwicklung fand sich nicht bei der Kontrollgruppe. Die Probanden der Trainingsgruppe zeigten demnach im Verlauf eine verbesserte bimanuelle Zusammenarbeit und konnten dadurch bei gleichzeitiger Abnahme der Gesamtbewegungen die Operation deutlich erfolgreicher zum Abschluss bringen. Eine optimale bimanuelle Koordination ist Voraussetzung für eine gute laparoskopische Performance. Gupta et al. zeigten am Beispiel der laparoskopischen radikalen Prostatektomie, dass neben fehlenden Kenntnissen der einzelnen operativen Schritte die ausbleibende bimanuelle Synchronisation der häufigste Grund für eine schlechte operative Leistung junger Assistenten war (20). Umgekehrt zeigte eine weitere Studie, dass sich laparoskopisch fortgeschrittene

Operateure von weniger erfahrenen durch eine bessere Kontrolle der nicht-dominanten Hand sowie durch eine koordinierte Zusammenarbeit zwischen beiden Instrumenten unterscheiden (24). Vor diesem Hintergrund ist sowohl das Training der dominanten als auch der nicht-dominanten Hand zu gleichen Teilen wichtig. Es konnte gezeigt werden, dass durch ein Training der nicht-dominanten Hand nicht nur die Performance der betreffenden Extremität verbessert wird, sondern ebenfalls die Fähigkeiten der kontralateralen dominanten Hand – ein Effekt, der allgemein als *intermanueller Transfer* bekannt ist (39). Auch im Rahmen dieser Studie absolvierten die Probanden der Trainingsgruppe am Boxtrainer mehrere Tasks, die ein enges bimanuelles Zusammenspiel sowie den vermehrten Einsatz der linken, nicht-dominanten Hand erforderten (siehe Kap. 2.2). Diese eintrainierte Fähigkeit kam den Probanden ebenfalls bei der Performance der laparoskopischen Cholezystektomie zugute. Somit lässt sich feststellen, dass die am Boxtrainer erlernte Fähigkeit der bimanuellen Zusammenarbeit auch auf eine komplette operative Prozedur übertragbar war.

Hinsichtlich der vom VR-Trainer erfassten Bewegungsstrecke gilt dasselbe wie für die Anzahl der Bewegungen: Mit Zunahme der laparoskopischen Expertise nimmt die Länge der von den Instrumenten zurückgelegten Bewegungsstrecke ab. Dieser Effekt konnte in mehreren bisherigen Studien nachgewiesen werden (2, 27, 31, 52, 57). In dieser Arbeit hingegen zeigte die Trainingsgruppe eher eine Zunahme der gesamten Bewegungsstrecke, welche allerdings nicht signifikant war. Dies war zum größten Teil jedoch auf eine Zunahme der Strecke des linksseitigen Instrumentes zurückzuführen. Der prozentuale Anteil der linksseitigen Bewegungsstrecke stieg von ca. 23% auf 29% an. Auch wenn dieser Unterschied keine statistische Signifikanz erreichte, so zeigt sich bei diesem Parameter ebenfalls der Trend zu einem vermehrten Einsatz der linken, nicht-dominanten Hand. Somit kann auch anhand dieses Parameters ein verbessertes bimanuelles Zusammenspiel bei der Durchführung der zweiten laparoskopischen Cholezystektomie nach Absolvieren eines strukturierten Trainings am Boxtrainer abgeleitet werden.

