

Benjamin Friedrich Berthold Mayer

Dr. med.

Entwicklung und Evaluation eines computerassistierten Darmlängenmesssystems für die quantitative Laparoskopie in der minimal invasiven Chirurgie

Fach/Einrichtung: Chirurgie

Doktorvater: Prof. Dr. med. Beat Peter Müller

Weltweit nimmt die Zahl der an Adipositas erkrankten Menschen zu. Die gesundheitliche und gesellschaftliche Relevanz der Adipositas ergibt sich aus den damit einhergehenden Begleiterkrankungen und der erhöhten Mortalität bei gleichzeitig eingeschränkter Lebensqualität. Aus den zur Verfügung stehenden Therapien hat sich die metabolische Chirurgie in Bezug auf den langfristigen Gewichtsverlust und die Reduktion der Mortalität gegenüber konservativen Therapieansätzen als überlegen erwiesen. Unter den zur Verfügung stehenden metabolisch-chirurgischen Verfahren stellt der laparoskopische Roux-en-Y-Magenbypass das weltweit am häufigsten angewandte chirurgische Verfahren dar. Im Zuge der Operation wird eine Magentasche gebildet und der Dünndarm y-förmig konfiguriert. Ein oraler alimentärer Darmschenkel, der die Nahrung fördert und ein oraler biliodigestiver Darmschenkel, der die Verdauungssäfte zuführt, münden in einen gemeinsamen aboralen Darmschenkel, in dem Nahrung resorbiert wird. In Studien konnte gezeigt werden, dass die Länge der konstruierten Darmschenkel einen Einfluss auf den erzielten Gewichtsverlust hat. Dennoch ergab eine Befragung amerikanischer bariatrischer Chirurgen, dass lediglich 53% aller Teilnehmer eine formelle Methode zur Längenbestimmung der konstruierten Darmschenkel anwandten. Genannte formelle Methoden waren das Ausmessen mittels Markierungen an Laparoskopie-Instrumenten oder das Messen mit einem vorgemessenen Maßband. Diese Methoden wurden bisher nicht oder nur teilweise bezüglich Genauigkeit, Zeitbedarf, Sicherheit und Nutzerfreundlichkeit evaluiert. Des Weiteren wurden existierende Kamertechnologien und computerassistierte Ansätze bisher nicht berücksichtigt, um genaue, sichere und nutzerfreundliche Darmlängenmessungen zu ermöglichen.

Im Rahmen dieser Dissertation wurde innerhalb des Sonderforschungsbereichs/Transregio 125 "Cognition-Guided Surgery" in Kooperation mit Informatikern des Karlsruher Instituts für Technologie ein computerassistiertes Darmlängenmesssystem entwickelt. Unter Verwendung von dreidimensionaler Laparoskopie, Bilderkennungsalgorithmen und Stereorekonstruktion ermöglicht es dieses System, Darmlängen in Echtzeit zu vermessen. Das Ziel war es, das System in einer Machbarkeitsstudie am Darmmodell, am Schweinedarm *ex vivo* und *in vivo* zu evaluieren und anschließend bei einer Magenbypassoperation am Menschen einzusetzen. In einer weiterführenden Nutzerstudie am Darmmodell sollten die Genauigkeit, Messdauer und Sicherheit des Systems im Vergleich zu konventionellen Darmlängenmessmethoden untersucht werden. In einem dritten Schritt sollten in einer *In-vivo*-Studie an Hausschweinen intraoperative Einflussfaktoren auf die und Genauigkeit des computerassistierten Darmlängenmesssystems untersucht werden.

In der Machbarkeitsstudie wiesen die Darmlängenmessungen mit dem System mit über 90 % eine hohe Genauigkeit auf und zeigten bei einer Ziellänge von 70 cm eine leichte Tendenz, die tatsächliche Darmlänge zu überschätzen. Nach der präklinischen Evaluation wurde das

