

Aus dem Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und
Versorgungsforschung der Universität Tübingen

**Einfluss eines ergonomischen Griffstücks auf physische
Arbeitsbelastung und Aspekte der Arbeitsqualität bei
simulierten laparoskopischen Tätigkeiten**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Reiff, Florian Christoph

2020

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professorin Dr. M. Rieger

2. Berichterstatter: Professor Dr. A. Kirschniak

Tag der Disputation: 14.12.2020

Inhaltsverzeichnis:

1 HINTERGRUND	1
1.1 FRAGESTELLUNG	5
1.2 EINBETTUNG DES FORSCHUNGSPROJEKTS	7
2 METHODEN	9
2.1 ABLAUF DER STUDIE	9
2.2 PROBANDEN	11
2.3 VERSUCHSAUFBAU UND -ABLAUF	11
2.3.1 <i>Stand- und Monitorposition</i>	12
2.3.2 <i>Arbeitshöhe</i>	13
2.3.3 <i>Zugangswege und Kameraposition</i>	14
2.3.4 <i>Griffstücke und Instrumente</i>	14
2.3.5 <i>Übungsphase</i>	15
2.3.6 <i>Randomisierung</i>	16
2.3.7 <i>Aufgaben</i>	16
2.3.8 <i>Finanzierung</i>	18
2.4.1 <i>Oberflächen-Elektromyographie (oEMG)</i>	19
2.4.1.1 <i>Digitalisierung und Filterung</i>	20
2.4.1.2 <i>Normalisierung</i>	20
2.4.2 <i>Oberarm- und Handgelenkwinkel</i>	22
2.4.3 <i>Arbeitsleistung und Präzision</i>	24
2.4.4 <i>Subjektive Bewertung</i>	24
2.5 ERGÄNZENDE DATEN	25
2.5.1 <i>Überwachung</i>	26
2.6 DATENAUFBEREITUNG UND AUSWERTUNG	26
2.7 STATISTIK.....	26
3 ERGEBNISSE	28
3.1 PROBANDEN	28
3.2 OBERFLÄCHEN-ELEKTROMYOGRAPHIE	29
3.3 ARMHALTUNG.....	35
3.4 HANDGELENKSWINKEL	38
3.5 ARBEITSLEISTUNG UND PRÄZISION.....	41
3.6 SUBJEKTIVE BEWERTUNG	43
3.7 ZUSAMMENFASSUNG ERGEBNISSE.....	47
4 DISKUSSION	49
4.1 EMG	49
4.1.1 <i>Warum nicht der erwartete Effekt?</i>	50
4.2 WINKELMESSER	53
4.2.1 <i>Arbeitsposition / Lokalisation im Situs</i>	54
4.2.2 <i>Technikanpassung</i>	54
4.2.3 <i>Kameraposition</i>	55
4.2.4 <i>Ulnar-/Radialabduktion</i>	56
4.2.5 <i>Alternative Sensoren</i>	56
4.2.6 <i>Bedeutung der Handgelenkwinkel</i>	57
4.2.7 <i>Verwendung der Rotierfunktion/Griffeinsatz</i>	58
4.3 AUSREICHENDER EFFEKT DURCH GS-ROT?	60
4.4 WICHTIGE EINFLUSSFAKTOREN	61

4.4.1 Arbeitsposition / Lokalisation im Situs.....	61
4.4.2 Arbeitshöhe	63
4.4.3 Effektverlust des GS-ROT.....	63
4.5 ARBEITSPRÄZISION	65
4.6 ERGONOMIE: PROBLEME, MAßNAHMEN UND NEUE ANSÄTZE.....	66
4.7 SUBJEKTIVE BEWERTUNG	70
4.8 LIMITATIONEN	71
4.8.1 Probanden.....	71
4.8.2 Reihenfolgeneffekte.....	71
4.8.3 Aufgabenauswahl.....	71
4.8.4 Versuchsaufbau.....	73
4.8.5 Lagesensor.....	74
4.8.6 Winkelmesser.....	75
6 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	76
7 ZUSAMMENFASSUNG	78
8 LITERATUR	80
9 ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL DER DISSERTATIONSSCHRIFT.....	88
10 VERÖFFENTLICHUNGEN.....	91
11 ANHANG.....	92
11.1 CRF	92
11.2 NORDISCHER FRAGEBOGEN.....	107

Abbildungsverzeichnis:

ABBILDUNG 1: MÖGLICHE ARBEITSHALTUNG WÄHREND EINER LAPAROSKOPISCHEN OPERATION	2
ABBILDUNG 2: CHRONOLOGISCHER ABLAUF DER LABORSTUDIE.....	10
ABBILDUNG 3: VERSUCHSAUFBAU FÜR RECHTSHÄNDER WÄHREND DER DYNAMISCHEN AUFGABE.....	12
ABBILDUNG 4: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG ZUR BERECHNUNG DER TISCHHÖHEN.	14
ABBILDUNG 5: A) KAMERA UND ZWEI INSTRUMENTE ÜBER TROKARE (B) EINGEFÜHRT IN DEN PELVITRAINER.....	15
ABBILDUNG 6: LAPAROSKOPISCHE INSTRUMENTENGRIFFE. A) GS-FIX, B) GS-ROT (48).	15
ABBILDUNG 7: AUFBAU STATISCHE AUFGABE. RECHTS: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER QUADRANTEN (49).....	16
ABBILDUNG 8: AUFBAU DYNAMISCHE AUFGABE.	17
ABBILDUNG 9: POSITION ZUR OEMG-NORMALISIERUNGSMESSUNG DES M. BICEPS BRACHII.....	22
ABBILDUNG 10: A) FIXIERTER DEHNUNGSSENSOR AM HANDGELENK, FIXIERTE OEMG-ELEKTRODEN AM UNTERARM. B) DEHNUNGSSENSOR (STRAIN GAUGE SENSOR; SG-SERIE, BIOMETRICS, UK).	23
ABBILDUNG 11: BOX-PLOT-DIAGRAMME, NORMALISIERTE ELEKTRISCHE AKTIVITÄT (NEA) DER SCHULTERMUSKULATUR (48).	31
ABBILDUNG 12: NORMALISIERTE UND LOG10 TRANSFORMIERTE ELEKTRISCHE AKTIVITÄT DES M. BICEPS BRACHII UND M. FLEXOR CARPI RADIALIS (49).	33
ABBILDUNG 13: INTERAKTION DES GRIFFSTÜCKS UND DER INSTRUMENTENPOSITION IM OPERATIONSGBIET (49).	34
ABBILDUNG 14: BOX-PLOT-DIAGRAMME ZUR HALTUNG DES DOMINANTEN OBERARMS (48).	35
ABBILDUNG 15: HISTOGRAMME DER HANDGELENKSWINKEL FÜR ALLE SEQUENZEN (48).	38
ABBILDUNG 16: HANDGELENKSWINKEL IN ABHÄNGIGKEIT VON (A) GRIFFSTÜCK, (B) ARBEITSHÖHE AND (C) INSTRUMENTENPOSITION IM OPERATIONSGBIET (49).	39
ABBILDUNG 17: HANDGELENKSWINKEL (A) INTERAKTION VON GRIFFSTÜCK UND ARBEITSHÖHE; (B) INTERAKTION VON GRIFFSTÜCK UND INSTRUMENTENPOSITION IM OPERATIONSGBIET (49).	41
ABBILDUNG 18: BEFRAGUNGSERGEBNISSE ZUR BEWERTUNG MEHRERER AUSSAGEN IN DEN BEREICHEN PRÄZISION, ASPEKTE DER KÖRPERHALTUNG, HANDHABUNG, JEWEILS FÜR BEIDE INSTRUMENTENGRIFFE.....	44
ABBILDUNG 19: BEFRAGUNGSERGEBNISSE ZUM DIREKTEN VERGLEICH DER BEIDEN INSTRUMENTENGRIFFE.....	46
ABBILDUNG 20: ANGEPASSTE GRIFFTECHNIK FÜR EINE BESSERE, ANGENEHMERE HAND-/ARMHALTUNG.	55
ABBILDUNG 21: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER VERÄNDERTEN BEWEGUNGSUMFÄNGE BEI ÄNDERUNG DER INTRA-/EXTRAKORPORALEN INSTRUMENTENANTEILEN.....	62

Tabellenverzeichnis:

TABELLE 1: DATEN STUDIENPOPULATION (48).....	28
TABELLE 2: NORMALISIERTE UND LOG-TRANSFORMIERTE ELEKTRISCHE AKTIVITÄT DER ARM- UND SCHULTERMUSKULATUR FÜR JEDE AUFGABENBEDINGUNG (49).	30
TABELLE 3: MEDIAN, 25. UND 75. PERZENTILE DER nEA (oEMG) WÄHREND DEN VIER SEQUENZEN (48).	32
TABELLE 4: MEDIAN, 25. UND 75. PERZENTILE DER ARMHALTUNG [°] WÄHREND DEN VIER SEQUENZEN (48).	35
TABELLE 5: UNTERSCHIEDE DER nEA, OBERARMHALTUNG UND HANDGELENKSWINKEL ZWISCHEN DEN ZWEI GRIFFTYPEN UND DER ARBEITSHÖHE (48).....	36
TABELLE 6: ARMHALTUNG BEI JEDER AUFGABENBEDINGUNG (49).	37
TABELLE 7: ANTEVERSION UND ABDUKTION IN GRAD, BEI NIEDRIGER UND HOHER ARBEITSHÖHE MIT DEM GS-FIX UND GS-ROT IN DEN QUADRANTEN A UND C.....	37
TABELLE 8: MEDIAN, 25. UND 75. PERZENTILE DER HANDGELENKSWINKEL [°] WÄHREND DEN VIER SEQUENZEN (48).	39
TABELLE 9: HANDGELENKSWINKEL BEI JEDER AUFGABENBEDINGUNG (49).....	40
TABELLE 10: ARBEITSLEISTUNG WÄHREND DER DYNAMISCHEN AUFGABE ALS PRÄDIKTOR FÜR DIE ARBEITSPRÄZISION (48).....	42
TABELLE 11: ARBEITSPRÄZISION ANHAND DER FEHLERANZAHL WÄHREND DER STATISCHEN AUFGABE (49).	42

1 Hintergrund

Seit einigen Jahren nimmt die Zahl der minimalinvasiven Operationen zu (1). Bei Bauchoperationen werden die benötigten Instrumente und die Kamera über kleine Hautschnitte in den mit Luft gefüllten Bauchraum eingeführt. Dieses spezielle endoskopische Verfahren wird als Laparoskopie¹ bezeichnet (vgl. Fußzeile). Als großer Vorteil von laparoskopischen Eingriffen im Vergleich zur konventionellen Chirurgie werden die kleineren Wundflächen und die damit verbundene schnellere Erholungszeit der Patienten² mit weniger Wundheilungsstörungen und geringeren Schmerzen genannt (3, 4). Auf den unterschiedlichsten Gebieten der Chirurgie werden minimalinvasive Verfahren angewendet, um die Belastung für die Patienten möglichst gering zu halten.

In diesem Kontext ist es verständlich, dass entstehende Nachteile für die Chirurgen in den Hintergrund rücken, obwohl 70 bis 90 Prozent der operierenden Chirurgen in Befragungen von Beschwerden in Zusammenhang mit der laparoskopischen Chirurgie berichten (1, 5–7). Als Hauptfokus wird der Schulter-Nacken-Bereich genannt (5, 8). Pfeffer et al. (9), Nguyen et al. (10) oder auch Szeto et al. (11) berichten von einer erhöhten, teilweise sehr einseitigen und statischen Muskelbeanspruchung während solcher Operationen (vgl. Abb. 1). Laut Tedeus (12) sprechen Radermacher et al. von einer statischen Beanspruchung von mindestens 70 Prozent der Operationsdauer (13). Der große Anteil statischer Beanspruchung wird als einer der Hauptgründe für die negativen Auswirkungen laparoskopischer Eingriffe auf die operierenden Chirurgen gesehen (11).

¹ Laparoskopie wird im deutschen auch Bauchspiegelung oder „Schlüssellochchirurgie“ genannt. Dieses minimalinvasive Operationsverfahren ist abzugrenzen von der Laparotomie (auch als „offene Chirurgie“ bezeichnet), bei der ein großer Bauchschnitt notwendig ist. Um im Bauchraum ausreichend Platz für eine laparoskopische Operation zu haben, wird Kohlendioxid eingelassen und über Schleusen/Ventile (Trokare) können Kamera und Instrumente eingeführt werden (2).

² Aufgrund der übersichtlicheren Darstellung und besseren Lesbarkeit wird in allen Teilen der Dissertationsschrift die männliche Form verwendet, wenn Frauen und Männer gleichermaßen gemeint sind.



Abbildung 1: Mögliche Arbeitshaltung während einer laparoskopischen Operation

Durch Fehl- und Überbeanspruchung werden Muskel-Skelett-Erkrankungen begünstigt (4, 8), welche zu anhaltenden körperlichen Beschwerden und Ausfallzeiten führen können (1, 5–7, 14). Neben dem Schulter-Nacken-Bereich stellen die Arme, die Hände und die Finger zusätzliche Problembereiche dar (4, 8, 15). Franasiak et al. und Stomberg et al. berichten, dass auch die Körperkonstitution und das Geschlecht einen Einfluss auf die Beschwerdesymptomatik haben. Frauen seien häufiger von muskuloskelettalen Beschwerden betroffen als ihre männlichen Kollegen (5, 6).

Durch die vermehrte muskuläre Beanspruchung kommt es während eines Operationstages zu zunehmender körperlicher, wie auch geistiger Ermüdung der Chirurgen (16–18). Dies kann zu einer Verlängerung der Operationsdauer sowie einem erhöhten Operationsrisiko führen, da mit zunehmender Dauer und Belastung Fehler wahrscheinlicher werden (19). Es ist somit auch im Sinne der Patienten, eine ergonomische Verbesserung für die Chirurgen zu verfolgen. Durch den steigenden Anteil der minimalinvasiven Chirurgie (1) ist davon auszugehen, dass die genannten Probleme zukünftig häufiger auftreten werden.

In Anbetracht aller Folgen einer Überbeanspruchung der Chirurgen sollten neben den Patienten und Ärzten durchaus auch Klinikverwaltungen und der Krankenkassen ein Interesse daran haben, körperliche Beschwerden bei Operateuren zu vermeiden. Es muss daran gearbeitet werden, die Vorteile der

Laparoskopie zu nutzen und gleichzeitig die Nachteile für die durchführenden Chirurgen zu minimieren.

Die Umsetzung gestaltet sich jedoch schwierig, da durch die spezifischen Gegebenheiten im Operationssaal, speziell bei laparoskopischen Operationen, einige technische und organisatorische Einschränkungen zu berücksichtigen sind (15, 20, 21).

Im Setting Operationssaal beeinflussen eine Vielzahl von Faktoren die biomechanische Beanspruchung des Operateurs. So sind zum Beispiel die Einstellmöglichkeiten der Operationstische (22), die Platzierung der Monitore (23), die Verwendung von Fußpedalen (24), aber auch die Ausrichtung, das Design und die Funktionen der laparoskopischen Instrumente häufig Inhalt verschiedenster wissenschaftlicher Studien.

Auch die Entwicklung von Stütz- und Haltesystemen zur Reduktion der körperlichen Belastung stellt einen interessanten Forschungsansatz dar, wobei sich bisher kein System im Klinikalltag etablieren konnte. Die Probleme der Umsetzbarkeit liegen vor allem in den Installationsmöglichkeiten, dem meist hohen Platzbedarf, der Wahrung der sterilen Bedingungen, der individuellen Anwendbarkeit und den hohen Kosten (25, 26). Bisher als einziges System konnte sich die roboter-assistierte Laparoskopie mit Hilfe des DaVinci-Operationssystems (Intuitive Surgical, Kalifornien)³ etablieren. Dies geschah vermutlich vielmehr wegen seiner operativen Vorteile für den Patienten, als aufgrund der Beanspruchungsreduktion für den Anwender im Vergleich zur konventionellen Laparoskopie (28). Die roboter-assistierte Laparoskopie bleibt im Tagesgeschäft jedoch nur einzelnen Zentren für spezielle Operationen vorbehalten.

Viele Erkenntnisse der Forschung haben bisher nur unzureichend Einzug in die Operationssäle erhalten, so dass weiterhin große ergonomische Mängel anzutreffen sind (24). Es sind zusätzliche Untersuchungen notwendig, zum

³ Beim Operationssystem Da Vinci ist der Operateur nicht direkt am Patienten. Er steuert die an den Roboterarmen befestigten Instrumente über eine „Videokonsole“, an der er sitzt. Die Übertragung der Bewegungen erfolgt in Echtzeit. Durch ein vergrößertes dreidimensionales Bild lassen sich Strukturen besser erkennen und durch die Übersetzung von relativ groben in feinere Bewegungen lassen sich die Instrumente sehr genau steuern. Der menschliche Tremor als unwillkürliche Bewegung wird herausgefiltert (2, 27).

einen um das Bewusstsein für die unzureichende Ausstattung und die körperlichen Probleme der Chirurgen im Operationssaal zu schaffen und zum anderen um umsetzbare Lösungen zur Verbesserung des operativen Settings anbieten zu können (29). Oft hinderlich ist dabei die Kosten-Nutzen-Diskussion. Es stellt sich die Frage, welche Investitionen in die technische Ausstattung der Operationssäle sinnvoll sind, um den gesamtwirtschaftlichen Erfolg einer Klinik und die Sicherheit der Patienten sowie des Personals zu verbessern (30, 31). Es geht um die Effektivität und Umsetzbarkeit, aber gleichzeitig auch um den Erhalt oder die Verbesserung der Ergebnisqualität.

Ziel sollte es sein, die Operationssäle entsprechend den Anforderungen laparoskopischer Operationen auszustatten. 97 Prozent aller durch Matern et al. befragten Chirurgen (11,7 Prozent von 3621 Chirurgen bei einem Kongress) halten ergonomische Verbesserungen im Operationssaal für notwendig (32). So heißt es im Titel des Aufsatzes von Vereczkel et al. wie folgt: „*Laparoscopic surgery and ergonomics: It's time to think of ourselves as well*“ (33). Es sollte ein Zustand erreicht werden, in dem sich nicht der Chirurg den Gegebenheiten anpassen muss, sondern die Gegebenheiten an den Chirurgen angepasst werden.

Als wichtiger und leicht greifbarer Faktor für biomechanische Belastungen wurde in den vergangenen Jahren die Schnittstelle zwischen dem Chirurgen und den verwendeten Instrumenten ausgemacht. In vielen Studien wurde daher untersucht, inwiefern sich die Instrumentengriffe auf die Beanspruchung der Chirurgen auswirken (34–42).

Wenn durch eine Veränderung an einem Instrumenten-Griffstück die Ergonomie⁴ und damit zusammenhängend auch die Qualität und die Effektivität der Arbeit verbessert werden könnte (36), wäre dies ein äußerst geeigneter Ansatzpunkt für die Optimierung der Bedingungen im Operationssaal.

⁴ Ergonomie ist die wissenschaftlich zu untersuchende Wechselwirkung zwischen dem Menschen und seiner Arbeit. Ziel ist es Arbeitsbedingungen (Arbeitsplatz, Arbeitsmittel, Arbeitsumgebung) so zu gestalten und individuell anzupassen, dass ein bestmögliches Wohlbefinden ohne gesundheitliche Folgen, bei bestmöglicher Leistung und technischer, ökonomischer Effektivität erreicht werden kann. Der Begriff kann sich nicht nur auf physische, sondern auch auf psychische, soziale, organisatorische oder umweltbezogene Aspekte beziehen (43, 44).

Auch Herstellerfirmen haben dies erkannt. Die Firma Erbe Elektromedizin GmbH (Tübingen) hat hierzu einen „ERGO-Griff“ für laparoskopische Instrumente auf den Markt gebracht. Es handelt sich um ein Griffstück, welches um 360 Grad orthogonal zum Instrumentenschaft gedreht werden kann. Die Rotation des Griffes soll eine flexible und entspannte Bedienung des Instruments ermöglichen und sich positiv auf die Körperhaltung auswirken sowie ein verkrampftes Arbeiten verhindern (45). Bei Bedarf kann das Griffstück in jeder beliebigen Position fixiert werden. Bisher war jedoch unklar, in welchem Ausmaß ein solches Instrument mit drehbarem Pistolengriff (GS-Rot) die physische Beanspruchung des Operateurs optimieren kann, da hierzu keine Studien vorlagen. Um Beanspruchungsdaten zu erhalten wurde eine explorative Studie geplant.

1.1 Fragestellung

Anhand dieser experimentellen Studie mit explorativem Ansatz sollte der Effekt des rotierbaren Griffstücks (GS-ROT) auf die primären Zielgrößen muskuläre Beanspruchung, Handgelenkwinkel und Armhaltung, sowie die sekundären Zielgrößen Arbeitspräzision und die subjektive Einschätzung der Beanspruchung, der Handhabung und der Präzision untersucht werden. Entsprechend war in erster Linie die physische Beanspruchung und in zweiter Linie die Beeinträchtigung der Arbeitsqualität von Bedeutung. Weitere Aspekte, die berücksichtigt wurden, waren eine mögliche Interaktion zwischen GS-ROT und der Arbeitshöhe beziehungsweise der Orientierung des Instruments im Situs sowie der Einfluss von statischen Haltetätigkeiten und dynamischen Tätigkeitsanteilen, da unterschiedliche Arbeitsbedingungen die Hand-Arm-Positionen des Chirurgen und die Auswirkungen eines Griffsystems beeinflussen können (46).

Damit alle genannten Aspekte berücksichtigt werden konnten, wurde eine experimentelle Studie mit einer dynamischen und einer annähernd statischen Aufgabe bei zwei Arbeitshöhen durchgeführt. Neben dem drehbaren Griffstück (GS-ROT) wurde als Vergleichsmodell das baugleiche fixierte Griffstück der Firma ERBE verwendet (GS-FIX).