4.4 Komplettierung der Prozedur und zeitliche Verbesserung

Für die Durchführung der laparoskopischen Cholezystektomie standen den Probanden maximal 900 Sekunden (15 Minuten) zur Verfügung mit Abbruch der Prozedur bei Überschreiten der Zeit. Dadurch bestand die Einschränkung, dass eine Veränderung der zeitlichen Performance bei den meisten Probanden nicht auswertbar war. Eine Aussage zur zeitlichen Verbesserung war somit nur bei den Teilnehmern möglich, die beide Cholezystektomien in der vorgegebenen Zeit bewältigten. Die Auswertung erfolgte deshalb primär hinsichtlich der Fähigkeit, die operative Prozedur in der vorgegebenen Zeit zu bewältigen. In beiden Gruppen kam es beim zweiten Durchgang zu einer signifikanten Zunahme der Anzahl der Probanden, die in der Lage waren, die laparoskopische Cholezystektomie komplett durchzuführen. Ein Grund für diese Verbesserung ist sicher der Lerneffekt am Virtual Reality Trainer selbst, also ein Erlernen des Modells. Bei der zweiten Durchführung waren die Teilnehmer bereits vertrauter mit den einzelnen operativen Schritten sowie im Umgang mit dem Gerät. Das zeigt sich vor allem daran, dass ebenfalls mehr Probanden der Kontrollgruppe die Cholezystektomie beim zweiten Mal bewältigten. Dennoch lässt sich auch zwischen beiden Gruppen ein Unterschied zugunsten der trainierten Probanden feststellen. Hier stieg die Anzahl der komplettierten Cholezystektomien noch deutlicher an als in der Kontrollgruppe. In der Trainingsgruppe gab es lediglich einen Teilnehmer, der auch beim zweiten Durchgang die Prozedur nicht vollständig schaffte. In der Kontrollgruppe hingegen waren es immerhin noch sechs Probanden. Wie bereits im vorherigen Kapitel schon erwähnt, kam es trotz deutlichem Rückgang der Gesamtbewegungen bei den trainierten Probanden zu dieser signifikanten Verbesserung. Die gesteigerte Effizienz der Bewegungen führte demnach dazu, dass nahezu alle Teilnehmer dieser Gruppe die laparoskopische Cholezystektomie beim zweiten Durchgang komplett zu Ende führen konnten.

Hinsichtlich einer zeitlichen Verbesserung kann aufgrund der Limitation von 900 Sekunden nur eine eingeschränkte Aussage getroffen werden. Alle Probanden, die erst beim zweiten Mal die Cholezystektomie komplettierten, zeigten damit zwar eindeutig eine zeitliche Verbesserung. Allerdings kann diese aufgrund des Cutt Off's nicht in Sekunden ausgedrückt werden. Bei den Probanden, die beide Male die Prozedur nicht

vollständig zu Ende führten, kann keine Aussage zu einer zeitlichen Veränderung gemacht werden. Lediglich bei den Teilnehmern, die beide Male die komplette Operation durchführten, ist eine Angabe zur tatsächlichen zeitlichen Verbesserung möglich.

In der trainierten Gruppe gab es somit mindestens 22 von 23 Probanden, die bei der zweiten Cholezystektomie eine Verbesserung der zeitlichen Performance aufwiesen: Die 17 Probanden, die erst beim zweiten Mal die komplette Prozedur vollständig bewältigten, fielen dadurch unter die 900-Sekunden-Grenze. Die anderen 5 Probanden, die beide Operationen komplettierten, waren allesamt schneller im zweiten Durchgang. Bei der Kontrollgruppe konnte lediglich bei 15 von 24 Probanden eine Verbesserung festgestellt werden: 9 Teilnehmer fielen bei zweitem Mal unter die 900 Sekunden und schafften somit die Prozedur. 6 von den 9 Probanden, die beide Cholezystektomien schafften, waren beim zweiten Mal schneller. Somit fand sich auch bezüglich einer Verbesserung der zeitlichen Performance ein Unterschied zugunsten der Trainingsgruppe. Besonders deutlich wurde dieser Unterschied beim Vergleich der Teilnehmer, die beide Prozeduren komplettierten. Hier fand sich eine signifikante Verkürzung der Zeit bei den trainierten Probanden, während die Kontrollgruppe keine zeitliche Verbesserung aufwies. Einige Teilnehmer der Kontrollgruppe waren beim zweiten Durchgang sogar langsamer als bei der Baseline-Messung.

Die für einen Task benötigte Zeit ist ein häufig gemessener Parameter im Rahmen von „laparoscopic skills“-Studien. Auch wenn bekannt ist, dass mit steigender laparoskopischer Erfahrung die für eine Prozedur benötigte Zeit abnimmt, muss dieser Parameter kritisch hinsichtlich seiner Bewertung für die operative Leistung betrachtet werden. Denn eine verkürzte OP-Zeit korreliert nicht zwangsläufig mit einer besseren Qualität der operativen Leistung (14, 32). In Zusammenschau mit den weiteren quantitativen und qualitativen Parametern, bei denen die Probanden der Trainingsgruppe ebenfalls eine deutliche Verbesserung zeigten, kann jedoch auch die zeitliche Verbesserung als ein deutlicher Erfolg gewertet werden. Die trainierten Studenten brauchten weniger Bewegungen, um die komplette Cholezystektomie erfolgreich durchzuführen. Gleichzeitig stiegen der Einsatz der linken, nicht-dominanten Hand sowie die Sicherheit bei der Dissektion der Gallenblase vom Leberbett. Vor diesem Hintergrund spricht auch die zeitliche Verbesserung für eine optimierte Performance im Rahmen der laparoskopischen Cholezystektomie.