System zur Darmlängenmessung bei einer Magenbypassperation am Menschen eingesetzt und maß Darmabschnitte mit einer Erfolgsrate von 83,33 %. An der Nutzerstudie nahmen 21 chirurgische Assistenzärzte, 30 Medizinstudenten und 12 Nichtmediziner teil. Darmlängenmessungen mit dem System resultierten in einem kleineren relativen Fehler ($2,14 \pm 3,72$ %) und somit in einer höheren Genauigkeit als Messungen mit einem Maßband ($4,3 \pm 6,82$ %, $p = 0,002$), mit einer Instrumentenmarkierung ($11 \pm 15,34$ %, $p < 0,001$) oder mit visuellem Abschätzen ($8,74 \pm 13,68$ %, $p = 0,001$). Darmlängen wurden signifikant schneller mittels visuellem Abschätzen ($64,04 \pm 24$ s, $p < 0,001$) als mit einer Instrumentenmarkierung ($144,89 \pm 55,41$ s), einem Maßband ($166,46 \pm 63,65$ s) oder dem System gemessen ($175,65 \pm 59,71$ s). Messungen mit einer Instrumentenmarkierung führten zur einer höheren Anzahl an Darmkontakten als mit anderen Messmethoden ($22,19 \pm 6,91$, $p < 0,001$). In der *In-vivo*-Validierungsstudie vermaß das System Darmlängen robust und genau bei einer niedrigen Leistung der Lichtquelle von 30 Watt (Erfolgsrate $97,14 \pm 16,78$ %; relativer Fehler $16,32 \pm 17,52$ %), einer mittleren Kameradistanz von 5 cm (Erfolgsrate 100 %; relativer Fehler $17,95 \pm 38,54$ %), Kolon oder Dünndarm im Bildhintergrund (Erfolgsrate 100 %; relativer Fehler $15,22 \pm 23,29$ %), Darmlängenmessungen in einer horizontalen Bildposition von 0° oder 45° zur y-Ebene (Erfolgsrate: 100 %; relativer Fehler $7,32 \pm 36,23$ %) und mit einem dritten Instrument im Hintergrund (Erfolgsrate: $97,14 \pm 16,78$ %; relativer Fehler: $1,05 \pm 46,58$ %) oder auf dem Darm (Erfolgsrate: $95,65 \pm 20,75$ %; relativer Fehler: $1,53 \pm 35,23$ %).

In Zuge der Machbarkeitsstudie konnte das computerassistierte Darmlängenmesssystem nach ausführlicher präklinischer Evaluation am Darmmodell, am Schweinedarm *in vivo* und *ex vivo* erfolgreich bei einer Magenbypassoperation am Menschen eingesetzt werden. Intraoperativ wies das System die notwendige Kernfunktionalität für den klinischen Einsatz auf und zeigte sich gut in den chirurgischen Arbeitsablauf integriert. In Hinblick auf zukünftige klinische Einsätze könnte das System durch zusätzliches Training des Bilderkennungsalgorithmus und einer optimierten Detektion der Instrumentenspitzen optimiert werden. In der Nutzerstudie wurden erstmalig drei klinisch angewandte laparoskopische Darmlängenmessmethoden bezüglich der Endpunkte Messgenauigkeit, Messdauer und Anzahl benötigter Darmkontakte untersucht und mit dem computerassistierten Darmlängenmesssystem verglichen. Aus den existierenden Darmlängenmessmethoden wies lediglich die Messung mit einem vorgemessenen Maßband eine hohe Genauigkeit und somit Eignung für den klinischen Einsatz auf. Alle Teilnehmer erzielten Messergebnisse von höchster Genauigkeit, wenn sie das computerassistierte Darmlängenmesssystem anwandten. Durch eine Optimierung des technischen Aufbaus des Systems könnte eine erleichterte Handhabung und somit eine verbesserte Integration in den chirurgischen Arbeitsablauf erreicht werden. Im Rahmen der *In-vivo*-Validierungsstudie konnte gezeigt werden, dass das computerassistierte Darmlängenmesssystem unter realistischen intraoperativen Bedingungen Darmlängen robust und genau misst. Mithilfe der in der Studie erlangten Erkenntnisse über Einflussfaktoren auf echtzeitfähige Anwendungen von Oberflächenrekonstruktion könnte die klinische Translation zukünftiger Anwendungen erleichtert werden.

In der metabolischen Chirurgie stellt das computerassistierte Darmlängenmesssystem einen neuen Ansatz für genaue und sichere Darmlängenmessungen dar. Mithilfe des Systems könnten objektive Studien zum Einfluss der Darmlänge auf das Behandlungsergebnis von Magenbypassoperationen durchgeführt werden. Um das System mittelfristig als klinischen

Standard zur Messung von Darmlängen zu etablieren, ist jedoch eine weitere Optimierung hinsichtlich der Integration in den chirurgischen Arbeitsablauf sowie eine ausführliche klinische Validierung notwendig. Als Anwendung von quantitativer Laparoskopie erweitert das computerassistierte Darmlängenmesssystem die dreidimensionale Laparoskopie um eine funktionelle Komponente und weist insbesondere für die minimal invasive Chirurgie ein hohes Nutzpotezial auf. Durch die objektive Messung von geometrischen Parametern ermöglicht das System reproduzierbare intraoperative Therapie-Entscheidungen und könnte somit zur weiteren Standardisierung der minimal invasiven Chirurgie beitragen.