Als primäre Forschungsfragen ergaben sich folgende Punkte:

- Welchen Einfluss hat das neue rotierbare Griffstück im Vergleich zu einem konventionellen nicht rotierbaren Griffstück auf die physische Beanspruchung und Belastung?
- Welchen Einfluss hat die Arbeitshöhe auf eine mögliche Wirkung durch das rotierbare Griffstück?
- Welchen Einfluss hat die Arbeitsrichtung beziehungsweise die Arbeitsposition im Situs auf eine mögliche Wirkung durch das rotierbare Griffstück?

Obwohl beide Griffstücke bereits als Medizinprodukte zugelassen waren, sollte überprüft werden, ob durch das GS-ROT Nachteile in der Handhabung und der Arbeitspräzision entstehen.

Demnach lauteten die sekundären Fragestellungen:

- Welchen Einfluss hat die Verwendung des rotierbaren Griffstücks auf die objektiv erfasste Arbeitsleistung und Arbeitspräzision?
- Führt die Verwendung des rotierbaren Griffstücks zu Einschränkungen in der subjektiv wahrgenommenen Handhabung, Präzision und Körperhaltung?

Würde sich durch die innovative Entwicklung und die Verwendung eines rotierbaren Griffstücks eine Reduktion der physischen Beanspruchung ohne Einschränkung der Arbeitsqualität zeigen, hätte dies weitreichende Folgen und Vorteile für die Chirurgen, Patienten und Kliniken. Mit einer relativ geringen Investition und einer unkomplizierten Umsetzung könnte die Situation der Chirurgen verbessert und gleichzeitig die Qualität des Operierens gesteigert werden (19).

1.2 Einbettung des Forschungsprojekts

Die durchgeführte Studie war Teil eines Gesamtprojekts, welches sich unter dem folgenden Titel dem Thema der physischen Beanspruchung bei laparoskopischen Tätigkeiten widmete:

„Einfluss eines Laparoscops (laparoskopischen Instruments) mit ergonomisch optimiertem Griff auf die physische Beanspruchung von Chirurgen aus der Gynäkologie – Evaluation mittels Labor- und Feldstudie“ (siehe Ethikantrag, Projektnummer 409/2013BO1).

Zum einen wurde die vorliegende standardisierte Laboruntersuchung und zum anderen eine praxisnahe Felduntersuchung im Operationssaal umgesetzt. Im Rahmen der Feldstudie führten die Operateure an zwei Tagen jeweils dieselben Routineoperationen mit beiden Griffstücken durch. Zur Bestimmung der muskulären Beanspruchung wurde die Oberflächen-Elektromyografie (oEMG) verwendet und eine subjektive Erhebung durchgeführt. Aufgrund der Einhaltung der Hygienestandards konnte die Messung der Handgelenkwinkel in diesem Setting nicht erfolgen. Die eingeschränkte Probandenzahl ergab sich durch den Einsatz erfahrener Operateure im Gegensatz zu den Laien in der Laborstudie. Ein großer Vorteil war hingegen, dass unter realen Bedingungen gearbeitet wurde (47). Demgegenüber stehen die standardisierten Bedingungen im Labor. Feld- und Laborstudie ergänzen sich somit gut und beide Teile ergeben ein schlüssiges Gesamtstudienkonzept.

Zu den Ergebnissen der Laborstudie wurden bereits zwei Artikel veröffentlicht. Die erste Publikation bezog sich auf die dynamische Aufgabe des Experiments und wurde in der Fachzeitschrift „Surgical Endoscopy“ veröffentlicht:

Steinhilber B, Seibt R, Reiff F, Rieger MA, Kraemer B, Rothmund R. „Effect of a laparoscopic instrument with rotatable handle piece on biomechanical stress during laparoscopic procedures“ (48).

In der zweiten Publikation wurden die Daten aus dem Aufgabenteil der statischen Aufgabe in der Fachzeitschrift „Human Factors“ veröffentlicht:

Steinhilber B, Reiff F, Seibt R, Rieger MA, Martus P, Kraemer B, Rothmund R. *“Ergonomic Benefits From a Laparoscopic Instrument With Rotatable Handle Piece Depend on the Area of the Operating Field and Working Height”* (49).

Da die oben genannten Artikel und die vorliegende Dissertationsschrift im Rahmen derselben Studie und auf gleicher Datengrundlage verfasst wurden, überschneiden sich die Publikationen an vielen Stellen mit der Darstellung von Ergebnissen und Ausführungen der vorliegenden Dissertation.

Eine weitere Publikation zu den Ergebnissen der Feldstudie wurde im „International Archives of Occupational and Environmental Health“ publiziert:

„An ergonomic field study to evaluate the effects of a rotatable handle piece on muscular stress and fatigue as well as subjective ratings of usability, wrist posture and precision during laparoscopic surgery: an explorative pilot study“ (50).

Auch im Rahmen der Feldstudie wurde eine medizinische Dissertation durch Frau Anne-Katrin Stoffels bereits mit folgendem Titel verfasst: *„Einfluss eines drehbaren Griffstücks auf muskuläre Belastung, Arbeitspräzision, Aspekte der Körperhaltung sowie Handhabung des laparoskopischen Instruments bei minimalinvasiven Eingriffen“* (47).

Anne-Katrin Stoffels war außerdem unterstützend an der Durchführung der Labormessungen beteiligt. Beide Studienteile wurden aber unabhängig voneinander durchgeführt.

2 Methoden

Untersuchungsgegenstand ist ein rotierbares Griffstück (GS-ROT) an einem laparoskopischen Instrument, welches im Vergleich zu einem fixierten Griffstück (GS-FIX) hinsichtlich mehrerer Zielvariablen untersucht wird. Während Pilottests stellten sich die Veränderung der Arbeitshöhe, Arbeitsrichtung und die Position im Situs als Variablen heraus, die die Beanspruchung der Probanden zusätzlich zur Art des verwendeten Griffstücks beeinflussen. Es wurde versucht, diese Aspekte neben dynamischen und statischen Aufgabenteilen in das Experiment miteinzubeziehen.

2.1 Ablauf der Studie

Nach der Planung und Vorbereitung der Studie sowie der Genehmigung durch das Ethikkomitee, stand an erster Stelle die Rekrutierung der Probanden nach den entsprechenden Kriterien. Nachdem die Probanden über die Studie schriftlich und mündlich informiert waren, der Teilnahme schriftlich zugestimmt hatten und nach Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien dafür geeignet waren, konnte die erste Datenerhebung (demografisch, anthropometrisch, körperliche Aktivität und Beschwerden) beginnen. Anschließend erfolgte die Randomisierung der Probanden, um die Reihenfolge der Versuchsbedingungen während den Messungen festzulegen (vgl. Kapitel 2.3.6 Randomisierung). Nach einer Übungsphase wurden die Probanden mittels Elektroden und Lagesensoren für die weitere Datenerhebung ausgestattet. Bevor der Winkelsensor am Handgelenk angebracht werden konnte, mussten aus technischen Gründen erst die Normalisierungsmessungen (Referenzkontraktionen) durchgeführt werden. Anschließend begannen die Probanden mit den laparoskopischen Aufgabenteilen. Bei der dynamischen Aufgabe mussten nach jeder Sequenz Angaben zu möglicherweise aufgetretenen Missempfindungen gemacht werden. Außerdem wurden die Probanden zu unterschiedlichen Aspekten der verwendeten Griffstücke mittels Fragebogen befragt. Am Ende aller Messungen wurde ein weiterer Fragebogen zum Vergleich der beiden Griffvarianten ausgefüllt. Der chronologische Ablauf des Experiments ist in Abbildung 2 dargestellt.

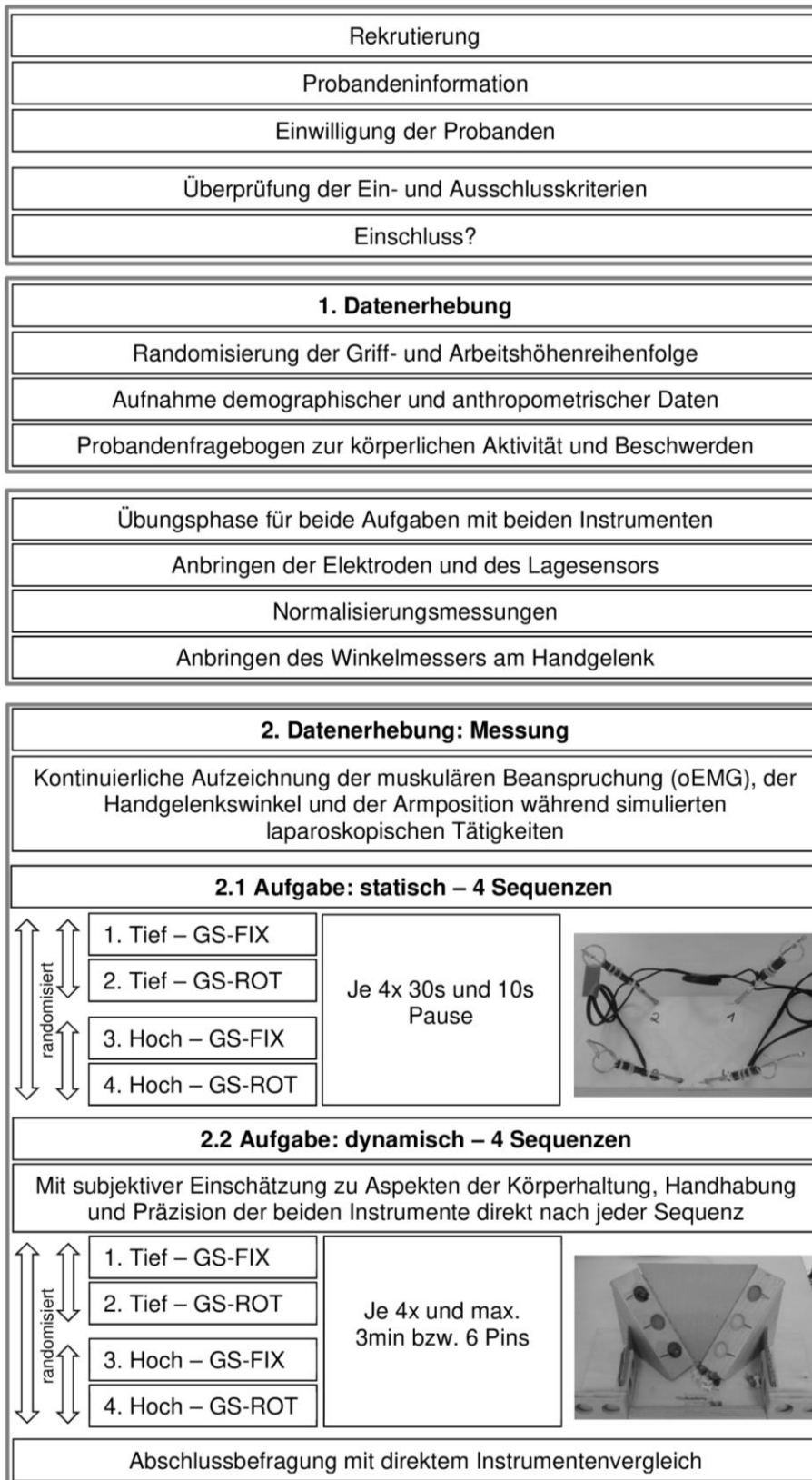


Abbildung 2: Chronologischer Ablauf der Laborstudie.

oEMG: Oberflächen-Elektromyogramm; TIEF: niedrige Arbeitshöhe; GS-FIX: fixiertes Griffstück HOCH: hohe Arbeitshöhe; GS-ROT: rotierbares Griffstück.

2.2 Probanden

Die Probandengewinnung erfolgte aus der internen Probandendatenbank des Instituts und über den E-Mail-Verteiler der Universität Tübingen beziehungsweise über den Bekanntenkreis der Institutsmitarbeiter. Einschlusskriterien waren eine ausreichende Leistungsfähigkeit und Gesundheit, welche es ermöglichen, einer Vollzeitbeschäftigung nachzugehen. Weitere Teilnahmebedingungen waren das Beherrschen der deutschen Sprache, Alter zwischen 18 und 65 Jahren sowie keine Vorerfahrung mit der Benutzung laparoskopischer Instrumente. Adipöse Personen (BMI > 30) wurden nicht zugelassen, da aufgrund des erhöhten subkutanen Fettgewebes ein Einfluss auf die Oberflächen-Elektromyographie (Veränderung der Leiteigenschaften) nicht auszuschließen wäre.

Zudem wurden Personen von der Studie ausgeschlossen, bei denen neuromuskuläre Erkrankungen, akute Erkrankungen oder eine eingeschränkte Beweglichkeit, Fehlhaltung, Schmerzen der Wirbelsäule oder der oberen Extremität vorlagen. Des Weiteren führten Drogen- oder übermäßiger Alkoholkonsum sowie die Einnahme von Analgetika beziehungsweise Muskelrelaxantien zum Studienausschluss. Im Vorfeld wurde die Studie durch das Ethikkomitee der Universität Tübingen genehmigt und anschließend nach den geltenden Richtlinien der Deklaration von Helsinki in der aktuellen Version durchgeführt. Jeder Versuchsteilnehmer nahm freiwillig an der Studie teil, wurde ausführlich schriftlich und mündlich über den Versuchsablauf informiert und erklärte schriftlich sein Einverständnis zur Teilnahme. Jedem Probanden wurde eine Aufwandsentschädigung von 15 Euro bezahlt. Außerdem konnten die Probanden jederzeit und ohne Angabe von Gründen die Studienteilnahme beenden, ohne dass sich dadurch Nachteile für sie ergaben.

2.3 Versuchsaufbau und -ablauf

Die Probanden absolvierten während des Experiments zwei Versuchsteile. Zum einen wurde eine beidhändige Aufgabe mit dynamischen Anteilen, zum anderen eine eher statische Aufgabe durchgeführt. Beide Teile wurden an einem Pelvitainer (Trainingsgerät zur Anwendung von laparoskopischen Instrumenten, Szabo-Berci-Sackier, KARL STORZ GmbH & Co. KG, Tuttlingen,

Germany) durchgeführt (vgl. Abb. 3). Der Versuchsaufbau, welcher in der blickdichten Pelvitainer-Box installiert war, musste zur Beantwortung der verschiedenen Fragestellungen entsprechend der Teilaufgaben angepasst werden (vgl. Abb. 7 und 8).



Abbildung 3: Versuchsaufbau für Rechtshänder während der dynamischen Aufgabe.

Die Positionierung des Pelvitainers auf dem verwendeten Versuchstisch wurde an die Abmessungen der Patienten in einem gynäkologischen Operationssaal beziehungsweise an die Abstände der Operationszugänge zur Operationstischkante angepasst.

2.3.1 Stand- und Monitorposition

Die Standposition der Probanden ergab sich aus den Erhebungen während einer Gebärmutterentfernung (Hysterektomie) in einem lokalen gynäkologischen Operationssaal. Die Probanden hatten eine Position seitlich des Pelvitainers einzunehmen („Torero Position“ vgl. Abb. 3) und ihren Blick zum Monitor zu richten, welcher sich in Verlängerung etwa 80 cm entfernt vom

Probanden befand. Die Monitorhöhe wurde individuell angepasst, um eine abwärts gerichtete Blickrichtung von etwa 10 Grad zu erreichen. Hierdurch sollte vermieden werden, dass dieser Aspekt selektive Einflüsse auf die Körperhaltung der Probanden hatte. Die Vorgehensweise bezüglich Monitorhöhe entsprach den ergonomischen Empfehlungen zur Entlastung des Nacken- und Schulterbereichs von Van Det (51). Der Monitor und die Lichtquelle waren in einem Produkt der Firma Karl Storz GmbH & Co. KG., Tuttlingen integriert (20043020-020 TELE PACK PAL). An dieses Gerät war eine Kamera (Laparoskop) derselben Firma angeschlossen.

Da bei allen Probanden die dominante Hand untersucht werden sollte, musste der dargestellte Aufbau (vgl. Abb. 3 und 5) bei insgesamt sechs linkshändigen Probanden spiegelverkehrt aufgebaut werden.

2.3.2 Arbeitshöhe

Weiterhin wurde die Arbeitshöhe mittels eines stufenlos höhenverstellbaren Tisches angepasst, da die statische und dynamische Aufgabenbearbeitung sowohl bei individuell niedriger als auch bei hoher Arbeitshöhe durchgeführt werden sollte. Die niedrige Arbeitshöhe wurde nach ergonomischen Empfehlungen (12, 34, 46, 52, 53) festgelegt, während sich die hohe Arbeitshöhe an den Gegebenheiten eines lokalen Operationssaals orientierte.

Die Berechnung der niedrigen Arbeitshöhe erfolgte beim aufrechtstehenden Probanden unter der Annahme eines Ellenbogenwinkels von 105 Grad und einem Winkel von 60 Grad zwischen dem Instrumentenschaft und dem Unterarm. In dieser Position sollte die Instrumentenspitze den Grund der Arbeitsfläche berühren (Berechnung und Vorgehensweise vgl. Abb. 4). Zur individuellen Berechnung war es nötig den Ellenbogen-Boden-Abstand und die Unterarmlänge eines jeden Probanden zu messen.

Bei der Ermittlung der hohen Arbeitshöhe wurde die niedrige Höhe um 15 Prozent des individuellen Ellenbogen-Boden-Abstandes gesteigert.

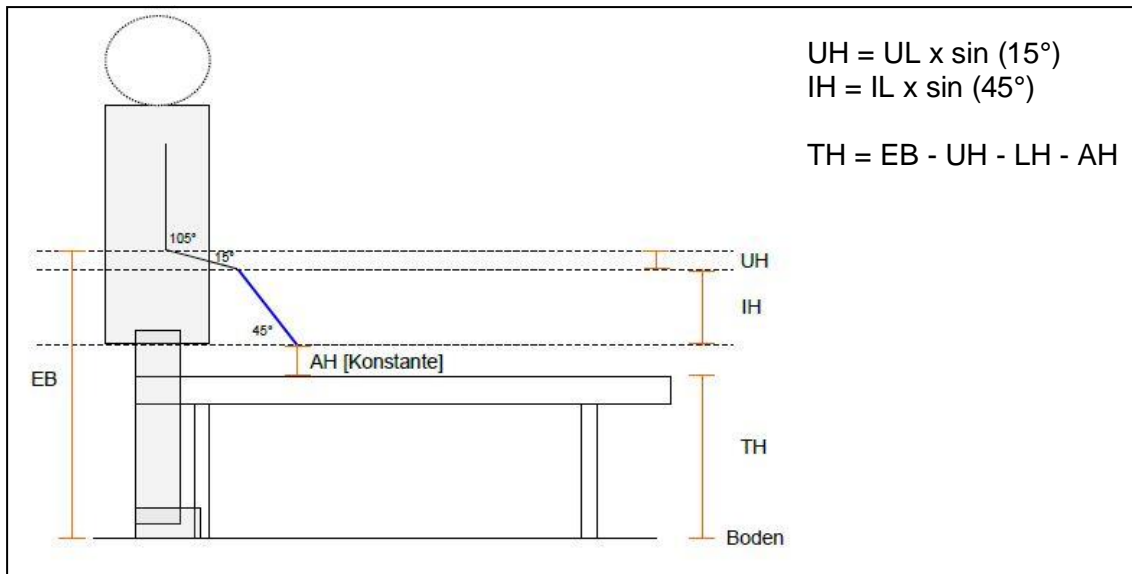


Abbildung 4: Schematische Darstellung zur Berechnung der Tischhöhen.

Gemessen: EB = Ellbogen-Bodenabstand, UL = Unterarmlänge (von Ellbogen bis Handgelenk),
Konstanten: EW = Ellbogenwinkel [Konstante 15°], IL = Instrumentenlänge [Konstante 36,5 cm] (Handgelenk bis Spitze), AH = Arbeitshöhe [Konstante 3 cm] (Abstand Tischplatte bis Operationshöhe), **Berechnet:** UH = Unterarmhöhe, IH = Instrumentenhöhe, TH = Tischhöhe

2.3.3 Zugangswege und Kameraposition

Die Kamera mit einer 30 Grad Optik wurde fest in dieser Pelvitainer-Box installiert und stellte das aufgenommene Bild aus dem Inneren des Pelvitainers auf dem Monitor dar. Entgegen realer Bedingungen wurde die Kamera nicht von einer weiteren Person geführt, sondern zeigte ein statisches Bild. Im Deckel der Box waren zwei Öffnungen, in denen jeweils ein Trokar (Schleuse mit geringem Laufwiderstand für die Instrumente) fixiert war (vgl. Abb. 5). Über diese Zugangswege wurden die Instrumente eingeführt. Die Trokarpositionen waren durch die Konstruktion des Pelvitainers vorgegeben, weshalb eine Annäherung an die realen Bedingungen nur teilweise möglich war.

2.3.4 Griffstücke und Instrumente

Die zwei verwendeten Instrumente in der dominanten Hand waren, abgesehen von den Griffvarianten, vollkommen identisch. Das GS-FIX war in Verlängerung zum Instrumentenschaft arretiert, während sich das GS-ROT senkrecht zum Schaft um 360 Grad stufenlos drehen ließ (beide Varianten entsprechen dem ERGO-Griffstück für BiClamp® E LAP-Zange Art.-Nr. 20195-240, ERBE Elektromedizin GmbH, Tübingen, vgl. Abb. 6).