4.5 Zusammenfassende Diskussion dieser Arbeit

Mit dieser Studie sollte untersucht werden, inwieweit die anhand abstrakter Übungen am Boxtrainer erlernten Fähigkeiten von chirurgischen Novizen auf eine komplette operative Prozedur angewendet werden können. Um die Übertragbarkeit der Fähigkeiten zu evaluieren wurde als operative Prozedur die am VR-Trainer simulierte laparoskopische Cholezystektomie gewählt. Zusammenfassend zeigten sich dabei folgende Ergebnisse:

- Die abstrakten Übungen am Boxtrainer führten zu einem deutlichen Lerneffekt bei den laparoskopisch unerfahrenen Probanden. Die Ergebnisse einer früheren Publikation unserer Arbeitsgruppe (12) waren somit reproduzierbar.
- Die Probanden der Trainingsgruppe zeigten im Vergleich zur Kontrollgruppe eine größere Sicherheit bei der Dissektion der Gallenblase mittels elektrischem Strom.
- Des Weiteren fand sich bei der Trainingsgruppe im Verlauf eine deutliche Verbesserung der Bewegungsökonomie im Sinne eines effizienteren Einsatzes der Instrumente sowie einer verbesserten bimanuellen Zusammenarbeit.
- Bei der zweiten Cholezystektomie waren im Vergleich zwischen den Gruppen signifikant mehr Probanden der Trainingsgruppe in der Lage, die Operation innerhalb der vorgegebenen Zeit komplett durchzuführen.
- Bei den Teilnehmern der Trainingsgruppe, die jeweils beide Cholezystektomien erfolgreich komplettierten, zeigte sich im zweiten Durchgang eine deutliche zeitliche Verbesserung bei jedem einzelnen Probanden. Dies war in der Kontrollgruppe nicht zu beobachten.

Anhand dieser Studie konnte somit gezeigt werden, dass laparoskopische Novizen auch im Rahmen der Performance einer komplexeren operativen Prozedur, wie der laparoskopischen Cholezystektomie, von ihren am Boxtrainer erlernten Fähigkeiten profitierten. Dieser Nachweis ist bisher in kaum einer Studie erbracht worden. Wie schon erwähnt, befassen sich die meisten vorhandenen Studien mit der Übertragbarkeit von am Virtual Reality Trainer erworbenen Fähigkeiten. Lediglich Scott et al. zeigten

ebenfalls, dass am Boxtrainer trainierte Assistenten eine bessere Performance im Rahmen einer realen laparoskopischen Cholezystektomie ablieferten als ihre nicht trainierten Kollegen (45). Allerdings hat die Studie von Scott et al. gewisse Limitationen: Zum einen war die Studienpopulation mit nur 9 Probanden in der trainierten Gruppe sehr klein, während in der vorliegenden Studie mehr als doppelt so viele Probanden untersucht wurden. Zum anderen wurde die Studie nicht an komplett unerfahrenen Probanden durchgeführt, sondern begleitend zur klinischen Ausbildung von chirurgischen Assistenten im zweiten und dritten Jahr. Dadurch unterlagen die Ergebnisse möglicherweise auch dem Einfluss von zusätzlichen klinischen laparoskopischen Aktivitäten. Hinzu kam auch der Einfluss des hauptverantwortlichen Chirurgen, unter dessen Aufsicht die Probanden ihre zu evaluierende laparoskopische Cholezystektomie durchführten.

Die gerade genannten Limitationen bestanden bei dieser Arbeit nicht. Die Probandenanzahl war mit insgesamt 47 Teilnehmern wesentlich höher. Auch war eine weitere laparoskopische Aktivität, die gegebenenfalls zu einer Verfälschung der Ergebnisse geführt hätte, ausgeschlossen, da es sich bei den Probanden nicht um Assistenzärzte, sondern um Medizinstudenten handelte, die keinerlei weitere laparoskopische Aktivitäten mit potentiell Trainingseffekt durchführen konnten. Die Evaluation erfolgte objektiv durch automatische Erhebung der jeweiligen Leistungsparameter am Virtual Reality Trainer. Natürlich hat auch diese Arbeit ihre Einschränkungen. Eine Schwachstelle dabei ist sicher die fehlende Randomisierung. Auch wenn die Probanden (sowohl für den laparoskopischen Basiskurs als auch in der Kontrollgruppe) zufällig ausgewählt wurden, so entspricht diese Arbeit nicht den Kriterien einer prospektiv randomisierten kontrollierten Studie. Weiterhin kam erschwerend hinzu, dass die Validität etlicher der am LAP MentorTM erhobenen Parameter bisher nicht ausreichend untersucht worden ist und diese somit in ihrer Bedeutung für die Beurteilung der Gesamtleistung unklar bleiben. Die wenigen Studien zur Konstruktvalidität des LAP MentorTM zeigten, dass insbesondere die *qualitativen* Parameter derzeit nicht in der Lage sind, zwischen laparoskopischen Experten und Anfängern zu unterscheiden (4, 52). Diesem Umstand musste auch bei der Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit Rechnung getragen werden. Dennoch: Trotz dieser Einschränkung war die Kontrollgruppe bei keinem der einzelnen Parameter der Trainingsgruppe überlegen. Im Gegenteil: Bei einigen Parametern zeigten die trainierten Probanden die besseren

Ergebnisse. Darüber hinaus fand sich kein einziger vom LAP Mentor™ erhobener Parameter, bei dem sich die Kontrollgruppe im Verlauf signifikant verbesserte, während die trainierten Probanden in einzelnen Bereichen eine deutliche Verbesserung der Performance aufwiesen.

Zusammenfassend wird aus dieser Arbeit ersichtlich, dass ein strukturiertes Training anhand abstrakter Übungen am Boxtrainer zum Erwerb von laparoskopischen Basisfähigkeiten führt, die auch im Rahmen einer komplexeren operativen Prozedur, wie der (simulierten) laparoskopischen Cholezystektomie, anwendbar sind. Die technischen und psychomotorischen Fähigkeiten, die für eine laparoskopische Operation erforderlich sind, sollten deshalb nicht unter erhöhtem Risiko am realen Patienten eintrainiert werden, sondern können bereits anhand einfacher abstrakter Übungen am Boxtrainer in der sicheren Lernumgebung des Übungslabors (Skills Lab) erlernt werden. Ein solches Trainingsprogramm ist relativ kostengünstig, schnell umsetzbar und kann ohne größeren Aufwand klinikbegleitend durchgeführt werden. Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit kann die Forderung nur unterstützt werden, dass ein derartiges Training für chirurgische Anfänger mit dem Ziel der optimierten Patientensicherheit und zur verbesserten chirurgischen Ausbildung zur Bedingung vor der ersten realen laparoskopischen Operation am Patienten gemacht wird.

5. Literaturverzeichnis

1. Aggarwal R, Crochet P, Dias A, Misra A, Ziprin P, Darzi A (2009) Development of a virtual reality training curriculum for laparoscopic cholecystectomy. *The British Journal of Surgery* 96: 1086–93
2. Aggarwal R, Grantcharov TP, Eriksen JR, Blirup D, Kristiansen VB, et al. (2006) An evidence-based virtual reality training program for novice laparoscopic surgeons. *Annals of Surgery* 244: 310–14
3. Aggarwal R, Ward J, Balasundaram I, Sains P, Athanasiou T, Darzi A (2007) Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery. *Annals of Surgery* 246: 771–79
4. Andreatta PB, Woodrum DT, Gauger PG, Minter RM (2008) Lapmentor metrics possess limited construct validity. *Simulation in healthcare : Journal of the Society for Simulation in Healthcare* 3: 16–25
5. Araujo SEA, Seid VE, Bertocini AB, Horcel LA, Nahas SC, Cecconello I (2014) Single-session baseline virtual reality simulator scores predict technical performance for laparoscopic colectomy: a study in the swine model. *Journal of surgical Education* 71: 883–91
6. Arezzo A, Passera R, Salvai A, Arolfo S, Allaix ME, et al. (2014) Laparoscopy for rectal cancer is oncologically adequate: a systematic review and meta-analysis of the literature. *Surgical Endoscopy* 29(2):334-48
7. Attwood SE, Hill AD, Mealy K, Stephens RB (1992) A prospective comparison of laparoscopic versus open cholecystectomy. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 74: 397–400
8. Berguer R, Chen J, Smith WD (2003) A comparison of the physical effort required for laparoscopic and open surgical techniques. *Archives of Surgery* 138: 967–70
9. Berguer R, Forkey DL, Smith WD (1999) Ergonomic problems associated with laparoscopic surgery. *Surgical Endoscopy* 13: 466–68
10. Bhangu A, Bhangu S, Stevenson J, Bowley DM (2013) Lessons for surgeons in the final moments of air france flight 447. *World Journal of Surgery* 37: 1185–92
11. Bonrath EM, Buckl L, Brüwer M, Senninger N, Rijcken E (2012) Education in laparoscopic surgery: national survey on current strategies and relevance of simulation training. *Zentralblatt für Chirurgie* 137: 160–64