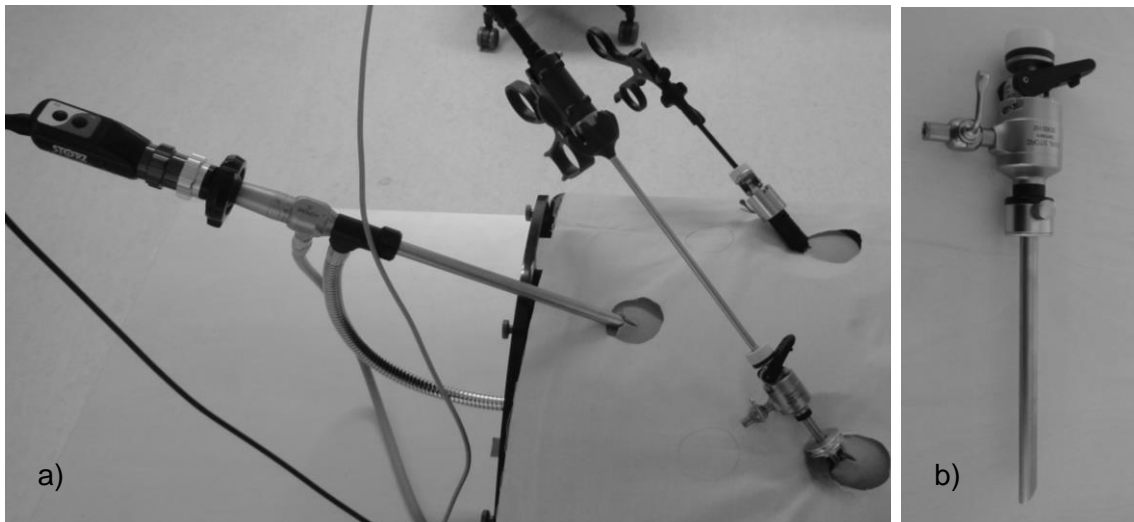


Abbildung 5: a) Kamera und zwei Instrumente über Trokare (b) eingeführt in den Pelvitainer.

Bei der dynamischen Aufgabe wurde in der nicht dominanten Hand ein weiteres, nicht drehbares Instrument verwendet, das in seiner Funktion als laparoskopische Greifzange mit Pistolengriff den anderen Instrumenten entsprach, jedoch von der Firma Karl Storz GmbH & Co. KG., Tuttlingen hergestellt wird (vgl. Abb. 3 und 5).

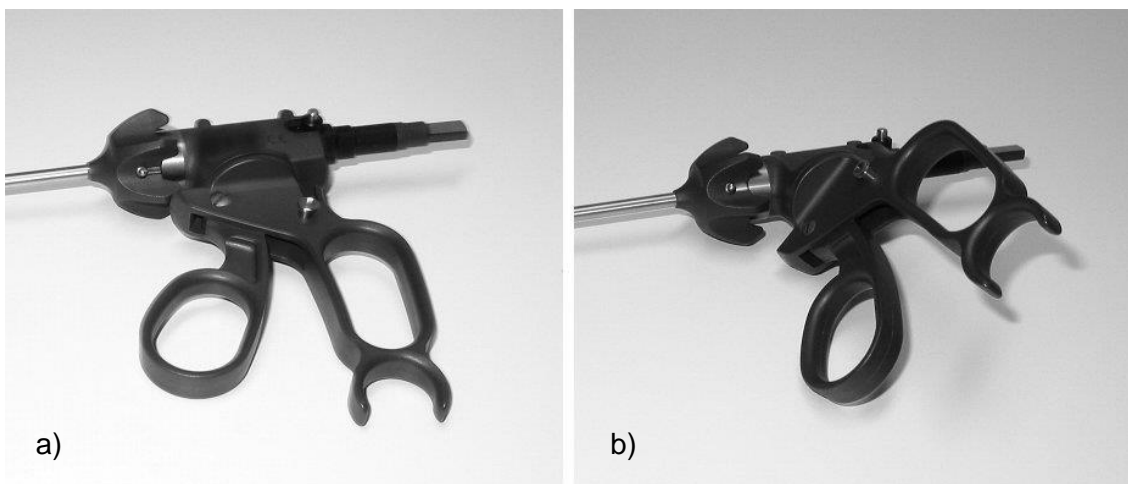


Abbildung 6: Laparoskopische Instrumentengriffe. a) GS-FIX, b) GS-ROT (48).

2.3.5 Übungsphase

Vor Beginn der Versuche wurde mit den Probanden eine Eingewöhnungsphase von etwa 24 Minuten durchgeführt. Bei der niedrigen Arbeitshöhe wurde die

Anwendung der beiden Griffvarianten für beide Versuchsaufbauten getestet. Zuvor bekamen die Probanden eine kurze Einweisung zu den Funktionen der Instrumente und es wurden die Versuchsaufgaben vorgestellt. Die weitere Anwendung der Instrumente musste jedoch selbstständig erarbeitet werden.

2.3.6 Randomisierung

Die Griffreihenfolge und die Abfolge der Arbeitshöhen wurden randomisiert, um deren Einflussnahme auf die Ergebnisse zu vermeiden. Aus den zwei Arbeitshöhen und den zwei Griffstücken ergaben sich vier Kombinationsmöglichkeiten. Diese vier Sequenzen wurden jeweils für beide Aufgaben durchgeführt. Der Instrumenten-/Griffwechsel erfolgte nach jeder Sequenz, während die Arbeitshöhe immer nach zwei Sequenzen verändert wurde (vgl. Abb. 2). Die Reihenfolge der beiden Aufgaben war bei jedem Probanden identisch.

2.3.7 Aufgaben

Die erste Aufgabe bestand darin, innerhalb von 30 Sekunden einen kleinen Metallzylinder mit der Zange an der Spitze des laparoskopischen Instruments zu greifen und bei Erfolg diesen bis zum Ende der Zeit festzuhalten. Die Aufgabe wurde mit einer Hand ausgeführt, während die andere Hand seitlich am Körper hängen gelassen wurde. Jeweils ein Metallzylinder von 5 mm Länge und 2 mm Durchmesser befand sich in jeweils einem der vier Quadranten (vgl. Abb. 7). Die Positionierung der Quadranten orientierte sich am Bewegungsumfang/-spektrum von laparoskopischen gynäkologischen Operationen.

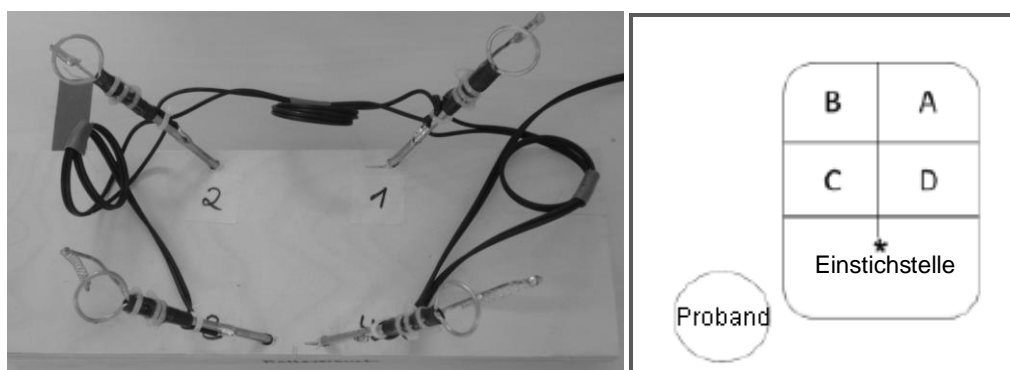


Abbildung 7: Aufbau statische Aufgabe. Rechts: schematische Darstellung der Quadranten (49).

Um den Zylinder herum, welcher an einer Feder aufgehängt war, befand sich ein Metallring von zwei Zentimetern Durchmesser. Dieser Ring sollte vom Probanden nicht mit dem Instrument berührt werden. Wurde der Ring doch berührt, ertönte ein Fehlersignal für die Dauer der Berührung. Über die Dauer der Aufgabe wurde die Fehleranzahl vom Untersucher erfasst. Der Versuchsaufbau führte so zu einer Versuchssituation, welche in Anlehnung an eine reale Operation, die gewünscht hohe Präzision und Aufmerksamkeit erforderte. Weiterhin wurde durch die statischen Anteile eine relativ konstante Belastung erreicht.

Die Aufgabe wurde in jeder Bedingung (Sequenz) durchgeführt. Auf eine Randomisierung wurde bei der Reihenfolge der Quadranten A bis D verzichtet, da nach jedem Quadranten 10 Sekunden und nach jeder Sequenz zusätzlich 30 Sekunden Pause eingehalten wurde. Während den Pausen musste das Instrument komplett abgelegt und der Arm vollständig entlastet werden. In Vorversuchen erschien dieses Vorgehen als ausreichend, um eine muskuläre Ermüdung in der Abfolge einer Sequenz zu verhindern.

Als zweite Aufgabe, mit mehr dynamischen Anteilen, wurde eine Übung des Ausbildungsprogramms der Europäischen Akademie für operative Gynäkologie verwendet (54). Die Probanden hatten hierbei mit beiden Händen zu arbeiten. Das Instrument in der nicht dominanten Hand hatte in einer vorbestimmten Reihenfolge insgesamt sechs verschiedenfarbige Pins (vgl. Abb. 8) aufzunehmen und mit der dünnen Seite an das Instrument in der dominanten Hand zu übergeben.

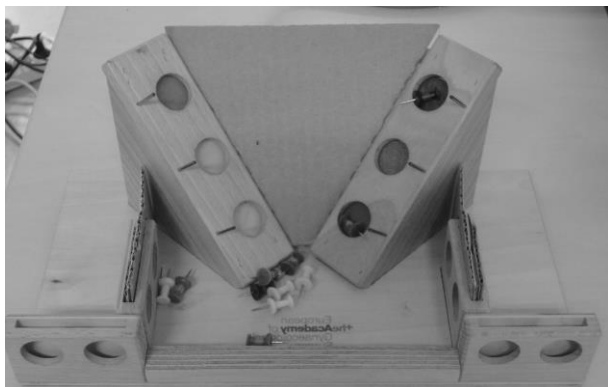


Abbildung 8: Aufbau dynamische Aufgabe.

Im Folgenden wurden die Pins von der dominanten Hand in den entsprechend farblich markierten Flächen abgelegt. Für das Ablegen der sechs Pins hatten die Probanden drei Minuten Zeit. Bei frühzeitigem Erfolg wurde die benötigte Zeit gestoppt. Reichten drei Minuten nicht aus, wurde die Anzahl der bis dahin abgelegten Pins vom Untersucher dokumentiert. Die Aufgabe musste insgesamt viermal für jede Sequenz wiederholt werden.

2.3.8 Finanzierung

Das Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung ermöglichte die Umsetzung der Studie. Alle Experimente sowie die Auswertung wurden in den Räumlichkeiten des Instituts durchgeführt. Außerdem wurde die Durchführung von Mitarbeitern des Instituts unterstützt beziehungsweise supervidiert. An dieser Stelle wird auf die institutionelle Förderung des Instituts durch den Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e.V. (Südwestmetall) verwiesen.

Sachmittel in Form der untersuchten Instrumente sowie eine einmalige Zahlung zur Kostendeckung zum Beispiel für Materialien und Probandenaufwandsentschädigungen wurden von der Firma ERBE Elektromedizin GmbH eingebracht. Die Idee zur Studie sowie das Studiendesign erfolgte durch Wissenschaftler des Instituts für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen und der Universitätsfrauenklinik Tübingen. Zudem war die Durchführung völlig ergebnisoffen und unabhängig, das heißt ohne Beteiligung von Firmenmitarbeitern.

Weitere Sach- und Geldmittel wurden durch die Universitätsfrauenklinik Tübingen zur Verfügung gestellt und in enger Zusammenarbeit mit dieser die Planung und Durchführung der Studie umgesetzt. Alle finanziellen Mittel wurden ausschließlich zur Finanzierung der Studie verwendet. Für deren Durchführung erfolgte keine Bezahlung im Sinne von Auftragsforschung.

2.4 Untersuchte Variablen

2.4.1 Oberflächen-Elektromyographie (oEMG)

Unter der Oberflächen-Elektromyografie versteht man die Ableitung und grafische Darstellung von Aktionspotentialen eines Muskels. Abgeleitet wird das Signal mittels auf der Haut aufgebrachter Elektroden. Das Rohsignal als gemessene Summation von Aktionspotentialen (mittlere Amplitude) wird nach Filterung und Digitalisierung auch als elektromyographische Aktivität (EA) bezeichnet. Diese Erregung des Muskels korreliert weitgehend mit der aufgebrauchten Kraft eines Muskels und entsprechend auch dessen Beanspruchung. Die Amplitude und Frequenz der EA steigt mit zunehmender aufgebrauchter Kraft, da mehr motorische Einheiten rekrutiert werden müssen. Auch während der Ermüdung der Muskulatur nimmt die EA bei gleichbleibender Kraftanforderung zu, während die Frequenz abnimmt, da die benötigte zunehmende Rekrutierung motorischer Einheiten synchronisiert wird. Entsprechend haben Muskeln mit großen motorischen Einheiten im Vergleich zu Muskeln mit vielen kleinen motorischen Einheiten eine niedrigere Aktivierungsfrequenz (55).

Als Messinstrument wurde in dieser Studie das PS11 von THUMEDI (Thum-Jahnsbach, Deutschland) verwendet. Während der Messung wurde das Gerät mit einem Gürtel um die Hüfte des Probanden mittig über dem Gesäß angebracht. Die Verbindung zu den bipolaren Elektroden stellten Kabel her, welche mittels Klebebands so am Körper angebracht werden mussten, dass ein normales Bewegungsverhalten der Probanden möglich war. Die Fixierung sollte Bewegungsartefakte verhindern, indem Erschütterungen und Zug an den Kabeln vermieden wurde.

Die Auswahl der Muskeln zur Ableitung der elektrischen Aktivität fiel, in Anlehnung an ähnliche Studien, auf die in diesen Studien jeweils als relevant und geeignet beurteilten Muskeln. Es wurden die beiden Seiten der absteigenden Anteile des M. Trapezius (TRAPdom, TRAPnon-dom) und die Muskeln des dominanten Armes: M. deltoideus pars acromialis (DELTA), M. biceps brachii (BIC), M. extensor digitorum (EXT) und M. flexor carpi radialis (FLEX) untersucht.

Die selbstklebenden Elektrodenpaare (silber/silber chlorid, Ag/AgCl) mit einem Abnahmebereich von 15 mm Durchmesser wurden dem Muskelfaserverlauf folgend in einem Abstand von 25 mm auf den Muskelbauch geklebt. Die genaue Lokalisation der Elektroden wurde nach entsprechender Systematik der internationalen Standards (SENIAM 5, 1997) gewählt (56). Um den Hautwiderstand zu minimieren und Störsignale zu reduzieren, wurde vor dem Anbringen der Elektroden die jeweilige Hautstelle mit einem abrasiven Gel (nurpreb®) gereinigt und bei ausgeprägter Körperbehaarung zuvor auch rasiert. Mittels Bluetooth-Verbindung konnten die Messwerte kontinuierlich auf einem Notebook visualisiert und auf Plausibilität geprüft werden. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte über ein SD-Speichermedium im Messgerät selbst. Um störende elektrische Signale des Herzmuskels mittels softwarebasierter Algorithmen herauszufiltern, wurden ergänzend zwei bipolare EKG-Elektroden angebracht. Weiterhin wurde eine Erdungselektrode auf dem siebten Halswirbel platziert.

2.4.1.1 Digitalisierung und Filterung

Für die Aufnahme der oEMG-Rohdaten wurde eine Abtastfrequenz von 2048 Hz verwendet. Mittels der Hoch-/Tiefpassfilterung (16Hz, 650Hz, 11. Ordnung) und der Differenzverstärkung wurden Störsignale reduziert. Angepasst wurde dies über die Einstellung des Filterspektrums des Analog-Digital-Wandlers, der das oEMG-Rohsignal erfasste. Bei der Differenzverstärkung wurde der Signalunterschied zwischen den beiden Muskelelektroden verstärkt, um den störenden Einfluss von peripheren Signalen zu minimieren. Diese peripheren Signale wurden durch die größere Entfernung an beiden Elektroden annähernd gleich stark detektiert und konnten so identifiziert und minimiert werden. Im Folgenden wurde eine Fast Fourier Transformation (1024 FFT-Punkte, Bartlett-Fenster mit 50% Überlappung) durchgeführt und die EA als „root mean square“ des Frequenz-Amplituden-Spektrums berechnet. Gespeichert wurden sowohl die digitalen Kennwerte als auch die Rohdaten (48, 49, 55).

2.4.1.2 Normalisierung

Da das oEMG einer hohen inter- und intraindividuellen Variabilität unterliegt, sind die erhaltenen Daten in dieser Form individuelle Beanspruchungswerte.

Durch anatomische und physiologische Unterschiede ergeben sich bei gleicher Belastung keine interindividuell vergleichbaren Werte der EA.

Um die Daten trotzdem vergleichen zu können und als Beanspruchungsmaß für die Belastung der jeweiligen Muskulatur anwenden zu können, war es zwingend notwendig, eine Normalisierung der Daten durchzuführen (vergleichbare Begrifflichkeiten: Kalibrierung, Normierung, Standardisierung). Das heißt, es wurde ein Bezug zu einer individuellen Referenzbeanspruchung hergestellt (55). Hierzu wurde für jeden Probanden die elektrische Aktivität während einer spezifischen Beanspruchung für die jeweils untersuchte Muskulatur gemessen. Der Bezug zu diesen Referenzbeanspruchungen (RVE; reference voluntary electrical activation) war im vorliegenden Fall besser geeignet als die ebenfalls häufig verwendete Relation zur maximalen willkürlichen Kontraktion (MVC). Die RVE wird weniger von den interindividuellen Effekten wie der Motivation, dem Geschlecht oder der bereits stattgefundenen Vorbelastung beeinflusst (57).

Zur Bestimmung der oEMG-Referenzsignale mussten die Probanden im Rahmen des Normalisierungsvorgangs 2kg-Hanteln für die Dauer von einer Minute in vorgegebenen Positionen halten. Die Probanden nahmen hierbei verschiedene standardisierte Haltungen ein. Die Standposition der Probanden war ein aufrechter Stand mit paralleler Fußposition. Für die Messung des TRAP und des DELT hatten die Probanden beide Arme horizontal gestreckt in der Skapula-Ebene zu halten. In ihren Händen hielten sie dabei jeweils zwei Kilogramm (58). Bei der Bestimmung des BIC-, EXT- und FLEX-Referenzsignals wurde immer dieselbe Grundposition verwendet. Die Probanden hatten mit hängenden Oberarmen und horizontalen Unterarmen, einen Ellbogenwinkel von 90 Grad einzunehmen. Der Unterschied in der Bestimmung des jeweiligen Referenzsignals lag nur in der Platzierung der Hanteln. Für den BIC war die Hantel vertikal in der geschlossenen Faust zu halten (vgl. Abb. 9), während sie für die EXT und FLEX auf der flachen Hand lag. Einmal in pronierter (EXT) und das andere Mal in supinierter Handstellung (FLEX) distal der Metacarpophalangealgelenke.



Abbildung 9: Position zur oEMG-Normalisierungsmessung des M. biceps brachii.

Um eine Verfälschung der Referenzmessungen durch Ermüdungserscheinungen auszuschließen, wurde nach jeder Position eine Ruhepause von mindestens 60 Sekunden eingehalten. Da bei Auswertung der Daten aber bereits während dieser einen Minute, in der die Probanden in der Referenzposition verharrten, Ermüdungsanzeichen in den oEMG-Daten zu erkennen waren, wurde als Referenzwert zur Bestimmung des Normalisierten oEMG nur der Median der ersten zehn Sekunden der entsprechenden Aufzeichnung verwendet.

2.4.2 Oberarm- und Handgelenkwinkel

Ein gravimetrischer Sensor (Auflösung = 0,1 Grad und 125 Millisekunden, maximaler statischer Fehler = 0,5 Grad, THUMEDI, Thum-Jahnsbach, Deutschland) ermöglichte die Aufzeichnung der Oberarmstellung des dominanten Armes. Der Sensor wurde am mittleren, lateralen Oberarm mittels doppelseitigen Klebebandes angebracht (vgl. Abb. 9) und konnte nach einer Kalibrierung jede Abweichung vom Lot aufzeichnen. Zur Kalibrierung hatten die Probanden eine aufrechtstehende Position mit entspannt hängenden Armen

sowie zu den Oberschenkeln gerichtete Handflächen einzunehmen. Diese Position entsprach der Neutralstellung (= 0 Grad). Ausgehend davon konnten Ante- und Retroversion sowie Ab- und Adduktion des Oberarms bestimmt werden.

Zur Analyse der Handgelenksstellung wurde ein Zweiachsen-Goniometer mit Dehnungssensor (strain gauge sensor; Auflösung = 0,5 Grad, maximaler Fehler = 2 Grad, SG-Serie Biometrics, UK, (59)) verwendet, welches handgelenksübergreifend an der dorsalen Seite angebracht wurde (vgl. Abb. 10). Zur Anbringung des Sensors wurde die flache Hand in direkter Verlängerung zum Unterarm mit der Handkante senkrecht auf die Tischoberfläche gelegt. Mit doppelseitigem Klebeband und zusätzlichen Fixomull-Streifen (Fixomull®) wurde bei neutraler Handgelenksposition das distale Glied über den Mittelhandknochen und das proximale Glied am dorsalen Unterarm fixiert.