12. Bonrath EM, Weber BK, Fritz M, Mees ST, Wolters HH, Senninger N, Rijcken E (2012) Laparoscopic simulation training: testing for skill acquisition and retention. *Surgery* 152: 12–20
13. Buckley CE, Kavanagh DO, Traynor O, Neary PC (2014) Is the skillset obtained in surgical simulation transferable to the operating theatre? *American Journal of Surgery* 207: 146–57
14. Chen W, Sailhamer E, Berger DL, Rattner DW (2007) Operative time is a poor surrogate for the learning curve in laparoscopic colorectal surgery. *Surgical Endoscopy* 21: 238–43
15. Dawe SR, Windsor J, Broeders J, Cregan PC, Hewett PJ, Maddern GJ (2014) A systematic review of surgical skills transfer after simulation-based training: laparoscopic cholecystectomy and endoscopy. *Annals of Surgery* 259: 236–48
16. Debes AJ, Aggarwal R, Balasundaram I, Jacobsen MB (2010) A tale of two trainers: virtual reality versus a video trainer for acquisition of basic laparoscopic skills. *American Journal of Surgery* 199: 840–45
17. Diesen DL, Erhunmwunsee L, Bennett KM, Ben-David K, Yurcisin B, et al. (2011) Effectiveness of laparoscopic computer simulator versus usage of box trainer for endoscopic surgery training of novices. *Journal of Surgical Education* 68: 282–89
18. Gallagher AG, McClure N, McGuigan J, Ritchie K, Sheehy NP (1998) An ergonomic analysis of the fulcrum effect in the acquisition of endoscopic skills. *Endoscopy* 30: 617–20
19. Giannotti D, Patrizi G, Casella G, Di Rocco G, Marchetti M, et al. (2014) Can virtual reality simulators be a certification tool for bariatric surgeons? *Surgical Endoscopy* 28: 242–48
20. Gupta R, Cathelineau X, Rozet F, Vallancien G (2004) Feedback from operative performance to improve training program of laparoscopic radical prostatectomy. *Journal of Endourology / Endourological Society* 18: 836–39
21. Gurusamy K, Aggarwal R, Palanivelu L, Davidson B (2008) Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. *British Journal of Surgery* 95: 1088–97
22. Gurusamy KS, Nagendran M, Toon CD, Davidson BR (2014) Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with limited prior laparoscopic experience. *The Cochrane database of systematic reviews* 3: CD010478

23. Hatzinger M, Kwon ST, Langbein S, Kamp S, Häcker A, Alken P (2006) Hans christian jacobaeus: inventor of human laparoscopy and thoracoscopy. *Journal of Endourology / Endourological Society* 20: 848–50
24. Hofstad EF, Våpenstad C, Chmarra MK, Langø T, Kuhry E, Mårvik R (2013) A study of psychomotor skills in minimally invasive surgery: what differentiates expert and nonexpert performance. *Surgical Endoscopy* 27: 854–63
25. Kaltoft B, Gögenur I, Rosenberg J (2011) Reduced length of stay and convalescence in laparoscopic vs open sigmoid resection with traditional care: a double blinded randomized clinical trial. *Colorectal disease : The official Journal of the Association of Coloproctology of Great Britain and Ireland* 13: 123–30
26. Kamiyama T, Tahara M, Nakanishi K, Yokoo H, Kamachi H, et al. (2014) Long-term outcome of laparoscopic hepatectomy in patients with hepatocellular carcinoma. *Hepatogastroenterology* 61: 405–9
27. Lahanas V, Loukas C, Smailis N, Georgiou E (2014) A novel augmented reality simulator for skills assessment in minimal invasive surgery. *Surgical Endoscopy* [Epub ahead of print]
28. Lehmann KS, Gröne J (2013) Simulation in der Chirurgie. In *Simulation in der Medizin*, ed M St.Pierre, G Breuer, pp. 263–77. Springer Verlag, Berlin Heidelberg
29. Li J, Ji Z, Li Y (2014) Comparison of laparoscopic versus open procedure in the treatment of recurrent inguinal hernia: a meta-analysis of the results. *American Journal of Surgery* 207: 602–12
30. Li X, Zhang J, Sang L, Zhang W, Chu Z, et al. (2010) Laparoscopic versus conventional appendectomy--a meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Gastroenterology* 10: 129-134
31. Loukas C, Lahanas V, Kanakis M, Georgiou E (2014) The effect of mixed-task basic training in the acquisition of advanced laparoscopic skills. *Surgical innovation* [Epub ahead of print]
32. Lukovich P, Zsirka A, Harsanyi L Changes in the operating time of laparoscopic cholecystectomy of the surgeons and novices between 1994-2012. (2014) *Chirurgia (Bucharest, Romania : 1990)* 109: 639–43
33. Maschuw K, Hassan I, Bartsch DK (2010) Surgical training using simulator. Virtual reality. *Der Chirurg* 81: 19–24
34. Miskovic D, Ni M, Wyles SM, Tekkis P, Hanna GB (2012) Learning curve and case selection in laparoscopic colorectal surgery: systematic review and international multicenter analysis of 4852 cases. *Diseases of the Colon and Rectum* 55: 1300–1310

35. Mitha AP, Almekhlafi MA, Janjua MJJ, Albuquerque FC, McDougall CG (2013) Simulation and augmented reality in endovascular neurosurgery: lessons from aviation. *Neurosurgery* 72 Suppl 1: 107–14
36. Mulla M, Sharma D, Moghul M, Kailani O, Dockery J, et al. (2012) Learning basic laparoscopic skills: a randomized controlled study comparing box trainer, virtual reality simulator, and mental training. *Journal of Surgical Education* 69: 190–95
37. Munz Y, Kumar BD, Moorthy K, Bann S, Darzi a (2004) Laparoscopic virtual reality and box trainers: is one superior to the other? *Surgical Endoscopy* 18: 485–94
38. Nagendran M, Toon CD, Davidson BR, Gurusamy KS (2014) Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with no prior laparoscopic experience. *The Cochrane Database of systematic Reviews* 1: CD010479
39. Nieboer TE, Sari V, Kluivers KB, Weinans MJN, Vierhout ME, Stegeman DF (2012) A randomized trial of training the non-dominant upper extremity to enhance laparoscopic performance. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 21(4):259-64
40. Orzech N, Palter VN, Reznick RK, Aggarwal R, Grantcharov TP (2012) A comparison of 2 ex vivo training curricula for advanced laparoscopic skills: a randomized controlled trial. *Annals of Surgery* 255: 833–39
41. Ottermo M V, Ovstedal M, Langø T, Stavdahl O, Yavuz Y, et al. (2006) The role of tactile feedback in laparoscopic surgery. *Surgical Laparoscopy, Endoscopy & percutaneous Techniques* 16: 390–400
42. Park A, Lee G, Seagull FJ, Meenaghan N, Dexter D (2010) Patients benefit while surgeons suffer: an impending epidemic. *Journal of the American College of Surgeons* 210: 306–13
43. Rimbach S, Neis K, Solomayer E, Ulrich U, Wallwiener D (2014) Current and future status of laparoscopy in gynecologic oncology. *Geburtshilfe und Frauenheilkunde* 74: 852–59
44. Salkini MW, Doarn CR, Kiehl N, Broderick TJ, Donovan JF, Gaitonde K (2010) The role of haptic feedback in laparoscopic training using the lapmentor. *Journal of Endourology / Endourological Society* 24: 99–102
45. Scott DJ, Bergen PC, Rege R V, Laycock R, Tesfay ST, et al. (2000) Laparoscopic training on bench models: better and more cost effective than operating room experience? *Journal of the American College of Surgeons* 191: 272–83