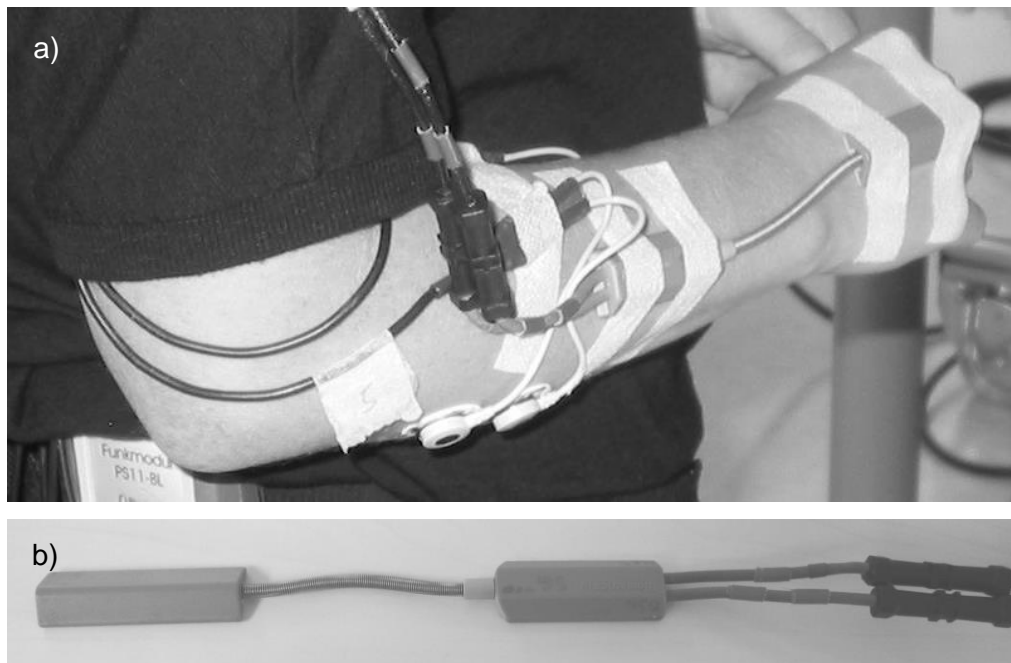


Abbildung 10: a) Fixierter Dehnungssensor am Handgelenk, fixierte oEMG-Elektroden am Unterarm. b) Dehnungssensor (strain gauge sensor; SG-Serie, Biometrics, UK).

Mit zwei separaten Anschlüssen lässt das Goniometer die Aufzeichnung von zwei Achsen zu. Am Handgelenk entspricht dies palmaren/dorsalen und

radialen/ulnaren Abweichungen. Ausgehend von der Neutralstellung (0 Grad) zeigten positive Werte eine Palmarflexion und negative eine Dorsalextension an. Die Ulnar- und Radialdeviation wurde nicht bestimmt, da der verwendete Winkelsensor in Vorversuchen eine nur unzureichende Messqualität/-genauigkeit aufwies. Beide Sensoren waren mit dem PS11 gekoppelt und zeichneten kontinuierlich die aktuellen Winkel parallel zu den oEMG-Daten auf.

2.4.3 Arbeitsleistung und Präzision

Als Maß für die Arbeitspräzision und Arbeitsleistung wurden verschiedene Kriterien herangezogen. Bei der dynamischen Aufgabe wurde für jede Sequenz der Median aus der Summe aller korrekt abgelegten Pins bzw. der aufsummierten benötigten Zeit verwendet. Pro Sequenz wurde die Aufgabe viermal wiederholt, wobei die Probanden stets drei Minuten Zeit hatten, die sechs Pins abzulegen. War die Zeit abgelaufen, wurde die Anzahl der Pins dokumentiert, die bis dahin abgelegt waren. Konnten vor Ablauf der drei Minuten alle Pins abgelegt werden, wurde die bis dahin benötigte Zeit gestoppt. Hierbei wurde nur die Arbeitsleistung direkt beurteilt, die aber indirekt durch die Arbeitspräzision beeinflusst wird.

Wohingegen bei der statischen Aufgabe die Präzision direkt über die Fehleranzahl beurteilt werden konnte. Jede Berührung zwischen dem laparoskopischen Greifwerkzeug und den Zylinder umgebenden Ring wurde als Fehler dokumentiert. Fand eine Berührung statt, wurde ein akustisches Signal ausgelöst, welches durch den Versuchsleiter notiert und dem jeweiligen Quadranten zugeordnet wurde.

2.4.4 Subjektive Bewertung

Die Erhebung der subjektiven Daten begrenzte sich auf die zweite, die dynamische Aufgabe. Es wurde nach jeder Sequenz (vier Durchgänge mit demselben Griffstück und derselben Arbeitshöhe) nach entstandenen Missempfindungen gefragt. Außerdem wurde eine schriftliche Befragung zu dem jeweilig verwendeten Griffstück durchgeführt. Hierbei mussten die Probanden in Form einer fünfstufigen Skala (monopolar, Likert-Typ) zu insgesamt 11 Aussagen hinsichtlich Handhabung, Präzision und Aspekten der

Körperhaltung Stellung beziehen (vgl. Anhang, 11.1 CRF). Von „stimme überhaupt nicht zu“ bis „stimme voll und ganz zu“ mussten zum Beispiel folgende Aussagen bewertet werden:

„Das Instrument ist einfach zu bedienen.“

„Ich konnte mit dem Instrument präzise (zielgenau) arbeiten.“

„Die Arbeitshaltung (Körperhaltung) war angenehm.“

Bei dieser Form der Befragung wird jedes Griffstück eigenständig bewertet und ein Vergleich der Griffstücke findet erst mit der Auswertung der Daten statt. Dieses Vorgehen wird als monadischer Test (Einzeltest) bezeichnet.

Nach Beendigung der Versuche wurde zusätzlich ein direkter Vergleich der beiden Instrumentengriffe anhand einer 7-stufigen Skala (bipolar, Likert-Typ) durchgeführt. Bei diesem direkten Vergleichstest (nicht-monadischer Test) waren fünf Aussagen zu Handhabung, Präzision und Aspekten der Körperhaltung zu beurteilen (vgl. Anhang, 11.1 CRF).

Im Anschluss hatten die Probanden die Möglichkeit zu notieren was ihnen Positives und Negatives an den beiden Griffen aufgefallen war. Abschließend sollte die Frage beantwortet werden, welcher Instrumentengriff insgesamt betrachtet, bevorzugt werden würde.

2.5 Ergänzende Daten

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Durchführung der Studie war die Händigkeit der Probanden, da diese bei Linkshändern Umbaumaßnahmen am Versuchsaufbau nötig machte. Weiterhin wurden neben der Erhebung von Alter, Gewicht und Körpergröße auch die aktuellen und bisherigen beruflichen Tätigkeiten, der Umfang der sportlichen Aktivität sowie Beschwerden am Stütz- und Bewegungsapparat erfasst. Dokumentiert wurden die Daten mit Hilfe des Nordischen Fragebogens (60) (vgl. Anhang, 11.2 Nordischer Fragebogen). Im Rahmen der körperlichen Untersuchung zur Identifizierung von Bewegungseinschränkungen musste außerdem die Unterarmlänge, der Ellenbogen-Boden-Abstand und der Augen-Boden-Abstand zur individuellen Ausrichtung von Monitor und Arbeitshöhe gemessen werden.

2.5.1 Überwachung

Um Unstimmigkeiten bei der Aufbereitung der erhobenen Daten besser einordnen zu können, wurde mittels einer Webkamera alle zwei Sekunden ein Bild von der Arm-Rumpf-Partie des Probanden aufgenommen und zeitlich mit dem oEMG und den Handgelenks-/Armwinkeln synchronisiert. Während des gesamten Versuchs war ein Versuchsleiter zur Vorbereitung, Steuerung und Überwachung des Ablaufs sowie zur Dokumentation der erhobenen Daten anwesend. Er hatte außerdem am Notebook Marker zur exakten Abgrenzung der Messphasen zu setzen. Diese Marker waren ebenfalls mit den Aufzeichnungen sowie den aufgenommenen Bildern verknüpft.

2.6 Datenaufbereitung und Auswertung

Die Zuordnung der Messphasen in den Datensätzen erfolgte nicht automatisiert über die gesetzten Marker, sondern wurde für jeden Probanden und jede Messphase visuell am Bildschirm festgelegt. Die Marker und die Bildaufnahmen dienten in diesem Zusammenhang als Orientierungspunkte. Für diese Arbeit wurde die Software Sabcom (programmiert durch Dipl. Ing. Robert Seibt, Mitarbeiter des Instituts für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung Tübingen) verwendet. Nach vollständiger Phasenzuordnung sowohl für die Messdaten der Aufgabenteile als auch der Messdaten zur Bestimmung der Referenzwerte, konnte die muskelspezifische Normalisierung durchgeführt werden. Hierzu wurden über Sabcom alle Messphasen den Muskeln entsprechend durch deren Referenz-Signal dividiert. Dadurch konnte die Beanspruchung als prozentualer Anteil der Referenzbeanspruchung ausgegeben werden.

Auch die Hand- und Armwinkel der entsprechenden Phasen wurden zur weiteren Bearbeitung exportiert.

2.7 Statistik

Die Datenanalyse wurde mit den beiden Programme JMP Version 10.0 (SAS) und SPSS Version 23 (IBM) durchgeführt. Eine Normalverteilung der Daten war nur teilweise vorhanden und wurde graphisch mittels Box-Plots, Normal-Quantil-Plots und Schiefe sowie Kurtosis überprüft. Die gemessene elektrische Aktivität zeigte gehäuft niedrige Werte, was eine Linksverschiebung der

Verteilung zur Folge hatte. Für die Armhaltung und die Handgelenkwinkel konnte hingegen eine Normalverteilung festgestellt werden. Bei der Arbeitspräzision, die für die dynamische Aufgabe mit Hilfe der abgelegten Pins und der benötigten Zeit beurteilt werden sollte, war eine Rechtsverschiebung festzustellen. Für die oEMG-Daten im Rahmen der statischen Aufgabe wurden die Ergebnisse logarithmiert (\log_{10}), um eine Normalverteilung zu erreichen. So konnte im Folgenden ein gemischtes Model (linear mixed models) durchgeführt werden (48, 49).

Für beide Aufgabenteile wurde eine Datenanalyse mittels deskriptiver Statistik gemacht. Die Daten wurden als Häufigkeitsverteilungen mittels Balkendiagrammen, oder Box-Plots mit Median, 25. Perzentile, 75. Perzentile und den entsprechenden Quantilen dargestellt. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf einen α -Wert von 0,05 festgelegt.

Zur Testung auf signifikante Zusammenhänge wurde für die dynamische Aufgabe ein nicht-parametrischer Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Es sollten hier die primären Variablen auf Unterschiede zwischen den vier Sequenzen getestet werden. Für den Post-hoc-Vergleich der Paare wurde der Dunn-Test verwendet (48, 49).

Bei der statischen Aufgabe wurden wie schon erwähnt mittels eines gemischten Models die Faktoren Griffstück, Arbeitshöhe und Quadrant sowie deren Interaktion auf die abhängigen Variablen geprüft. Es wurden somit Hauptwirkungen, Zweifach- und Dreifachinteraktionen untersucht. Der Sidak-Test wurde zum Vergleich der vier Quadranten als Post-hoc-Vergleich durchgeführt. Bei 64 relevanten Tests war auch nach der Bonferroni-Korrektur mit einem p-Wert von $p < .0008$ weiterhin eine Signifikanz festzustellen. Zeiteffekte waren in keinem Zusammenhang relevant und wurden nicht weiter berücksichtigt (48, 49).

Die Fragebögen wurden mit Excel (Microsoft) ausgewertet. Die Häufigkeitsverteilung der jeweiligen Antwortmöglichkeiten wurde gelistet und in Prozent angegeben. Zur graphischen Darstellung der relativen Verteilung wurde ein gestapeltes Balkendiagramm verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Probanden

Insgesamt 59 Probanden beteiligten sich an der Studie, darunter 30 Frauen und 29 Männer. Die Probanden waren im Mittel 26 Jahre alt (20-56), hatten eine durchschnittliche Größe von 175 cm (Standardabweichung/SD 9 cm) und wiesen einen Body-Mass-Index (BMI) von 23 kg/m² (SD 3) auf. 49 Probanden waren Rechtshänder und sechs Probanden bedienten das Instrument mit der linken Hand. Zwei Probanden gaben eine Beidhändigkeit an. Einige Probanden gaben im Nordischen Fragebogen an, in den vergangenen sieben Tagen muskuloskelettale Beschwerden gehabt zu haben. Der Hauptfokus lag hier auf dem Nacken, hier gaben zehn Probanden Beschwerden an. Von 59 Probanden mussten zwei männliche Probanden aus der Studie ausgeschlossen werden, so dass letztlich 57 Probanden in die Studie eingeschlossen werden konnten. Einer der Probanden gab während des Versuchs Schmerzen im Bereich der Schulter an, sechs Monate zuvor war er an dieser Schulter operiert worden. In den Voruntersuchungen hatten sich weder Bewegungseinschränkungen noch Schmerzen gezeigt. Da diese aber während der Versuche auftraten, mussten die Messungen mit diesem Probanden beendet werden. Ebenfalls musste ein Proband die Messreihe abbrechen, nachdem er Schwindel und Übelkeit verspürte. Die Probleme waren rückblickend auf eine Blutspende kurz vor Beginn der Versuche zurückzuführen. Ein Überblick über die Studienteilnehmer findet sich in der folgenden Tabelle 1.

Tabelle 1: Daten Studienpopulation (48).

Geschlecht	Alter [j]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI [kg/m ²]	Händigkeit [n]
m: 27 w: 30	Median: 26 (R: 20 - 56)	Mittelwert: 71 SD: 11	Mittelwert: 175 SD: 9	Mittelwert: 23 SD: 3	rechtshändig: 49 linkshändig: 6 beidhändig: 2
Muskuloskelettale Beschwerden in den vergangenen 7 Tagen [n]					
Nacken: 10		Unterer Rücken: 5			
Schulter: 4		Ellenbogen: 0			
Oberer Rücken: 2		Handgelenk: 0			

SD=Standard Deviation; R=Range; BMI=Body Mass Index; m=männlich; w=weiblich (48).

Weiterhin wurden Daten zur Handgelenksstellung eines Probanden von der Auswertung ausgeschlossen, da durchgängig unveränderte Handgelenkwinkel gemessen wurden. Nach der Kontrolle der Daten und Bildaufnahmen konnte von einem Ausfall der Messtechnik ausgegangen werden.

Wie im Einleitungsteil beschrieben, wurden zu den beiden Versuchsteilen bereits zwei Artikel publiziert. Daraus folgt, dass auch ein Großteil der im Folgenden vorgestellten Ergebnisse schon in den beiden veröffentlichten Artikeln unter Mitwirkung und Co-Autorenschaft des Doktoranden enthalten sind (48, 49).

3.2 Oberflächen-Elektromyographie

Zur Darstellung der Ergebnisse wurde die nEA (normalisierte Elektrische Aktivität) verwendet. Dies bedeutet, dass eine nEA von 0,3 einer Beanspruchung von 30 Prozent der jeweiligen Referenzbeanspruchung entspricht.

Die Zahlenwerte in den Tabellen und Diagrammen ergaben sich aus der Anzahl von n=57 Probanden, deren durchschnittliche nEA (Median) über vier Durchgänge in jeder Sequenz und Aufgabenphase ermittelt wurde. Zur Ergebnisdarstellung wurden die Daten aufgrund der schiefen Verteilung bei der statischen Aufgabe zusätzlich logarithmiert.

Bei der **statischen Aufgabe** wurden die Effekte auf die nEA durch die Variablen Griffstück, Arbeitshöhe und Quadranten (Arbeitsrichtung) untersucht. Vergleicht man deren Einfluss auf die Muskelaktivität im Schulterbereich (TRAP/DELTA, vgl. Tab. 2c), so ist für die Variable Griffstück kein signifikanter Einfluss zu erkennen. Dies gilt sowohl für die niedrige (vgl. Tab. 2c) als auch für die hohe Arbeitshöhe (vgl. Tab. 2d). Auch nach Aufschlüsselung in die einzelnen Quadranten gibt es keine großen Unterschiede zwischen den Griffvarianten. Nur im Quadrant D (für TRAP) bzw. A (für DELTA) gibt es bei niedriger Arbeitshöhe einen tendenziellen Vorteil des GS-ROT (87%/85%). Das Verhältnis der beiden Griffvarianten GS-ROT zu GS-FIX (nach Rücktransformation) ist in Prozent angegeben. Bei einer Zahl kleiner als 100 bedeutet dies eine Reduktion der Beanspruchung durch

das GS-ROT. Bei größeren Werten verhält es sich entsprechend umgekehrt. Bestimmt man die durchschnittlichen Prozentwerte über alle vier Quadranten, ist für den TRAP sowohl bei niedriger (97,5%) als auch bei hoher Arbeitshöhe (98,25%) und beim DELT mit 99,25 Prozent beziehungsweise 100,4 Prozent gewissermaßen kein Unterschied zwischen den Griffstücken festzustellen (49, vgl. Tab. 2).

Tabelle 2: Normalisierte und log-transformierte elektrische Aktivität der Arm- und Schultermuskulatur für jede Aufgabenbedingung (49).

Region	Muskel	Quadrant	Tiefe Arbeitshöhe					Hohe Arbeitshöhe				
			GS-FIX		GS-ROT		Relation (GS-ROT / GS-FIX [%]) nach Rücktransformation	GS-ROT		GS-FIX		Relation (GS-ROT / GS-FIX [%]) nach Rücktransformation
			M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	
Arm nEA [log10(1)]	BIC	A	-0.52	0.35	-0.55	0.30	93	-0.46	0.28	-0.50	0.33	91
		B	-0.33	0.21	-0.40	0.26	85	-0.23	0.24	-0.37	0.32	74
		C	-0.27	0.22	-0.30	0.26	91	-0.18	0.25	-0.27	0.31	81
		D	-0.36	0.22	-0.53	0.33	68	-0.29	0.26	-0.40	0.35	78
	FLEX	A	-0.41	0.41	-0.44	0.34	93	-0.48	0.37	-0.48	0.35	100
		B	-0.31	0.36	-0.38	0.31	85	-0.39	0.34	-0.42	0.36	95
		C	-0.33	0.31	-0.51	0.38	66	-0.32	0.35	-0.41	0.36	81
		D	-0.56	0.38	-0.58	0.36	95	-0.49	0.35	-0.50	0.40	98
	EXT	A	-0.26	0.26	-0.28	0.23	95	-0.25	0.23	-0.26	0.27	98
		B	-0.22	0.26	-0.30	0.27	83	-0.24	0.30	-0.23	0.30	102
		C	-0.27	0.31	-0.31	0.27	91	-0.26	0.33	-0.27	0.28	95
		D	-0.36	0.24	-0.34	0.29	105	-0.25	0.29	-0.29	0.28	91
Schulter nEA [log10(1)]	TRAP	A	-1.23	0.06	-1.20	0.06	107	-0.79	0.05	-0.77	0.04	105
		B	-0.77	0.05	-0.79	0.04	98	-0.48	0.03	-0.48	0.03	100
		C	-0.55	0.03	-0.56	0.04	98	-0.34	0.02	-0.36	0.03	95
		D	-0.75	0.04	-0.81	0.05	87	-0.45	0.02	-0.47	0.03	93
	DELT	A	-1.29	0.41	-1.37	0.41	85	-1.35	0.05	-1.33	0.05	105
		B	-1.06	0.36	-1.00	0.31	112	-0.98	0.05	-0.94	0.05	110
		C	-0.80	0.34	-0.80	0.36	100	-0.66	0.04	-0.68	0.04	95
		D	-1.27	0.39	-1.23	0.36	107	-1.06	0.05	-1.06	0.04	100

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück, nEA: normalisierte elektrische Aktivität, TRAP: M. trapezius pars descendens of the dominant arm, DELT: M. deltoideus pars acromialis (dominanter Arm), BIC: M. biceps brachii (dominanter Arm), EXT: M. extensor digitorum (dominanter Arm), FLEX: M. flexor carpi radialis (dominanter Arm), M: Mittelwert; SD: Standardabweichung (49).

Anders stellt sich dies für die eigenständige Betrachtung der Variablen Arbeitshöhe und Quadrant dar. Hier können signifikante Unterschiede auf die muskuläre Beanspruchung von TRAP und DELT festgestellt werden. In beiden Fällen ist eine Zunahme der Beanspruchung bei höherer Arbeitshöhe zu erkennen (höhere Negativwerte sind mit einer höheren Beanspruchung gleichzusetzen) (vgl. Tab. 2c/d). Auch in den einzelnen Quadranten sind unterschiedliche Beanspruchungsniveaus zu erkennen. Statistisch signifikante Unterschiede sind für TRAP und DELT vorhanden. Die höchsten Werte wurden für beide Muskeln (TRAP/DELT) im Quadranten C gefunden (49, vgl. Tab. 2c/d).

Im zweiten Teil der Messungen ging es darum, die Beeinflussung der Beanspruchung durch die Variablen Griffstück und Arbeitshöhe während einer **dynamischen Aufgabe** zu beurteilen. Eine Differenzierung hinsichtlich Quadranten war hier nicht vorhanden. Diese Aufgabe wurde in zentraler Arbeitsposition ausgeführt. In Abbildung 11 wird die Beanspruchung der Muskeln TRAP_{dom}, TRAP_{non-dom} und DELT in Prozent der Referenzbeanspruchung, das heißt in Form der normalisierten EA (nEA) dargestellt. Die linke Hälfte entspricht den Daten zum GS-FIX bei jeweils niedriger und hoher Arbeitshöhe. Auf der rechten Hälfte ist die nEA des GS-ROT dargestellt (48).