46. Shanmugan S, Leblanc F, Senagore AJ, Ellis CN, Stein SL, et al. (2014) Virtual reality simulator training for laparoscopic colectomy: what metrics have construct validity? *Diseases of the Colon and Rectum* 57: 210–14
47. Sinitsky DM, Fernando B, Berlingieri P (2012) Establishing a curriculum for the acquisition of laparoscopic psychomotor skills in the virtual reality environment. *American Journal of Surgery* 204: 367–76
48. Smith SGT, Torkington J, Brown TJ, Taffinder NJ, Darzi a (2002) Motion analysis. *Surgical Endoscopy* 16: 640–45
49. Stefanidis D, Hope WW, Korndorffer JR, Markley S, Scott DJ (2010) Initial laparoscopic basic skills training shortens the learning curve of laparoscopic suturing and is cost-effective. *Journal of the American College of Surgeons* 210: 436–40
50. Ström P, Hedman L, Särnå L, Kjellin A, Wredmark T, Felländer-Tsai L (2006) Early exposure to haptic feedback enhances performance in surgical simulator training: a prospective randomized crossover study in surgical residents. *Surgical Endoscopy* 20: 1383–88
51. Supe AN, Kulkarni G V, Supe PA (2010) Ergonomics in laparoscopic surgery. *Journal of Minimal Access Surgery* 6: 31–36
52. Van Bruwaene S, Schijven MP, Miserez M (2014) Assessment of procedural skills using virtual simulation remains a challenge. *Journal of Surgical Education* 71: 654–61
53. Van Dongen KW, van der Wal WA, Rinkes IHMB, Schijven MP, Broeders IAMJ (2008) Virtual reality training for endoscopic surgery: voluntary or obligatory? *Surgical Endoscopy* 22: 664–67
54. Vitish-Sharma P, Knowles J, Patel B (2011) Acquisition of fundamental laparoscopic skills: is a box really as good as a virtual reality trainer? *International Journal of Surgery* 9: 659–61
55. Voitk AJ, Tsao SG., Ignatius S (2001) The tail of the learning curve for laparoscopic cholecystectomy. *The American Journal of Surgery* 182: 250–53
56. Wentink M, Stassen LPS, Alwayn I, Hosman RJAW, Stassen HG (2003) Rasmussen's model of human behavior in laparoscopy training. *Surgical Endoscopy* 17: 1241–46
57. Woodrum DT, Andreatta PB, Yellamanchilli RK, Feryus L, Gauger PG, Minter RM (2006) Construct validity of the lapsim laparoscopic surgical simulator. *American Journal of Surgery* 191: 28–32

58. Zou Z-H, Zhao L-Y, Mou T-Y, Hu Y-F, Yu J, et al. (2014) Laparoscopic vs open d2 gastrectomy for locally advanced gastric cancer: a meta-analysis. *World Journal of Gastroenterology* 20: 16750–64

6. Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Beispiel eines Boxtrainers	6
Bild 2: Der VR-Trainer LAP Mentor	8
Bild 3: Darmatruppe im Boxtrainer	13
Bild 4: Übungen am Boxtrainer: Fassen und Greifen	14
Bild 5: Übungen am Boxtrainer: Genaues Platzieren	15
Bild 6: Übungen am Boxtrainer: Ausschneiden eines Musters	16
Bild 7: Übungen am Boxtrainer: Extrakorporales Knoten	18
Bild 8: Übungen am Boxtrainer: Intrakorporales Knoten	19
Bild 9: Übungen am Boxtrainer: Sicheres Clippen	20
Bild 10: Simulation einer lap. CHE: Präparation am Calot'schen Dreieck	22
Bild 11: Simulation einer lap. CHE: Clippen und Durchtrennen	23
Bild 12: Simulation einer lap. CHE: Dissektion der Gallenblase	24
Bild 13: Ablauf der Studie	26
Bild 14: Beispiel eines Auswertungsbogen des LAP Mentor	28
Bild 15: Boxplots der Lernerfolge am Boxtrainer	32
Bild 16: Boxplots des Parameters "Sicheres Koagulieren"	36
Bild 17: Boxplots der Instrumentenbewegungen beider Gruppen	38
Bild 18: Balkendiagramm der komplettierten Operationen	41
Bild 19: Boxplots der zeitlichen Verbesserung	42

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der laparoskopischen Chirurgie.....	3
Tabelle 2:Übungen des laparoskopischen Basiskurses	12
Tabelle 3: Demographische Daten der Probanden	31
Tabelle 4: Baseline-Werte der lap. CHE beider Gruppen.....	33
Tabelle 5: Werte der Baseline- und Re-Evaluation Gruppe 1.....	35
Tabelle 6: Kreuztabelle der komplettierten Prozeduren	40
Tabelle 7: Übersicht der Veränderungen der Parameter beider Gruppen.....	43

6.3 Abkürzungen

Abb. = Abbildung

ca = circa

cm = Centimeter

lap. CHE = laparoskopische Cholezystektomie

mm = Millimeter

s = Sekunde(n)

VR-Trainer = Virtual Reality Trainer

6.4 Publikationsverzeichnis

Aspekte dieser Promotionsarbeit wurden im Rahmen wissenschaftlicher und klinischer Kongresse der chirurgischen Fachgesellschaften präsentiert.

Vorträge:

Rijcken E, Fritz M, Pankratius U, Neumann PA. Simulationstraining in der minimalinvasiven Chirurgie. 181. Jahrestagung der Vereinigung Niederrheinisch-Westfälischer Chirurgen; 28.11.2014, Bochum

Pankratius U, Fritz M, Schlüter S, Senninger N, Bonrath E, Rijcken E. Übertragbarkeit der Lernerfolge eines laparoskopischen Curriculums am Boxtrainer auf eine simulierte Operation am VR-Trainer. *Viszeralmedizin* 2012. 67. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten mit Sektion Endoskopie und 6. Herbsttagung der Deutschen Gesellschaft für Allgemein- und Viszeralchirurgie, 21.09.2012, ICC Hamburg

Poster:

Fritz M, Bonrath E, Weber B, Pankratius U, Bahde R, Wolters H, Senninger N, Rijcken E. Selbsteinschätzung des Lernerfolges bei laparoskopischen Simulationsübungen. 66. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten mit Sektion Endoskopie und 5. Herbsttagung der Deutschen Gesellschaft für Allgemein- und Viszeralchirurgie, 15.09.-19.09.2011, ICC Leipzig

Publizierte Abstracts

Pankratius U, Fritz M, Schlüter S, Senninger N, Bonrath E, Rijcken E. Übertragbarkeit der Lernerfolge eines laparoskopischen Curriculums am Boxtrainer auf eine simulierte Operation am VR-Trainer. *Z Gastroenterol* 2012; 50 - K303

Fritz M, Bonrath E, Weber B, Pankrätius U, Bahde R, Wolters H, Senninger N, Rijcken E. Selbsteinschätzung des Lernerfolges bei laparoskopischen Simulationsübungen. *Z Gastroenterol* 2011;49:1117-P232

6.5 Danksagung

Zunächst bedanke ich mich herzlich bei meinem Betreuer PD Dr. med. Emile Rijcken, der immer ernsthaftes Interesse an dieser Arbeit gezeigt hat, stets ansprechbar war und mir viele anregende Denkanstöße geliefert hat. Insbesondere danke ich ihm für seine motivierende und optimistische Haltung in Bezug auf diese Arbeit.

Meinem Chef, Herrn Prof. Dr. med. Dr. h. c. Norbert Senninger, danke ich dafür, dass ich seit vielen Jahren unter seiner Leitung in einem großartigen chirurgischen Team tätig sein darf. Ohne sein Vertrauen und langjähriges Festhalten an meiner Person als Mitarbeiter dieser Klinik wäre diese Dissertation wohl nie mehr zustande gekommen.

Auch bei meiner Arbeitsgruppe „Minimal Invasive Chirurgie“ möchte ich mich bedanken - insbesondere bei allen, die bei der Betreuung der Probanden im Rahmen der jeweiligen MIC-Kurse mitgeholfen und dadurch einen reibungslosen Ablauf dieser Studie ermöglicht haben.

Vor allem danke ich auch meiner Frau Sunnhild und meinem Sohn Finn Lukas für ihr liebevolles Verständnis dafür, dass neben der ohnehin knapp bemessenen Freizeit eines chirurgischen Alltags durch diese Arbeit weitere Stunden vom „Zeitkonto der Familie“ abgehen mussten. Ihr Verzicht hat ebenfalls zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen.

Nicht zuletzt möchte ich auch meinen Eltern Erich Pankratius und Ursula Pankratius, geb. Oberwinter, danken für ihre liebevolle Begleitung über viele Jahre hinweg und dafür, dass sie nach wie vor an mich denken. Sie haben mir das Medizinstudium überhaupt erst ermöglicht, ohne das es auch diese Arbeit nie gegeben hätte.

6.6 Tabellarischer Lebenslauf