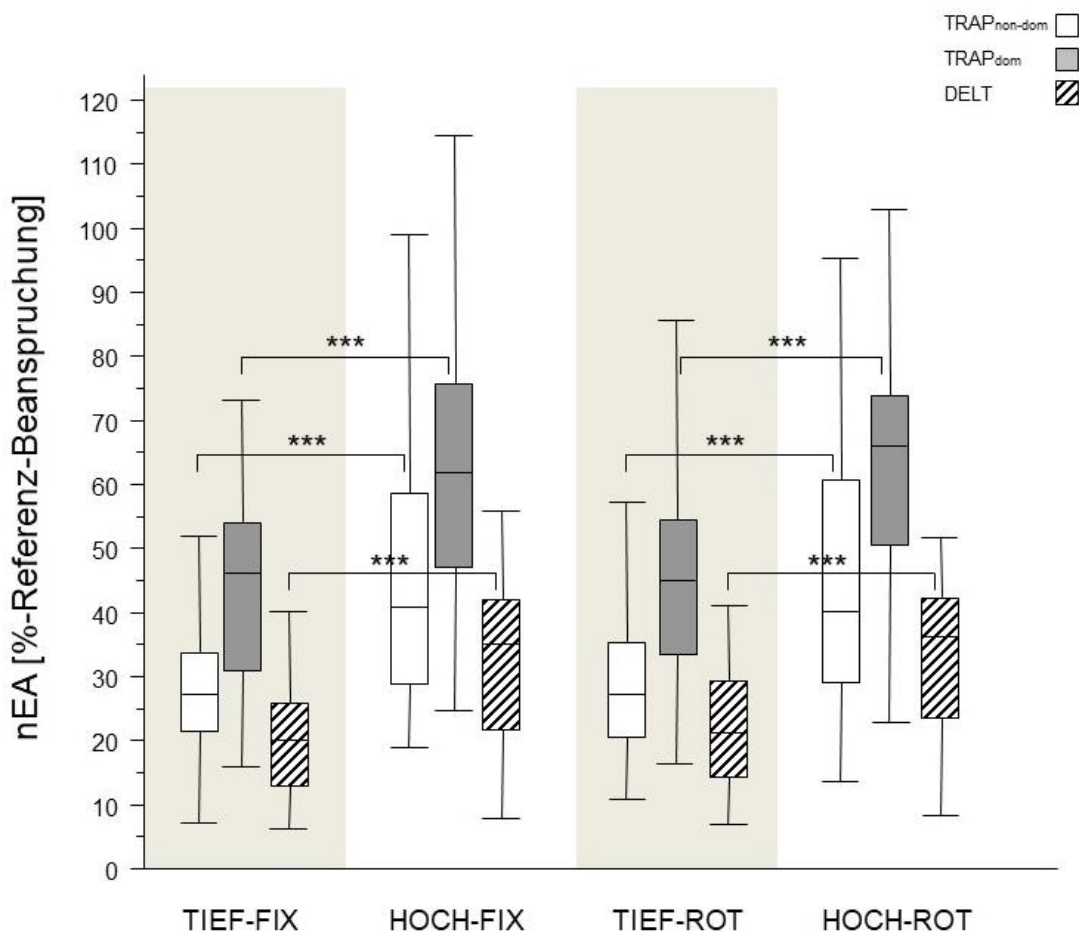


Abbildung 11: Box-Plot-Diagramme, normalisierte elektrische Aktivität (nEA) der Schultermuskulatur (48).

Weiß: M. trapezius (nicht dominanter Arm); grau: M. trapezius (dominanter Arm); gestreift: M. deltoideus (dominanter Arm); TIEF-ROT: niedrige Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; TIEF-FIX: niedrige Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; HOCH-ROT: hohe Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; HOCH-FIX: hohe Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; ***p<0.001 (48).

Abbildung 11 veranschaulicht deutlich, dass die höchste Muskelbeanspruchung des Schulter-Nacken-Bereichs im TRAPdom besteht. Vergleicht man die Griffvarianten, das heißt die linke mit der rechten Diagrammhälfte, so zeigt sich ein sehr homogenes Bild. Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Griffvarianten erkennbar. Die Arbeitshöhe hebt sich hingegen als signifikanter Einfluss hervor. Für beide Griffvarianten ist eine Zunahme der nEA von TRAPdom, TRAPnon-dom und DELT nach der Erhöhung der Arbeitshöhe zu beobachten (vgl. Abb. 11). Einen Unterschied zwischen den Griffvarianten gibt es aber auch hier nicht. Es zeigt sich ein ganz ähnliches Bild wie bei der statischen Aufgabe. Die entsprechenden Zahlenwerte sind Tabelle 3 zu entnehmen (48).

Tabelle 3: Median, 25. und 75. Perzentile der nEA (oEMG) während den vier Sequenzen (48).

	TIEF-ROT			TIEF-FIXED			HOCH-ROT			HOCH-FIXED		
	P25	Median	P75	P25	Median	P75	P25	Median	P75	P25	Median	P75
TRAP _{non-dom}	0.21	0.27	0.36	0.22	0.27	0.34	0.29	0.40	0.61	0.29	0.41	0.59
TRAP _{dom}	0.34	0.45	0.55	0.31	0.46	0.54	0.51	0.66	0.74	0.47	0.62	0.76
DELTA	0.14	0.21	0.3	0.13	0.2	0.26	0.24	0.36	0.42	0.22	0.35	0.42
BIC	0.4	0.56	0.72	0.42	0.59	0.78	0.41	0.6	0.84	0.48	0.69	0.88
EXT	0.41	0.62	0.78	0.41	0.60	0.75	0.45	0.62	0.74	0.39	0.62	0.78
FLEX	0.28	0.46	0.63	0.31	0.47	0.68	0.25	0.39	0.57	0.25	0.42	0.6

TIEF-ROT: niedrige Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; TIEF-FIX: niedrige Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; HOCH-ROT: hohe Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; HOCH-FIX: hohe Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; P25: 25. Perzentile; P75: 75. Perzentile; oEMG: Oberflächen Elektromyographie; nEA: normalisierte elektrische Aktivität; TRAPnon-dom: M. trapezius pars descendens (nicht dominanter Arm); TRAPdom: M. trapezius pars descendens (dominanter Arm); DELT: M. deltaideus acromialis (dominanter Arm); BIC: M. biceps brachii (dominanter Arm); EXT: M. extensor digitorum (dominanter Arm); FLEX: M. flexor carpi radialis (dominanter Arm) (48).

Weiter geht es mit den untersuchten Muskeln BIC, FLEX und EXT. Bei diesen Muskeln stellten sich während der **dynamischen Aufgabe** weder die verwendete Griffvariante noch die Arbeitshöhe als beeinflussende Faktoren dar (vgl. Tab. 3). Es wurde daher auf eine graphische Darstellung verzichtet (48).

Anders ist die Situation bei der **statischen Aufgabe**. Während beim M. extensor digitorum (EXT) keine signifikanten Einflüsse der drei genannten Variablen zu erkennen ist, kommt es für die Muskeln Biceps brachii (BIC) und Flexor carpi radialis (FLEX) gleich zu mehreren Interaktionen. So führt in beiden

Fällen das GS-ROT zu einer signifikant reduzierten nEA (vgl. Abb. 12a und 12d), was stark durch die Arbeitsposition (BIC in Quadrant D - 68%, FLEX in Quadrant C - 66%) beeinflusst wird (49, vgl. Tab. 2).

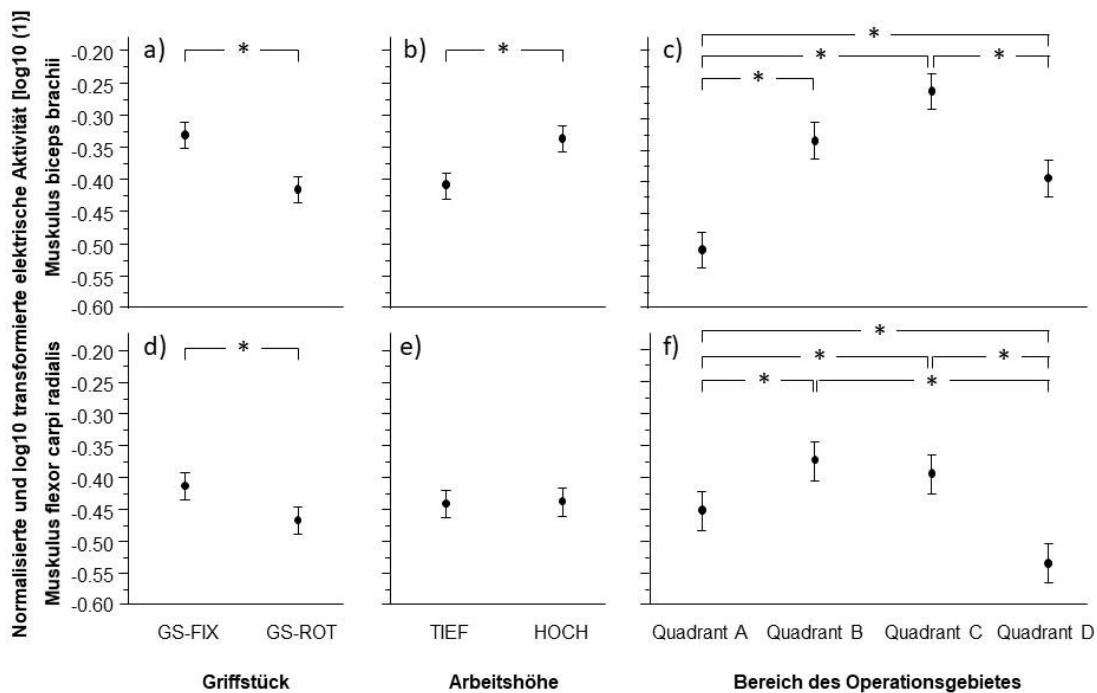


Abbildung 12: Normalisierte und log10 transformierte elektrische Aktivität des M. biceps brachii und M. flexor carpi radialis (49).

(a–c) M. biceps brachii. (d-f) M. flexor carpi radialis. (a/d) Effekt des Griffstücks. (b/e) Effekt der Arbeitshöhe. (c/f) Effekt der Instrumentenposition im Operationsgebiet during a precision task. Sternchen bedeuten eine statistische Signifikanz mit einem Alpha level von .05. GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück (49).

Für den FLEX zeigt sich im Quadranten C im Vergleich zu den anderen Quadranten eine signifikante, 27-prozentige Reduktion der nEA durch das GS-ROT (vgl. Abb. 13). Hinzu kommt, dass für den FLEX und den BIC die nEA generell in den Quadranten B und C am höchsten ist (vgl. Abb. 12c und 12f).

Die Arbeitshöhe hatte auf die nEA des FLEX keinen signifikanten Einfluss. Für den BIC war aber die niedrige Arbeitshöhe ein deutlich reduzierender Faktor was die Abbildungen 12e und 12b veranschaulichen (49).

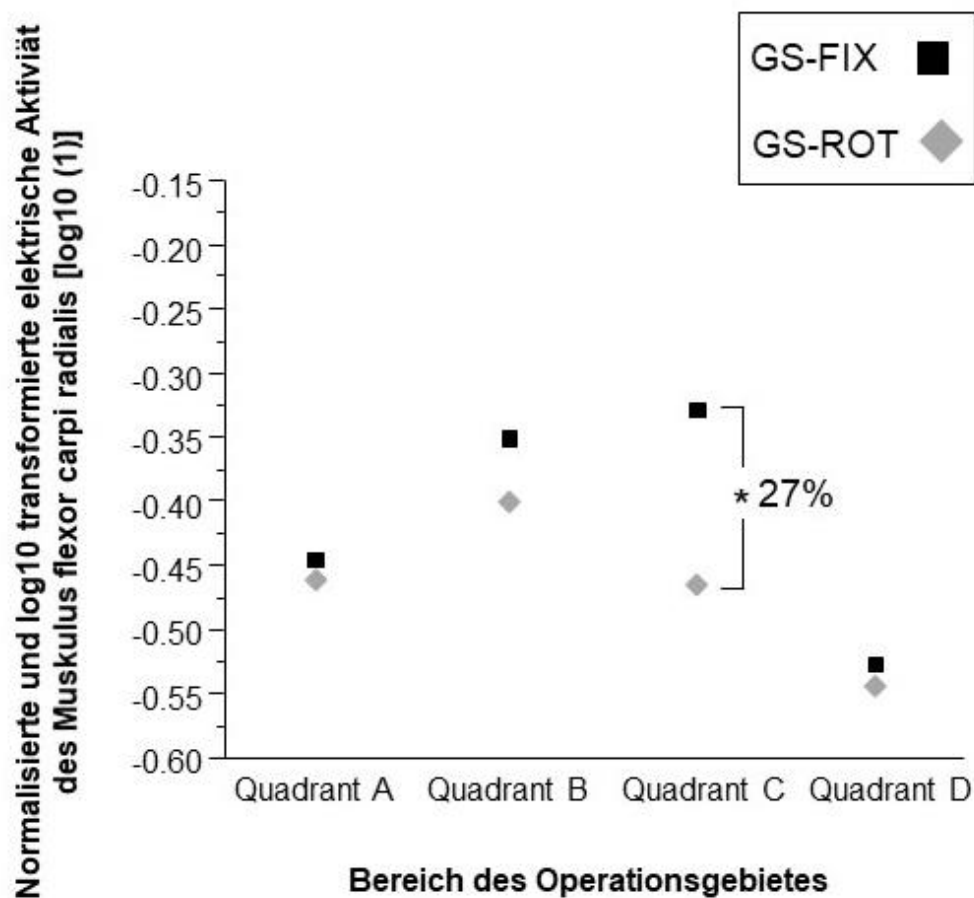


Abbildung 13: Interaktion des Griffstücks und der Instrumentenposition im Operationsgebiet (49).

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück. Sternchen bedeuten eine statistische Signifikanz mit einem Alpha level von .05 (49).

Für eine Dreifachinteraktion ist keine Signifikanz jedoch eine Tendenz zu einem Effektverlust der GS-ROT bei höherer Arbeitshöhe festzustellen. Gerade in den Quadranten, welche bei niedriger Arbeitshöhe den größten Vorteil des GS-ROT erkennen ließen, verringerte sich der Effekt nach dem Wechsel auf die hohe Arbeitshöhe (BIC-D 68% zu 78%, FLEX-C 66% zu 81%; vgl. Tab 2) (49).

Eine muskuläre Ermüdung konnte für die untersuchten Muskeln nicht festgestellt werden. Die Regressionsanalyse der EA und der Medianfrequenz (MF) ergaben keinen Zusammenhang. Auch nach weiteren Sequenzen änderte sich an dieser Tatsache nichts (48, 49).

3.3 Armhaltung

Bei beiden Aufgaben stellte sich die gewählte Arbeitshöhe als signifikanter Faktor für die Abduktion des Armes dar. Es kam bei der **dynamischen Aufgabe** durch die erhöhte Arbeitshöhe zu einer signifikanten ($p < 0,001$) Zunahme der Abduktion um 15 (GS-FIX) bzw. 16 Grad (GS-ROT). Die Retroversion, welche sich im Median um 19 Grad erhöhte, ist aufgrund der Streuung nicht signifikant (vgl. Tab 4 und 5). Abbildung 14 zeigt die Zunahme der Abduktion (graue Boxplots) und die große Streuung der Retro-/Anteversion (weiße Boxplots) nach Tischerhöhung (48).

Tabelle 4: Median, 25. und 75. Perzentile der Armhaltung [°] während den vier Sequenzen (48).

	TIEF-ROT			TIEF-FIXED			HOCH-ROT			HOCH-FIXED		
	P25	Median	P75	P25	Median	P75	P25	Median	P75	P25	Median	P75
Abduktion	37.11	40.65	46.13	32.72	37.23	41.63	49.8	57.01	63.14	45.66	52.49	58.05
positive Werte: Anteversion negative Werte: Retroversion	-7.63	3.33	13.58	-5.194	6.69	13.78	-33.61	-15.49	25.2	-31.33	-12.61	26.46

TIEF-ROT: niedrige Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; TIEF-FIX: niedrige Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; HOCH-ROT: hohe Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; HOCH-FIX: hohe Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; P25: 25. Perzentile; P75: 75. Perzentile (48).

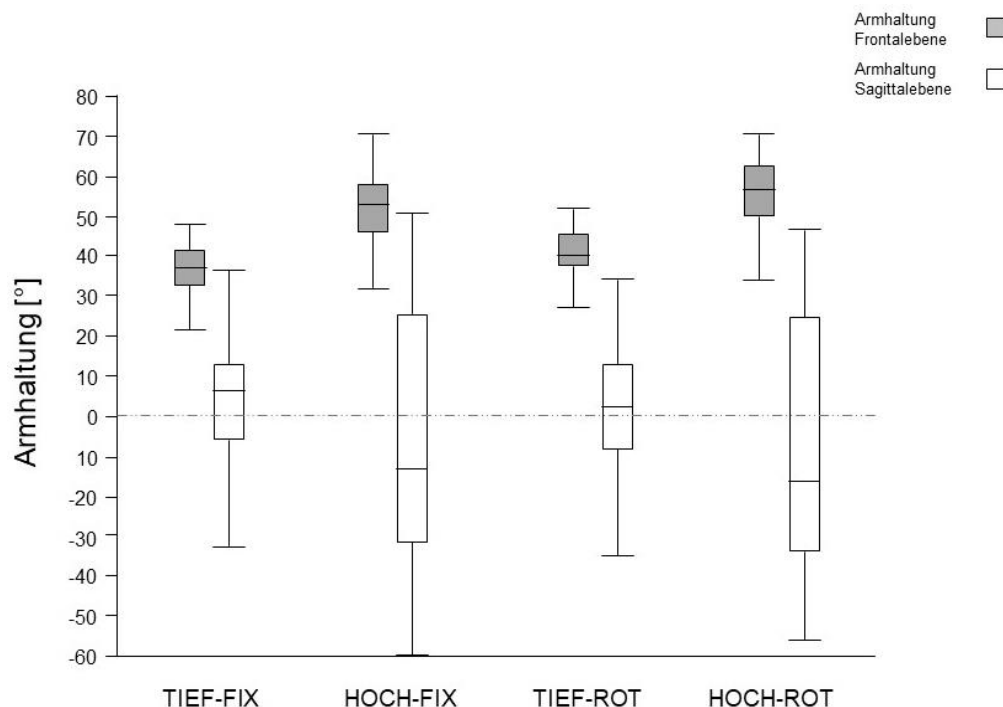


Abbildung 14: Box-Plot-Diagramme zur Haltung des dominanten Oberarms (48).

TIEF-ROT: niedrige Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; TIEF-FIX: niedrige Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; HOCH-ROT: hohe Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; HOCH-FIX: hohe Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück (48).

Tabelle 5: Unterschiede der nEA, Oberarmhaltung und Handgelenkwinkel zwischen den zwei Grifftypen und der Arbeitshöhe (48).

	Kruskal-Wallis-Test		Post hoc Analyse: Dunn All Pairs								
	x ²	p-Wert	Unterschiede im Median zwischen rotierbarem und fixiertem Griffstück				Unterschiede im Median zwischen tiefer und hoher Arbeitshöhe				
			tiefe Arbeitshöhe	p-Wert	hohe Arbeitshöhe	p-Wert	rotierbares Griffstück	p-Wert	Fixiertes Griffstück	p-Wert	
<i>sEMG [nEA]</i>											
TRAP _{non-domin}	45.47	<0.001	0	n.s.	-0.005	n.s.	0.13	<0.001	0.14	<0.001	
TRAP _{dom}	46.86	<0.001	0.01	n.s.	0.0425	n.s.	0.21	<0.001	0.16	<0.001	
DELTA	54.57	<0.001	0.01	n.s.	0.0125	n.s.	0.15	<0.001	0.15	<0.001	
BIC	3.71	n.s.	-0.03	n.s.	-0.093	n.s.	0.04	n.s.	0.10	n.s.	
EXT	0.14	n.s.	0.02	n.s.	0	n.s.	0	n.s.	0.02	n.s.	
FLEX	3.58	n.s.	-0.01	n.s.	-0.03	n.s.	-0.07	n.s.	-0.05	n.s.	
<i>Oberarmhaltung [°]</i>											
Armabduktion	121,68	<0.001	3.43	n.s.	4.53	n.s.	16.36	<0.001	15.26	<0.001	
Armretroversion	9.67	<0.022	-3.36	n.s.	-2.88	n.s.	-18.81	n.s.	-19.3	n.s.	
<i>Handgelenks-winkel [°]</i>											
Palmar-flexion	39,60	<0.001	-11,19	<0.001	-10.81	<0.001	-1.20	n.s.	-1.58	n.s.	

oEMG: Oberflächen Elektromyographie; nEA: normalisierte elektrische Aktivität; TRAP_{non-domin}: M. trapezius pars descendens (nicht dominanter Arm); TRAP_{dom}: M. trapezius pars descendens (dominanter Arm); DELTA: M. deltaideus acromialis (dominanter Arm); BIC: M. biceps brachii (dominanter Arm); EXT: M. extensor digitorum (dominanter Arm); FLEX: M. flexor carpi radialis (dominanter Arm); n.s.: nicht statistisch signifikant (48).

Bei der **statischen Aufgabe** gab es durch die höhere Arbeitshöhe im Durchschnitt eine Steigerung der Abduktion um 11 Grad (GS-ROT) und 10 Grad (GS-FIX). Bei der Anteversion war es laut Tabelle 6 eine Zunahme von 5,5 Grad für beide Griffe (49).

Die Griffvarianten haben, wie in Abbildung 14 an den annähernd deckungsgleichen Boxplots der linken (GS-FIX) und rechten (GS-ROT) Schaubildhälfte zu erkennen ist, keinen signifikanten Einfluss auf die Armhaltung während der **dynamischen Aufgabe** (48, vgl. auch Tab. 5).

Ein tendenzieller Effekt kann bei der **dynamischen Aufgabe** festgestellt werden, welcher hingegen bei der **statischen Aufgabe** in den Ergebnissen nicht zu erkennen ist. Bei niedriger Tischhöhe bewirken beide Instrumentengriffe eine Anteversion des Oberarms mit niedrigeren Werten für das GS-ROT. Bei hoher Tischhöhe geht die Armhaltung in eine Retroversion über, bei der ebenfalls das GS-ROT niedrigere Werte, also in diesem Fall eine größere Retroversion bewirkt. Insgesamt kommt es beim GS-ROT während der

dynamischen Aufgabe zu einer durchschnittlich dorsaleren Position des Ellenbogens (48, vgl. Tab. 4).

Tabelle 6: Armhaltung bei jeder Aufgabenbedingung (49).

Region	Richtung	Quadrant	Tiefe Arbeitshöhe					Hohe Arbeitshöhe				
			GS-FIX		GS-ROT		Differenz GS-ROT minus GS-FIX	GS-FIX		GS-ROT		Differenz GS-ROT minus GS-FIX
			M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	
Oberarm [°]	Ante- /Retroversion (negativ = Retroversion)	A	5.57	8.49	5.92	7.47	0.35	7.14	9.84	5.89	12.43	-1.25
		B	8.23	12.79	9.04	9.32	0.81	11.74	22.40	13.07	17.96	1.34
		C	13.92	14.15	16.04	13.03	2.12	20.64	24.79	27.40	22.28	6.76
		D	6.09	10.88	5.69	9.13	-0.40	16.29	12.54	12.23	15.79	-4.06
	Ab-/Adduktion (negativ = Adduktion)	A	20.89	11.13	21.12	9.36	0.24	27.12	11.83	27.13	11.01	0.01
		B	27.65	8.17	30.00	6.82	2.35	34.97	10.53	38.22	10.24	3.25
		C	40.67	10.55	43.06	9.97	2.39	55.90	10.32	57.56	12.66	1.66
		D	28.40	11.97	27.95	10.51	-0.45	40.78	13.62	41.77	13.11	0.99

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück; M: Mittelwert, SD: Standardabweichung (49).

Bei der **statischen Aufgabe** sind signifikante Unterschiede der Griffvarianten zu erkennen (vgl. Tab 6). Es zeigt sich hierbei ein kleiner Nachteil des GS-ROT hinsichtlich der Abduktion.

Ein weiterer Einflussfaktor für die Armhaltung war die Quadrantenposition im Rahmen der statischen Aufgabe. Bei separater Betrachtung der Quadranten, kann festgestellt werden, dass unabhängig von Griffstück und Arbeitshöhe in Quadrant C die höchsten Werte sowohl in Frontal- als auch in Sagittalebene gemessen wurden. Die niedrigsten Werte wurden in Quadrant A bestimmt (49, vgl. Tab. 7).

Tabelle 7: Anteversion und Abduktion in Grad, bei niedriger und hoher Arbeitshöhe mit dem GS-FIX und GS-ROT in den Quadranten A und C.

	Quadrant	niedrige Arbeitshöhe		hohe Arbeitshöhe	
		GS-FIX	GS-ROT	GS-FIX	GS-ROT
Anteversion	A	61	6°	7°	6°
	C	14°	16°	21°	27°
Abduktion	A	21°	21°	27°	27°
	C	41°	43°	56°	58°

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück.

3.4 Handgelenkwinkel

Bei der **dynamischen Aufgabe** ist hinsichtlich der Handgelenkwinkel kein signifikanter Unterschied zwischen den Arbeitshöhen beschrieben (vgl. Tab. 5). Trotzdem ist bei einem Vergleich der Histogramme in Abbildung 15 bei hoher Arbeitshöhe eine Tendenz zu mehr Flexion und weniger Neutralstellung zu erkennen (48).

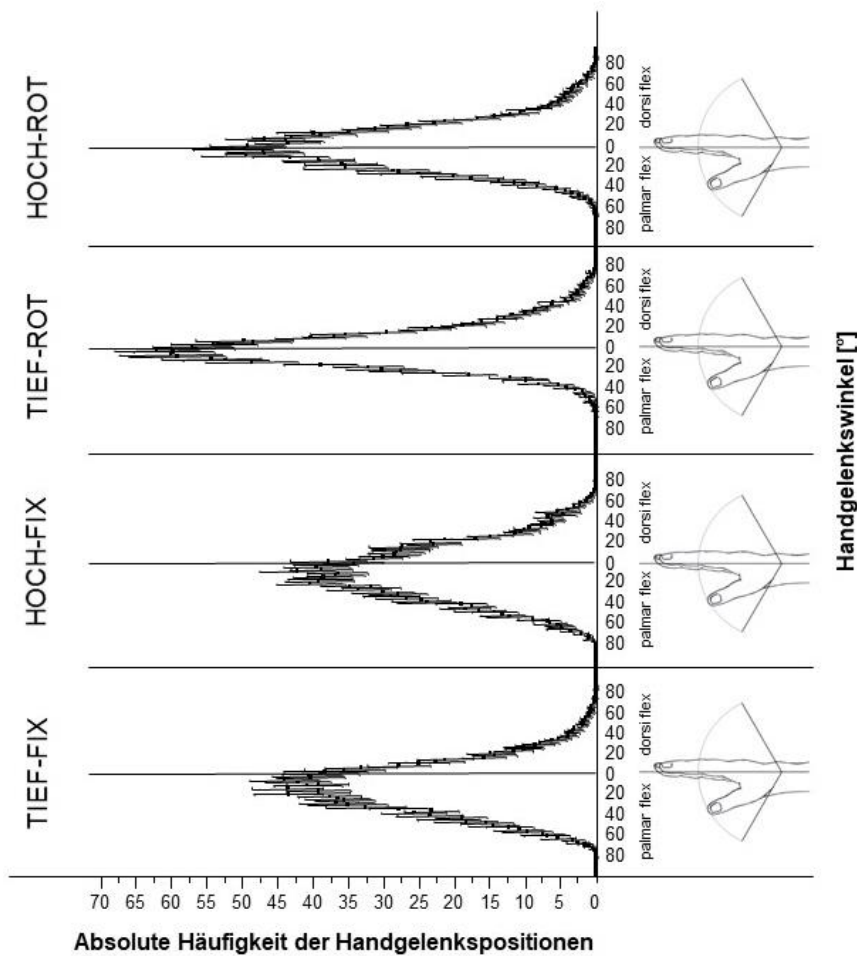


Abbildung 15: Histogramme der Handgelenkwinkel für alle Sequenzen (48).

TIEF-ROT: niedrige Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; TIEF-FIX: niedrige Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; HOCH-ROT: hohe Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; HOCH-FIX: hohe Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück (48).

Die Histogramme bei hoher Arbeitshöhe sind breiter (größere Streuung) und weisen weniger Werte in Neutralstellung auf. Bei der **statischen Aufgabe** führt die niedrigere Arbeitshöhe zu signifikant neutraleren Handgelenkwinkeln (49, vgl. Abb. 16b).

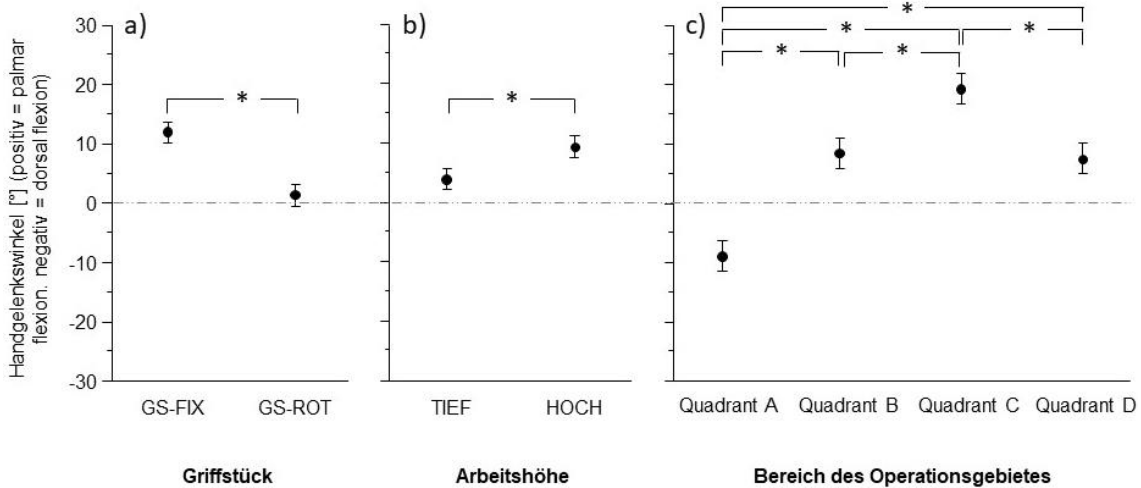


Abbildung 16: Handgelenkwinkel in Abhängigkeit von (a) Griffstück, (b) Arbeitshöhe and (c) Instrumentenposition im Operationsgebiet (49).

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück. Sternchen bedeuten eine statistische Signifikanz mit einem Alphalevel von .05 (49).

Von größerer Bedeutung als die Arbeitshöhe war bei **beiden Aufgaben** der signifikante Einfluss des verwendeten Griffstücks auf die Flexion und Extension im Handgelenk. In den Histogrammen zur dynamischen Aufgabe ist erkennbar, dass sich bei der Verwendung des GS-Rot signifikant häufiger neutrale Handgelenksstellungen und seltener Stellungen in Palmar-Flexion finden lassen als beim GS-FIX. Beim GS-FIX zeigt sich eine Verschiebung der Verteilungskurve aus der Neutralstellung hin zur Palmarflexion (vgl. Abb. 15).

Bei der **dynamischen Aufgabe** lag der Median für das GS-FIX bei einem Winkel von 11 und 13 Grad in Flexionsstellung und für das GS-Rot wurde mit 1 und 2 Grad in Extensionsstellung annähernd eine Neutralstellung gemessen (48, erstgenannter Wert ist bei hoher Arbeitshöhe, zweitgenannter bei niedriger Höhe; vgl. Tab. 8).

Tabelle 8: Median, 25. und 75. Perzentile der Handgelenkwinkel [°] während den vier Sequenzen (48).

	TIEF-ROT			TIEF-FIXED			HOCH-ROT			HOCH-FIXED		
	P25	Median	P75	P25	Median	P75	P25	Median	P75	P25	Median	P75
positive Werte: palmar flexion	-6.18	1.77	7.98	3.66	12.97	24.68	-8.39	0.57	9.99	0.064	11.38	22.13
negative Werte: dorsal flexion												

TIEF-ROT: niedrige Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; TIEF-FIX: niedrige Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; HOCH-ROT: hohe Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; HOCH-FIX: hohe Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; P25: 25. Perzentile; P75: 75. Perzentile (48).

Auch bei der **statischen Aufgabe** lag der durchschnittliche Winkel für das GS-ROT bei 1 Grad Extension, während das GS-FIX mit 12 Grad in Palmarflexion eine deutliche Abweichung bewirkte (49, vgl. Tab. 9).

Tabelle 9: Handgelenkwinkel bei jeder Aufgabenbedingung (49).

			Tiefe Arbeitshöhe					Hohe Arbeitshöhe				
			GS-FIX		GS-ROT		Differenz GS-ROT minus GS-FIX	GS-FIX		GS-ROT		Differenz GS-ROT minus GS-FIX
Region	Richtung	Quadrant	M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	
Handgelenk [°]	Palmar/dorsal flexion (negativ = dorsal flexion)	A	-2.06	22.11	-21.39	25.06	-19.33	-2.23	27.00	-9.19	27.96	-6.97
		B	22.04	24.47	-1.01	18.43	-23.06	9.49	21.78	3.99	21.37	-5.50
		C	22.31	27.76	8.81	21.08	-13.50	27.37	24.95	19.14	18.70	-8.24
		D	5.04	26.62	-1.51	23.48	-6.55	14.28	24.95	12.97	22.44	-1.32

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück; M: Mittelwert, SD: Standardabweichung (49).

Nach Aufgliederung der gemessenen Handgelenkwinkel in die einzelnen Quadranten konnten im Quadranten D die neutralsten Handgelenkwinkel beobachtet werden (vgl. Abb. 16c). Gliedert man dies hinsichtlich der Griffvarianten auf, so kann man erkennen, dass sich für das GS-FIX in Quadrant A und für das GS-ROT in Quadrant B sehr günstige Handgelenkwinkel ergeben (49, es flossen hier die Werte beider Tischhöhen mit ein; vgl. Abb. 17b).

Auch in Quadrant C wirkt sich das GS-ROT positiv aus und in Quadrant D zeigt das GS-ROT einen kleinen, jedoch nicht signifikanten Vorteil (vgl. Abb. 17b). Wird die Interaktion zwischen Griffstück und Arbeitshöhe betrachtet, so ist ein signifikanter Effekt durch das GS-ROT nur bei niedriger Arbeitshöhe zu erkennen (49, vgl. Abb.17a).

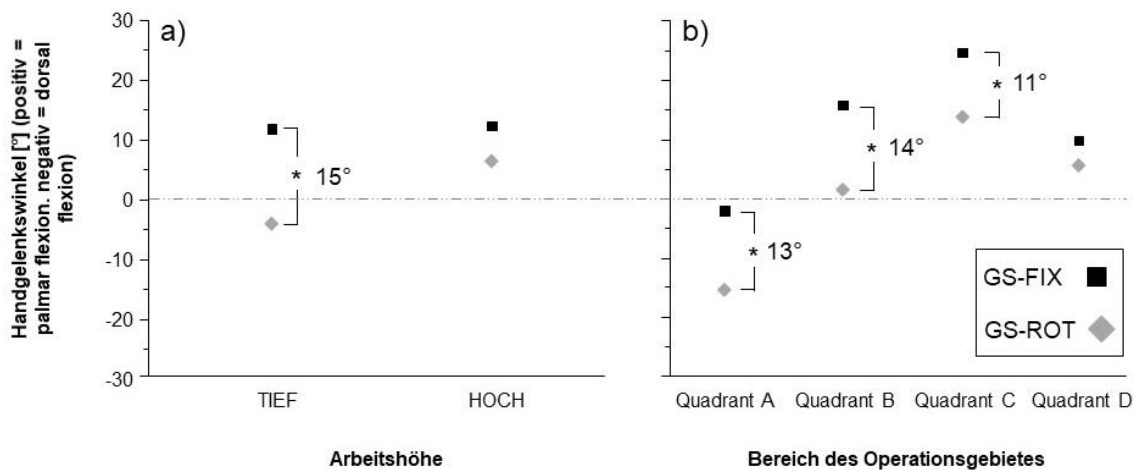


Abbildung 17: Handgelenkwinkel (a) Interaktion von Griffstück und Arbeitshöhe; (b) Interaktion von Griffstück und Instrumentenposition im Operationsgebiet (49).

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück. Sternchen bedeuten eine statistische Signifikanz mit einem Alphalevel von .05 (49).

3.5 Arbeitsleistung und Präzision

Für den **dynamischen Aufgabenteil** wurde die Arbeitsleistung („korrekt abgelegte Pins“ bzw. „benötigte Zeit“) als indirekter Prädiktor für die Arbeitspräzision verwendet. Schaut man sich die Ergebnisse in Tabelle 10 an, so erkennt man zwischen den vier Sequenzen keine signifikanten Unterschiede für die „korrekt abgelegten Pins“ und die „benötigte Zeit“. Auch bei der Arbeitshöhe und dem verwendeten Griffstück ist kein Einfluss festzustellen. Der Median liegt bei allen Sequenzen zwischen 11:11 Minuten und 11:20 Minuten (max. 12 Minuten entsprechend 4 x 3 Minuten), beziehungsweise zwischen 19 (79%) und 21 (88%) von 24 Pins (vgl. Tab. 10). Allerdings scheiterten viele Probanden daran alle sechs Pins innerhalb von drei Minuten an den vorgegebenen Stellen abzulegen. In insgesamt 55 Prozent aller Durchgänge war dies der Fall. Es gab nur einen Probanden, der immer alle Pins ablegen konnte und sechs Probanden, die in jedem ihrer 16 Durchgänge keinen der Pins an die vorgegeben Stellen ablegen konnten (48).

Tabelle 10: Arbeitsleistung während der dynamischen Aufgabe als Prädiktor für die Arbeitspräzision (48).

Sequenz	Benötigte Zeit [Median, maximale Dauer =12 min]	Korrekt abgelegte Pins [Median, maximale Anzahl = 24 Pins]
TIEF-ROT	11 Minuten: 11 Sekunden	20 (83%)
TIEF-FIX	11 Minuten: 13 Sekunden	19 (79%)
HOCH-ROT	11 Minuten: 20 Sekunden	20 (83%)
HOCH-FIX	11 Minuten: 15 Sekunden	21 (88%)

TIEF-ROT: niedrige Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; TIEF-FIX: niedrige Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück; HOCH-ROT: hohe Arbeitshöhe und rotierbares Griffstück; HOCH-FIX: hohe Arbeitshöhe und fixiertes Griffstück (48).

Bei der **statischen Aufgabe** wurde zur Beurteilung der Arbeitspräzision die Fehleranzahl (Kontakte mit dem umgebenden zwei Zentimeter großen Ring (vgl. Kapitel 2.3.7 Aufgaben) ermittelt. Bei der Betrachtung des Medians je verwendetem Griffstück konnte kein Unterschied bei der Anzahl der verursachten Fehler festgestellt werden (ges. GS-FIX:GS-ROT, tief 7:6, hoch 9:8, vgl. Tab 11).

Allerdings war der Quadrant, in dem gearbeitet wurde für die Fehleranzahl relevant. Unabhängig von Griffstück und Arbeitshöhe erkennt man in Tabelle 11, dass den Probanden in den Quadranten B und C mehr Fehler unterliefen (Median 2 und 3) als in den Quadranten A und D (49, Median 1 und 2).

Tabelle 11: Arbeitspräzision anhand der Fehleranzahl während der statischen Aufgabe (49).

Quadrant	Tiefe Arbeitshöhe										Hohe Arbeitshöhe									
	GS-FIX					GS-ROT					GS-FIX					GS-ROT				
	Min	P25	Med	P75	Max	Min	P25	Med	P75	Max	Min	P25	Med	P75	Max	Min	P25	Med	P75	Max
A	0	0	1	3	17	0	0	1	3	16	0	0	1	4	13	0	0	1	3	13
B	0	1	3	6	15	0	0	2	3	20	0	1	3	5	19	0	1	3	5	10
C	0	1	2	4	13	0	1	2	5	12	0	1	3	5	16	0	1	3	4	10
D	0	0	1	3	9	0	0	1	3	8	0	0	2	4	14	0	0	1	3	20
Gesamt	0	2	7	16	54	0	1	6	14	56	0	2	9	18	63	0	2	8	15	53

GS-FIX: fixiertes Griffstück, GS-ROT: rotierbares Griffstück. Min: Minimal; Med: Median; Max: Maximal; P25: 25. Perzentile; P75: 75. Perzentile (49).

Bei der Beurteilung der Arbeitshöhe zeigte sich in der Summe über alle Quadranten, dass bei der niedrigen Arbeitshöhe (Median: 6-7) weniger Fehler gemacht wurden als bei der höheren Arbeitshöhe (49, Median: 8-9).

3.6 Subjektive Bewertung

Zu elf Aussagen mussten die Probanden nach jeder durchgeführten Sequenz (je Griffvariante und Arbeitshöhe, vgl. Abb. 2) ihre Zustimmung mit Hilfe einer fünfstufigen Likert-Skala (von „stimme überhaupt nicht zu“ bis „stimme voll und ganz zu“) ausdrücken. Die Aussagen wurden in die Kategorien „Präzision“, „Aspekte der Körperhaltung“ und „Handhabung“ eingruppiert. In Abbildung 18 stellt die weiße Fläche den neutralen Antwortbereich dar, die schraffierten Flächen zeigen den ablehnenden Anteil und die gefüllten Flächen den Anteil der Probanden, welche den Aussagen zugestimmt haben. Die Zahlenwerte entsprechen den prozentualen Anteilen. Im Folgenden bezieht sich die erstgenannte Prozentzahl jeweils auf das GS-ROT, die zweitgenannte auf das GS-FIX.

Bei den Aussagen zur Arbeitspräzision gab es für beide Griffvarianten eine neutrale bis positive Haltung. Unterschiedliche Verteilungen zwischen den beiden Griffvarianten waren nur bei der Aussage „Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.“ zu erkennen. Hier gab es mit 75 Prozent zu 56 Prozent eine Tendenz zum GS-ROT (vgl. Abb. 18).

Der zweite Aussagenkomplex bezog sich auf die Körperhaltung, wobei betreffend der Handstellung eine klare Tendenz zum GS-ROT zu erkennen ist. 58 Prozent zu 42 Prozent und 56 Prozent zu 34 Prozent der Probanden verneinten die Aussagen „Ich hätte das Instrument gerne zur Seite gelegt und meine Hand/meinen Arm gelockert.“ sowie „Ich habe die Handstellung als unangenehm empfunden.“.

Weiterhin können sich bezüglich dem GS-ROT mehr Probanden „...vorstellen, mit dem Instrument mehrere Operationen hintereinander durchzuführen.“ (42% zu 36%). Auch die Körperhaltung wird mit 44 Prozent zu 34 Prozent als angenehmer empfunden („Die Arbeitshaltung (Körperhaltung) war angenehm.“). Bei der Aussage zur Standposition dreht sich das Bild und mehr Probanden hätten mit dem GS-ROT „... während der Arbeit gerne die Standposition geändert“ (38% zu 24%).

Präzision	Ich konnte mit dem Instrument präzise (zielgenau) arbeiten.	FIX	4	16	40	35	5	
		ROT	4	11	39	37	11	
	Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.	FIX	11	33	42	14		
		ROT	5	19	54	21		
	Ich habe mich bei der Nutzung sehr sicher gefühlt.	FIX	12	23	35	25	5	
		ROT	9	21	38	25	7	
Aspekte der Körperhaltung	Ich kann mir vorstellen, mit dem Instrument mehrere Operationen hintereinander durchzuführen.	FIX	12	33	19	25	11	
		ROT	12	26	19	21	21	
	Die Arbeitshaltung (Körperhaltung) war angenehm.	FIX	7	18	42	30	4	
		ROT	9	23	25	39	5	
	Ich hätte das Instrument gerne zur Seite gelegt und meine Hand/meinen Arm gelockert.	FIX	14	28	30	18	11	
		ROT	23	35	19	14	9	
	Ich hätte während der Arbeit gerne die Standposition geändert.	FIX	16	35	25	12	12	
		ROT	16	30	16	28	11	
	Ich habe die Handstellung als unangenehm empfunden.	FIX	9	25	35	25	7	
		ROT	16	40	28	14	2	
	Handhabung	Das Instrument ist einfach zu bedienen.	FIX	16	25	53	7	
			ROT	14	19	51	16	
Die gestellte Aufgabe konnte ich mit dem Instrument auf einfache Weise durchführen.		FIX	4	25	39	30	4	
		ROT	5	19	40	25	11	
Das Instrument ist handlich.		fest	14	46	39	2		
		dreh	2	16	26	49	7	

Bewertungskategorien:



Abbildung 18: Befragungsergebnisse zur Bewertung mehrerer Aussagen in den Bereichen Präzision, Aspekte der Körperhaltung, Handhabung, jeweils für beide Instrumentengriffe.

Angaben in Prozent. Linke Seite: Ablehnung. Rechte Seite: Zustimmung.

Überwiegend positiv äußerten sich die Probanden zur Handhabung der Instrumente. Das Instrument sei „...handlich (56% zu 41%)“ und „...einfach zu bedienen (67% zu 60%)“ und die Probanden konnten die „...gestellte Aufgabe...mit dem Instrument auf einfache Weise durchführen“ (36% zu 34%).

Bei diesen drei Aussagen gab es, abgesehen von der Handlichkeit, zwischen den Griffstücken keine bedeutenden Unterschiede.

Verschafft man sich einen Überblick über alle Aussagen, bleiben lediglich folgende Aussagen, die eine Zustimmung oder Ablehnung von mehr als 50 Prozent erhielten (vgl. hervorgehobene Prozentzahlen; erste Zahl: GS-ROT, zweite: GS-FIX).

„Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.“ (**75%** zu **56%** Zustimmung)

„Das Instrument ist einfach zu bedienen.“ (**67%** zu **60%** Zustimmung)

„Das Instrument ist handlich.“ (**56%** zu 41% Zustimmung)

„Ich habe die Handstellung als unangenehm empfunden.“ (**56%** zu 34% Ablehnung)

„Ich hätte das Instrument gerne zur Seite gelegt und meine Hand/meinen Arm gelockert.“ (**58%** zu 42% Ablehnung)

„Ich hätte während der Arbeit gerne die Standposition geändert.“ (46% zu **51%** Zustimmung)

Weiterhin gab es für die Aussagen „Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.“ und „Das Instrument ist einfach zu bedienen.“ für beide Griffvarianten keine Probanden, die dieser Aussage „überhaupt nicht“ zugestimmt haben.

In der Befragung am Ende der Versuche wurden die beiden Griffstücke einander direkt gegenübergestellt. Hinsichtlich fünf Aussagen sollten die Griffvarianten mit Hilfe von sieben Differenzierungsmöglichkeiten verglichen werden (vgl. Abb. 19). Durch die Wahl der mittleren Abstufung konnte man auch „keinen Unterschied“ der beiden Griffvarianten zum Ausdruck bringen.

Bei allen fünf Aussagen wurde das GS-ROT positiver bewertet als das GS-FIX. Es sei „einfacher zu bedienen“, man könne „präziser arbeiten“, zudem sei es „handlicher“ und insgesamt „geeigneter für die gestellte Aufgabe“ (vgl. Abb. 19). Als deutlichstes Meinungsbild zeigte sich die Aussage zur Handstellung. Es

stimmten 82 Prozent dafür, dass mit dem GS-ROT „die Handstellung angenehmer war“, während 15 Prozent für das GS-FIX votierten.

Zum Abschluss wurden die Probanden gefragt, welches der beiden Instrumente sie in ihrer Gesamtheit bevorzugen würden. Es ergab sich dabei folgendes Meinungsbild: 34 Probanden votierten für das Instrument mit dem GS-ROT und halb so viele, nämlich 17 Probanden entschieden sich für das Instrument mit dem GS-FIX. Sechsmal wurde keine Antwort abgegeben und einmal wurden die Griffstücke als gleich gut bewertet, obwohl diese Möglichkeit nicht zur Auswahl stand.

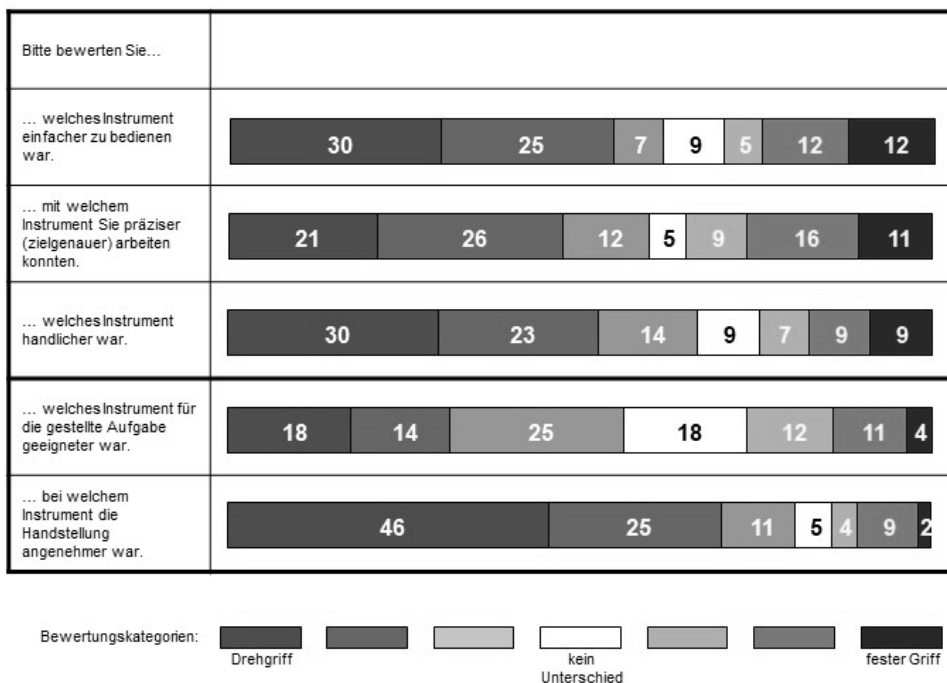


Abbildung 19: Befragungsergebnisse zum direkten Vergleich der beiden Instrumentengriffe.

Angaben in Prozent. Linke Seite: GS-ROT. Rechte Seite: GS-FIX.

3.7 Zusammenfassung Ergebnisse

OEMG: Die Arbeitshöhe hat einen Einfluss auf die nEA der Oberarmmuskeln TRAP/DELTA/BIC (BIC bei dynamischer Aufgabe nicht signifikant), dies kommt sowohl bei der statischen als auch der dynamischen Aufgabe zur Geltung. Effekte durch das GS-ROT sind nur bei der statischen Aufgabe zu erkennen. Eine Reduktion der nEA ist hier nur für die Muskeln BIC und FLEX der Fall. Die Quadranten beeinflussen die nEA, abgesehen vom EXT für alle Muskeln signifikant. Der Einfluss der Quadranten auf die Effekte des GS-ROT ist allerdings nur für den FLEX in Quadrant C signifikant. Für eine Dreifachinteraktion mit der Arbeitshöhe ist keine Signifikanz vorhanden, jedoch ist eine Tendenz zu einem Effektverlust des GS-ROT bei höherer Arbeitshöhe festzustellen.

Armhaltung: Die Arbeitshöhe und die Quadranten bewirken, bis auf die Anteversion bei der dynamischen Aufgabe, eine signifikant unterschiedliche Armhaltung. Eine hohe Arbeitshöhe und vor allem der Quadrant C führen zu einer Zunahme der Armwinkel. Die Wahl des Griffstücks wirkt sich hingegen nur bei der statischen Aufgabe signifikant, in Form einer vermehrten Abduktion mit dem GS-ROT, aus. Das GS-FIX zeigt entsprechend kleinere Abduktionswinkel. Für die sagittale Achse kommt es während der dynamischen Aufgabe mit dem GS-ROT tendenziell zu einer durchschnittlich dorsaleren Position des Ellenbogens.

Handgelenkwinkel: Hinsichtlich der Handgelenkwinkel zeigt sich die Arbeitshöhe im Gegensatz zur Armhaltung als weniger relevant. Zwar führt eine niedrigere Arbeitshöhe bei beiden Aufgaben zu neutraleren Handgelenkwinkeln (statische Aufgabe signifikant), aber von größerer Bedeutung ist jeweils der Einfluss des verwendeten Griffstücks. Mit dem GS-ROT ergeben sich signifikant neutralere Handgelenkwinkel. Bei der statischen Aufgabe sind im Quadranten D die neutralsten Handgelenkwinkel zu beobachten, wobei kaum Unterschiede zwischen den Griffvarianten vorhanden sind. In den Quadranten B und C ist das GS-ROT geeigneter, während im

Quadranten A das GS-FIX von Vorteil ist. Aber ein signifikanter Effekt durch das GS-ROT ist nur bei niedriger Arbeitshöhe vorhanden.

Arbeitspräzision: Zwischen den Griffstücken gibt es keinen Unterschied hinsichtlich Arbeitspräzision und -leistung. Tendenziell negative Auswirkungen haben jedoch die Quadranten B und C und eine hohe Arbeitshöhe.

Subjektive Bewertung: Bei der Befragung äußerten sich die Probanden zu beiden Griffvarianten sehr positiv hinsichtlich der Arbeitspräzision und der Handhabung. Die Handstellung sowie die Körperhaltung wurden mit dem GS-ROT angenehmer empfunden, während es für die Standposition eher umgekehrt war.

Bei direkter Gegenüberstellung wurde das GS-ROT bei jeder Aussage positiver bewertet als das GS-FIX. Es sei „einfacher zu bedienen“, man könne „präziser arbeiten“, zudem sei es „handlicher“ und insgesamt „geeigneter für die gestellte Aufgabe“ und „die Handstellung [für eine große Mehrheit] angenehmer“.

Abschließend würden 34 Probanden das Instrument mit dem GS-ROT bevorzugen (17 GS-FIX, 6 keine Angabe, 1 beide).

4 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde die physische Beanspruchung bei der Verwendung eines laparoskopischen Instruments mit einem um 360 Grad rotierbaren Griffstück (GS-ROT) im Vergleich zu einem baugleichen Instrument mit nicht rotierbarem Griffstück (GS-FIX) untersucht. Verschiedene objektive und subjektive Variablen (vgl. Kapitel 2.4 Untersuchte Variablen) wurden während einer statischen Aufgabe in vier Eckbereichen des Operationsfeldes (Quadranten) und während einer zentral positionierten, dynamischen Aufgabe herangezogen (vgl. Kapitel 2.3.7 Aufgaben). Weiterhin wurde das Experiment bei zwei verschiedenen Arbeitshöhen durchgeführt, um die Bedeutung der Arbeitshöhe auf einen möglichen Einfluss der Instrumente auf die untersuchten Variablen zu berücksichtigen. Im folgenden Diskussionsteil entstammen einzelne Teile den beiden bereits mehrfach erwähnten Publikationen (48, 49). Dies zeigt sich besonders im Abschnitt Limitationen. Nahezu alle anderen Diskussionsteile sind in der Dissertation bedeutend umfangreicher und beziehen teilweise neue Literatur in die Diskussion mit ein. Vor allem sind die Vergleiche zur Feldstudie und die Bezugnahme auf die nun vollständigen Befragungsergebnisse hervorzuheben. Außerdem kommt es zur Gegenüberstellung der statischen und dynamischen Aufgabenteile. Nicht zuletzt werden auch neue Aspekte, wie zum Beispiel die Armhaltung, die Beurteilung der Kameraposition, die Bedeutung der Radialabduktion, der Einsatz alternativer Winkelsensoren, die Probleme mit der Verwendung des drehbaren Griffstücks sowie die Optimierung der Umgebungsbedingungen besprochen. Das Kapitel 4.6 „Ergonomie: Probleme, Maßnahmen und neue Ansätze“, in welchem es vor allem um neue Erkenntnisse und Entwicklungen, deren Umsetzung und der damit verbundenen Probleme aber auch zukünftigen Möglichkeiten geht, wurde ebenfalls neu in den Diskussionsteil aufgenommen.

4.1 EMG

Als wichtiges Beanspruchungsmaß wurde die elektrische Aktivität (EA) der Muskulatur angesehen, welche mittels oEMG abgeleitet wurde. Vor allem aufgrund der in Studien (9, 10) beschriebenen erhöhten Beanspruchung der Schulter-/Nacken- sowie der Armmuskulatur während laparoskopischen

Operationen war der mögliche Einfluss des GS-ROT auf die Reduktion der physischen Beanspruchung von Interesse. Es konnte durch die Verwendung des GS-ROT allerdings nur eine Reduktion der EA in den Armmuskeln (M. biceps brachii (BIC) und M. flexor carpi radialis (FLEX)) nicht aber im Schulter-Nacken-Bereich (M. deltoideus (DELTA) und M. trapezius (TRAP)) beobachtet werden.

Die Reduktion der EA des FLEX und des BIC durch das GS-ROT konnte vor allem während der statischen Aufgabe und beim FLEX, explizit im Quadranten C festgestellt werden (in dem die Hand über die Mittellinie des Pelvitainers, über die Einstichstelle hinaus bewegt werden musste, vgl. Abb. 3). Für den BIC stellte sich vor allem die niedrigere Arbeitshöhe als reduzierender Faktor heraus.

Berücksichtigt man auch die Ergebnisse der Feldstudie, bei der kein untersuchter Muskel eine Reduktion der Beanspruchung aufweisen konnte (47), könnte man vermuten, dass eine Reduktion der muskulären Beanspruchung unter Verwendung unterschiedlicher Griffvarianten nur in spezifischen Situationen beobachtet werden kann. Auch Berguer et al. (35) konnten in einer Laparoskopiestudie mit unterschiedlichen Griffvarianten die größten Unterschiede in der Muskelaktivität nur unter sehr speziellen Bedingungen erkennen, in diesem Fall bei vermehrter Flexion im Handgelenk. Aufgrund der Komplexität der laparoskopischen Chirurgie ist es wohl entsprechend schwierig eine allgemeine Reduktion der EA durch eine Veränderung der Handstellung zu erreichen.

4.1.1 Warum nicht der erwartete Effekt?

In Vorstudien war durchaus ein Potential zur Reduktion der muskulären Beanspruchung durch die Verwendung des GS-ROT zu erkennen, nicht nur in Hand-/Arm-Bereichen, sondern auch im Schulter-Nacken-Bereich. Im nachfolgenden Teil der Dissertation werden einige Erklärungsmodelle für den doch sehr geringen Effekt diskutiert.

Muskelauswahl

Die Auswahl der untersuchten Muskeln (identisch zur Feldstudie) dürfte in dieser Hinsicht keine Rolle gespielt haben, da wie bereits im Rahmen der Feldstudie diskutiert, nach aktueller Studienlage die Muskeln mit der größten Beanspruchung und einer guten Eignung für eine Ableitung des oEMG gewählt wurden (47).

Armhaltung

Eine mögliche Erklärung für das Fehlen von signifikanten Effekten auf den Schulter-Nacken-Bereich ist die annähernd gleichbleibende Armhaltung der Probanden. Obwohl zu gewissen Teilen eine neutralere Handgelenksstellung durch das GS-ROT erreicht werden konnte, gab es keinen relevanten Effekt auf die Armhaltung. Bei der statischen Aufgabe kam es sogar insgesamt zu einer etwas neutraleren Armposition mit dem GS-FIX. Unter Verwendung des GS-ROT war vermehrt eine Retroversion zu erkennen. Bei der dynamischen Aufgabe war dieser Effekt nicht vorhanden. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass hier die beidhändige Arbeit eine etwas andere Standposition zur Folge hatte.

Eine Veränderung der Armabduktion, die mit einer Veränderung der Hebelverhältnisse im Schultergelenk einhergegangen wäre, hätte zwangsläufig zu einer veränderten Belastung der Muskulatur und damit zu unterschiedlichen oEMG-Ergebnissen im Schulter-Nacken-Bereich geführt. Da es jedoch kaum Auswirkungen auf die Armhaltung gab, waren auch keine größeren Veränderungen im oEMG zu erkennen.

Die geringen Effekte des GS-ROT auf die Armhaltung könnten ein Hinweis auf die vielfältige, sehr individuelle Anwendbarkeit laparoskopischer Instrumente mit verschiedensten Rotationsmöglichkeiten sein (vgl. Kapitel 4.3 Ausreichender Effekt durch GS-ROT?).

Koordination

Ein weiterer Erklärungsansatz, der für die oEMG-Daten der Unterarmmuskulatur gelten könnte, ist die Annahme einer erhöhten EA durch höhere koordinative Anforderungen an die Muskulatur selbst. Es wird

angenommen, dass ein zusätzlicher Freiheitsgrad, wie er durch das drehbare Griffstück entsteht, einen gesteigerten Muskeltonus zur Folge haben kann. Dieser sei vor allem dann vorhanden, wenn die Anwendung zuvor nicht ausreichend trainiert wurde (61, 62). Beurteilt man mithilfe dieser Erkenntnisse die vorliegenden Ergebnisse, könnte ein möglicher Vorteil des GS-Rot durch die höheren koordinativen Anforderungen neutralisiert worden sein. Auch in der Feldstudie war dieser Aspekt bereits diskutiert worden, da hier die Effekte durch langjährige Gewöhnung der Chirurgen an das GS-FIX möglicherweise zusätzlich verstärkt worden wären (47).

Unzureichende Übungsphasen/Gewöhnungseffekt

Entsprechend spielten in diesem Zusammenhang auch die relativ kurzen Übungsphasen eine Rolle. Sowohl die Laien-Probanden im Labor (Übungsphasen mit beiden Instrumentengriffen) als auch die Chirurgen im Rahmen der Feldstudie (fünf Operationen mit dem GS-ROT (47)) könnten für die Anwendung der Instrumentengriffe nicht ausreichend trainiert gewesen sein. Unterstrichen wird die Bedeutung von Training für eine kontrollierte und sichere Ausführung laparoskopischer Aufgaben durch mehrere Studien, die eine verbesserte Arbeitsleistung und sogar eine Reduzierung der Arbeitsbelastung durch Training hervorheben (6, 63).

EMG-Überlagerungen

Eine andere Einflussmöglichkeit stellt die Überlagerung der EMG-Signale dar. Da am Unterarm zur Steuerung der Hand und den Fingern sehr viele Muskeln notwendig sind und diese teilweise sehr eng beieinander liegen, ist die gezielte oberflächliche Ableitung eines EMG-Signals schwierig. Auch die dynamische Verschiebung der Haut mitsamt der Elektroden gegenüber den darunter liegenden Muskeln beeinflusst die Ableitung. Fließen elektrische Signale anderer als der zur Ableitung bestimmten Muskeln in das EMG-Signal ein, spricht man von „Crosstalk“. Mittels anatomisch genauer Positionierung der Elektroden, optimaler Hautvorbereitung und technischer Filtermaßnahmen wird versucht diese Störungen zu reduzieren (56).

Vor allem aufgrund der insgesamt geringen Signalstärken spielt „Crosstalk“ möglicherweise eine bedeutendere Rolle. Zumal Matern et al. (38) bei einem Vergleich verschiedener Grifftypen, für den „ring“-Griff (ähnlich dem Griffmodell der vorliegenden Studie) eine hohe Aktivität des M. flexor carpi radialis feststellte. Dies wurde von Matern et al. mit der für die Griffhaltung notwendigen Radial-Abduktion und nicht allein durch die Palmarflexion begründet.

Um die Radialabduktion zu reduzieren, wird eine Vergrößerung des Winkels zwischen Schaft und Griff vorgeschlagen (38). Möglich wäre dies durch einen schwenkbaren Pistolengriff (64). Eine zusätzliche Veränderung, die auch für das GS-ROT denkbar wäre.

4.2 Winkelmesser

Ein positiver Effekt durch das GS-ROT war die Optimierung der Handgelenksstellung. Am deutlichsten waren die neutraleren Winkel bei der statischen Aufgabe in den Quadranten B und C und bei niedriger Arbeitshöhe zu erkennen. Aber auch bei der dynamischen Aufgabe konnten Vorteile für das GS-ROT gezeigt werden. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Verwendung des GS-ROT unter spezifischen Bedingungen eine größere Bedeutung für die Ergonomie haben könnte. Im Falle der Handgelenkwinkel vor allem dann, wenn die Arbeitsposition links von der Einstichstelle zu finden ist, das heißt wenn eine Handposition über die Mittellinie des Pelvitainers hinweg notwendig ist. In dieser Position kann nicht nur das GS-ROT punkten, sondern auch ein von Berguer et al. untersuchter InLine Griff (Griffstück in direkter Verlängerung zum Schaft). Dieser ermöglicht durch die leichtere Rotationsmöglichkeit um den eigenen Schaft eine geringere Flexion im Handgelenk gegenüber einem konventionellen Ring-/Pistolengriff (GS-FIX) und stellt damit einen Vorteil ähnlich dem des GS-ROT dar. Allerdings werden in derselben Studie auch Nachteile des InLine Griffes in spezifischen, anderen Situationen beschrieben (65). Auch Sánchez-Margallo et al. (66) bestätigen ergonomischere Handgelenkwinkel mittels eines axialen (InLine) Nadelhalters im Vergleich zu einem Instrument mit Ringgriff. Ob sich Vorteile eines InLine Griffes gegenüber eines rotierbaren Pistolengriffes (GS-ROT) ergeben, ist anhand dieser Studie nicht zu beurteilen.

4.2.1 Arbeitsposition / Lokalisation im Situs

Die beschriebenen Positionen während der statischen Aufgabe entsprechen im jeweiligen Quadranten eher den Randbereichen des realen operativen Situs. Es stellt sich die Frage, wie häufig während Operationen überhaupt in diesen Bereichen gearbeitet wird. Der Bewegungsumfang wurde im Rahmen der Feldstudie nicht überprüft. Daher kann nur die Vermutung angestellt werden, dass die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen Labor- und Feldstudie auch aufgrund der unterschiedlichen Arbeitspositionen oder deren unterschiedlich lange eingenommenen Dauer zu Stande gekommen sind. Bei der Feldstudie war zudem die Messung der Handgelenkwinkel aus hygienischen Gründen nicht möglich, so dass die potentiellen Effekte auf die Handgelenksstellung nicht anhand objektiver Parameter überprüft werden konnten (47).

4.2.2 Technikanpassung

Während sich in den Quadranten B, C und D neutralere Handgelenksstellungen durch das GS-ROT erreichen ließen, war in Quadrant A das GS-ROT durch eine vermehrte Dorsalextension eher von Nachteil. Als mögliche Erklärung kommt nach Auswertung der Bildaufnahmen (alle zwei Sekunden wurde automatisiert ein Bild von der Hand-Armstellung der Probanden aufgenommen), eine Einengung des Bewegungsspielraums zwischen dem Instrumentengriff und dem Pelvitainer in Betracht. Ein Problem, welches von den Probanden mit GS-ROT durch eine vermehrte Dorsalextension und mit dem GS-FIX durch eine Pronationshaltung des Unterarms gelöst wurde. Das heißt es wurde eine Rotation des Instruments um die Schaftachse vorgenommen. Hierdurch konnte im Falle des GS-FIX eine neutralere Handgelenksstellung erreicht werden. Die Tatsache, dass bei speziellen Bedingungen und Positionen entsprechende Griff-/Handhaltungen ergonomische Vorteile haben, unterstreicht die Bedeutung und Notwendigkeit eines Handhabungstrainings für die situative Anwendung der Instrumente und Griffvarianten. Denn auch mit dem drehbaren Griffstück wäre es möglich gewesen eine neutralere Position, ähnlich der Position mit dem GS-FIX, einzunehmen. Warum dies nicht erfolgte bleibt unklar. In der Praxis werden auch ganz andere Techniken angewendet (vgl. Abb. 20). In diesem speziellen Fall möglicherweise aufgrund der räumlichen Nähe zur Kamera und den damit

verbundenen sehr eingeschränkten Platzverhältnissen. Zwar sind die Instrumente nicht für unterschiedliche Greifvarianten gebaut worden, aber trotzdem scheint diese Art der Anwendung in einzelnen Situationen eine angenehmere Arbeitsposition zu ermöglichen.

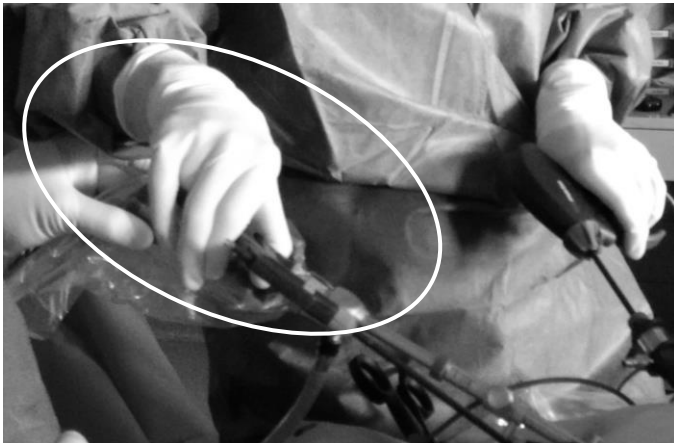


Abbildung 20: Angepasste Grifftechnik für eine bessere, angenehmere Hand-/Armhaltung.

(Daumen in der vorgesehenen Öffnung für den Ring- und Mittelfinger, Ringfinger in der Öffnung für den Daumen, die übrigen Finger darüberliegend.)

4.2.3 Kameraposition

Die geringen Platzverhältnisse stellen grundsätzlich ein Problem der laparoskopischen Chirurgie dar. Vergleicht man Labor- und Feldstudie in Bezug auf die Positionierung der Kamera sowie die Lagerung des Patienten (Pelvitainer) zeigt sich, dass im Operationssaal ein gekippter Operationstisch vorhanden war. So konnte bei der untersuchten Operation (Laparoskopische suprazervikale Hysterektomie, Gebärmutterentfernung) eine Kopftieflage des Patienten herbeigeführt werden. Auf diese Weise wird das kleine Becken besser erreichbar, da sich die übrigen Organe der Schwerkraft folgend, kopfwärts bewegen. Als Nebeneffekt ergeben sich bessere Platzverhältnisse zwischen dem Patienten und den verwendeten Instrumentengriffen. Die Umsetzung eines gekippten Tisches auch im Labor hätte möglicherweise die Einengung des Bewegungsspielraums zwischen Instrument und Pelvitainer, wie im vorherigen Kapitel 4.2.2 diskutiert, reduziert.

4.2.4 Ulnar-/Radialabduktion

Neben der Messung der Flex-/Extension wäre auch die Erfassung der Ulnar-/Radialabduktion interessant gewesen. Zumal eine große Radialabduktion und hohe muskuläre Beanspruchungen des M. flexor carpi radialis bei der Verwendung von Ring-/Pistolengriffen, vor allem bei kleinen Winkeln zwischen Schaft- und Griffachse (wie bei GS-FIX und GS-ROT der Fall), durch Matern et al. bereits beschrieben wurden (38). Außerdem war der M. flexor carpi radialis auch derjenige Muskel, welcher in den EMG-Ergebnissen den größten Entlastungseffekt durch das GS-ROT zeigte (vgl. Kapitel 3.2 Oberflächen-Elektromyographie). Dementsprechend wäre es denkbar, dass sich durch das GS-ROT vor allem die Radialabduktion reduzieren ließe.

Leider war es nicht möglich Daten bezüglich Ulnar-/Radialabduktion zu erheben, da mit dem verwendeten Winkelsensor in Vorversuchen eine nur unzureichende Messqualität/-genauigkeit festzustellen war. Warum es zu den Problemen kam, konnte nicht geklärt werden.

4.2.5 Alternative Sensoren

Von den Probanden wurde zum Teil die vielen Kabel an den verwendeten Goniometern und die entsprechend vielen Klebestreifen kritisiert, die sehr umständlich an den Probanden angebracht werden mussten (21). Mittlerweile gibt es diese Messinstrumente allerdings auch in kabelloser Form (59).

Als Alternative zur Messung mittels Goniometer wäre die Verwendung eines Datenhandschuhs möglich gewesen zum Beispiel den CyberGlove II (CyberGlove®, CyberGlove Systems, San José, CA, USA). Dieser Handschuh enthält Sensoren, die eine Bewegungsaufnahme der Hände und Finger zulassen und aufgrund ihrer Beschaffenheit (Stretch-Material, Mesh-Handfläche, offene Fingerspitzen) die Bewegungsfreiheit und die Sensibilität kaum einschränken sollen. Der CyberGlove II Datenhandschuh wird laut der Firma CyberGlove Systems zur Bewegungserfassung für vielfältige Zwecke eingesetzt. Zum Beispiel zur Evaluierung digitaler Prototypen, Virtual-Reality-Biomechanik (auch zur Rehabilitation) oder bei der Erstellung von Animation (67). Auch in mehreren Studien zur laparoskopischen Chirurgie wurden bereits solche Datenhandschuhe verwendet (66, 68, 69). Wahrscheinlich wäre mit

diesen Handschuhen bei den durchgeführten Versuchen eine exaktere Analyse aller Bewegungsrichtungen, inklusive der Rotation im Handgelenk möglich gewesen.

4.2.6 Bedeutung der Handgelenkwinkel

Warum neutralere Handgelenkwinkel überhaupt von Bedeutung für eine Reduktion der biomechanischen Belastung sind, ergibt sich unter anderem aus der besseren Kraftübertragung bei neutralerer Handgelenksstellung.

So konnten Gillard et al. (70) zum Beispiel zeigen, dass bei einem konstanten sEMG-Spiegel von 10 Prozent MVC eine Veränderung des Handgelenkwinkels von Dorsalextension zu Palmarflexion zu einer Reduktion der übertragenen Kraft (Drehmoment) durch die Flexoren am Unterarm führte. Auch die Ergebnisse von Swangnetr et al. (71) belegen eine verbesserte Muskeffizienz (mehr Griffkraft pro Muskelaktivität) bei neutralerer Handgelenksstellung. Selbstverständlich ist die benötigte Kraft während laparoskopischen Operationen kein limitierender Faktor, aber nichtsdestotrotz beugt eine effektivere Kraftübertragung womöglich einer zunehmenden Ermüdung vor. Ob sich neutralere Handgelenkwinkel wirklich positiv auf die Ermüdung der Muskulatur auswirken, lässt sich im Rahmen dieser Studie nicht beurteilen.

Abgesehen davon wird zudem angenommen, dass extreme Handgelenksstellungen und eine verkrampfte Handhaltung das Risiko für eine Kompression und Reizung der dort verlaufenden Nerven erhöhen und zu Sensibilitätsstörungen führen können (72, 73). Ab welchen Winkeln es gesundheitlich problematisch wird, kann nicht sicher beurteilt werden. Es gibt keine definierten Grenzwerte, aber Bleyer et al. berichten in ihrem Forschungsprojekt, dass laut ihren Recherchen die Hälfte des maximalen Bewegungsumfanges noch akzeptabel wäre. Dies würde für die Palmarflexion Winkel bis 37,5 Grad und für die Dorsalextension bis 30 Grad bedeuten (74). Zieht man diese Bereiche als Richtwerte heran und vergleicht sie mit den Mittelwerten der gemessenen Handgelenksdaten (vgl. Abb. 16), dann könnte man diese als akzeptabel beurteilen. Betrachtet man allerdings die Histogramme in Abbildung 15, dann werden durchaus und vermehrt bei der

Verwendung des GS-FIX sowie bei hoher Arbeitshöhe, nicht akzeptable, beziehungsweise sogar Bewegungsgrenzbereiche erreicht.

Diese extremen Winkel traten zwar insgesamt relativ selten auf, trotzdem war die Handgelenksstellung mit dem GS-ROT signifikant neutraler. In Verbindung mit den aufgeführten Studien ist dadurch ein positiver Effekt anzunehmen. Dies spiegelt sich auch in der subjektiven Wahrnehmung der Probanden wider, die mit 82 Prozent die Handstellung mit dem GS-ROT angenehmer empfanden (vgl. Abb. 19).

4.2.7 Verwendung der Rotierfunktion/Griffeinsatz

Obwohl die Handstellung für die Probanden subjektiv spürbar angenehmer war (vgl. Kapitel 3.6 Subjektive Bewertung) und bei einem um 360 Grad drehbaren Griffstück anzunehmen wäre, dass in jeglicher Situation eine neutrale Handstellung eingenommen werden kann, blieben in den absoluten Handgelenks-Messwerten (Flexion-Extension) große Unterschiede zwischen den Griffstücken aus.

Es stellt sich die Frage, ob in diesem Zusammenhang die nicht gemessene Radialdeviation von Bedeutung ist (wurde in Kapitel 4.2.4 bereits diskutiert) oder ob die Probanden Schwierigkeiten mit der Handhabung des Griffstücks hatten. Laut den Befragungen gab es bei den Probanden keine Probleme mit der Umsetzung der Aufgaben. Denkbar wäre jedoch, dass der Einsatz der Drehfunktion für die Probanden problematisch war. Eine weitere mögliche Erklärung für eine unvollständige Ausschöpfung der Drehfunktion des GS-ROT, könnte mit der Dauer der Aufgaben zusammenhängen. Diese könnte zu kurz gewesen sein, um die Probanden durch eine zunehmende Beanspruchung zu einer Optimierung ihrer Hand-Arm-Haltung zu bewegen.

Des Weiteren darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Probanden möglicherweise zu unerfahren im Umgang mit den Instrumenten waren. Denn Sánchez-Margallo et al. (66) konnten zeigen, dass sich laparoskopische Vorerfahrung positiv auf die Handgelenksstellung der Chirurgen auswirkt.

Sollten diese Annahmen zutreffen, wäre eine längere Aufgabe oder alternativ ein ausführlicheres Anwendungstraining die logische Konsequenz.

Ein generelles Problem hinsichtlich der Beurteilung des Griffesinsatzes ist, dass über eine Veränderung der Handgelenkwinkel nicht zwangsläufig auf den Einsatz der Griffrotation geschlossen werden kann. Es wäre von Vorteil gewesen im untersuchten Griffstück einen Sensor zu platzieren, der es ermöglicht hätte, den Einsatz und die Winkelverteilung des GS-ROT zu quantifizieren. Damit wäre der tatsächliche Umfang der Rotations-Nutzung des GS-ROT und die Korrelation mit einer neutraleren Handgelenksstellung beurteilbar geworden.

Interessant wäre in diesem Zusammenhang auch eine Subgruppenanalyse gewesen. Um zu beurteilen, ob die Probanden mit umfangreichem Griffesinsatz auch diejenigen waren, bei denen neutralere Handgelenkwinkel beziehungsweise eine Reduktion der Muskelbeanspruchung festzustellen war. Im Gegenzug wäre es auch möglich gewesen, Probanden zu identifizieren, welche die Drehfunktion weniger häufig verwendeten. Daran hätten gegebenenfalls Hinweise für deren Gründe abgeleitet werden können. Denkbar ist, dass zum Beispiel die Körpergröße und die Größe der Hände eine Rolle spielten.

Diese Folgerung wird verständlicher, wenn man die Äußerungen von sechs Probanden heranzieht, welche auf die Aussage „Mir ist (hinsichtlich drehbarem Griffstück) negativ aufgefallen.“ unter anderem folgendes ergänzten:

„Schaftdrehrad nicht so leicht zu erreichen.“

„Für kleine Hände generell schwieriger (Drehen der Pinzette schwierig).“

„Entfernung von Griff und Drehregler des Instruments suboptimal und verhindert vollen Nutzungsumfang des Drehgriffs.“

„Bei gedrehtem Griff ist es kaum möglich die Zange zu drehen.“

„Schwierige Drehmöglichkeit mit Zeigefinger.“

„In bestimmten Positionen war das Drehrad nicht mehr erreichbar.“

Zur Verständlichkeit dieser Aussagen ist hinzuzufügen, dass es mit Hilfe des genannten Drehreglers möglich ist, den Schaft des Instruments und damit das Greifwerkzeug am Ende des Schafts so zu drehen, dass das zu greifende

Objekt gut zu erreichen ist (vgl. Abb. 6). Durch diese Funktion lässt es sich vermeiden, das Griffstück um den Schaft rotieren zu müssen. Wie bereits erwähnt, ermöglicht diese isolierte Schaftrotation, auch den Griff im Verhältnis zum Schaft in eine für das Handgelenk günstigere Position zu bringen, wodurch sich bereits eine Vielzahl von Extrempositionen vermeiden lassen.

Wäre dieser Drehregler durch Rotation des Griffstücks tatsächlich in manchen Situationen schlecht zu erreichen, würde dies für den Einsatz des GS-ROT große Einschränkungen mit sich bringen.

Man müsste dann den Schaft samt dem Griff drehen, um die Instrumentenspitze bewegen zu können, oder man verzichtet zu Gunsten des Drehreglers auf die Drehbarkeit des Griffstücks. In beiden Fällen hätte dies eine ungünstigere Handgelenksstellung zur Folge. Auch dieses Problem der Erreichbarkeit des Drehreglers könnte einen unzureichenden Griffeinsatz und teilweise fehlende Effekte erklären.

4.3 Ausreichender Effekt durch GS-ROT?

Grundsätzlich ist laut Studienlage von einem ergonomischen Optimierungsbedarf der verwendeten Griffe auszugehen (75, 76). Auch in Befragungen der betroffenen Chirurgen erachten diese die laparoskopischen Griffstücke und Instrumente als eine bedeutende Ursache ihrer muskuloskelettalen Beschwerden (1, 77).

Es stellt sich allerdings die Frage, ob ein rotierbares Griffstück die geeignete Veränderung darstellt, um bei laparoskopischen Operationen die Belastung zu reduzieren. Diesbezüglich wäre es notwendig detaillierter auf verschiedene Griffvarianten einzugehen. Es ist anzunehmen, dass je nach Operation oder sogar je nach Operationsabschnitt, je nach Arbeitshöhe und Arbeitsposition und je nach Anatomie des Operateurs, unterschiedliche Grifftypen von Vorteil sind. Folglich würde nicht eine Griffvariante als die ergonomisch Beste gelten, sondern je nach Bedingungen, Aufgabe oder Operateur gäbe es unterschiedlich geeignete Griffvarianten (46, 64, 65).

Im Gesamten betrachtet, lassen sich eventuell die Vorteile verschiedener Griffvarianten kombinieren, um dadurch ein breiteres Spektrum an

Einsatzmöglichkeiten abzudecken. Eine Kombination aus einem rotierbarem Pistolengriff (wie GS-ROT) mit einer Kippfunktion (zur Vergrößerung des Schaft-Griff-Winkels und Reduktion der Radialabduktion) und einem aus jeder Position erreichbarem Drehrad wäre zum Beispiel in Zusammenschau der vorliegenden Ergebnisse eine mögliche Variante (64).

Trotz des Optimierungspotentials, welches in den Instrumentengriffen steckt, ist das Griffstück bei Betrachtung des gesamten OP-Settings als alleinige Veränderung nicht ausreichend, um einen zufriedenstellenden Effekt auf die physische Beanspruchung erreichen zu können. Andere Faktoren spielen in diesem Zusammenhang eine weitaus bedeutendere Rolle (vgl. folgende Kapitel).

Eine Veränderung des OP-Settings scheint notwendig, um eine Verbesserung des Wirkungsgrads von Instrumentengriffen zu erreichen. Denn gewisse ungünstige Bedingungen wie zum Beispiel die hohe OP-Tischhöhe (vgl. Kapitel 4.4.3 Effektverlust des GS-ROT), haben negative Auswirkungen auf das GS-ROT, während andere Bedingungen (Arbeitsrichtung, Quadrant B und C) hingegen die Effektivität des Griffstücks hervorheben (niedrigere muskuläre Beanspruchung und günstigere Handstellung). Demensprechend sollten erst allgemeine Verbesserungen umgesetzt werden, bevor versucht wird die Arbeitsbedingungen spezifischer zu optimieren.

4.4 Wichtige Einflussfaktoren

Vor allem zwei Einflussgrößen, die Arbeitshöhe und die Position des Instrumentes im Operationsgebiet, sind für die Beurteilung und Optimierung der Beanspruchung während laparoskopischen Operationen zu berücksichtigen.

4.4.1 Arbeitsposition / Lokalisation im Situs

Je nach Orientierung des Instruments innerhalb des Operationssitus kommt es zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen. In den Quadranten B und C wurden die schlechtesten Bedingungen festgestellt, welche neben einer höheren Muskelbeanspruchung und ungünstigeren Handgelenkwinkeln sowie vermehrter Abduktion des Oberarms, auch zu einer tendenziell schlechteren Arbeitspräzision führten (vgl. Kapitel 3.5 Arbeitsleistung und Präzision, erhöhte

Fehleranzahl). Bereits durch FREDE et al. (53) wurde gezeigt, dass die benötigte Zeit für eine Aufgabe bei einer lateralen Positionierung (v.a. links des Einstichs, entsprechend den Quadranten B und C), im Vergleich zu einer neutraleren Position, verlängert war.

Grund hierfür könnte eine Einschränkung der Platzverhältnisse aufgrund der extrakorporalen Annäherung von Instrument/Griff und Kamera sein. Weiterhin kommt es zu einer Verlängerung der intrakorporalen Anteile des laparoskopischen Instruments, was zu erhöhten koordinativen Anforderungen und damit gegebenenfalls zu reduzierter Instrumentenkontrolle führt (53). Ein größerer intrakorporaler Anteil des Instruments führt dazu, dass eine Bewegung des extrakorporalen Anteils eine größere intrakorporale Bewegung zur Folge hat (vgl. Abb. 21).

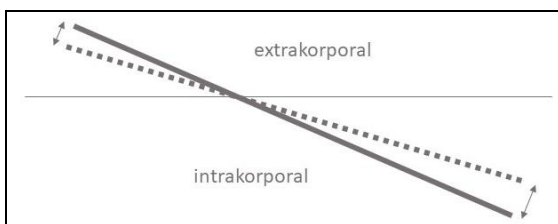


Abbildung 21: Schematische Darstellung der veränderten Bewegungsumfänge bei Änderung der intra-/extrakorporalen Instrumentenanteilen.

Durch die fehlende Tischkipfung in den Laborversuchen (vgl. Kapitel 4.2.3), könnte diese Problematik der eingeschränkten Platzverhältnisse im Vergleich zu einer realen Operation noch verstärkt worden sein.

Außerdem sollte für eine gute Hand-Auge-Koordination die Blickachse zum Monitor möglichst der Arbeitsrichtung entsprechen (23, 78). Da dies in den Quadranten B und C durch die Standposition nicht der Fall war, könnte dieser Umstand zusätzlich zu einer schlechteren Präzision und Arbeitsleistung beigetragen haben.

Generell ist eine laterale Standposition („Torero Position“) ergonomisch ungünstig und führt im Vergleich zu einer frontalen Position zu erhöhten physischen Anstrengungen und einer schlechteren Arbeitsleistung (vgl. Kapitel 4.6 Ergonomie: Probleme, Maßnahmen und neue Ansätze) (79).

4.4.2 Arbeitshöhe

Trotz der Vorteile des GS-ROT auf die Handgelenksstellung und die Beanspruchung der Unterarmmuskeln blieb ein Effekt auf die Schulter-Nacken-Region (TRAP und DELT) aus. In dieser Körperregion zeigte sich vor allem die Arbeitshöhe als signifikanter Gesichtspunkt in Bezug auf die Armabduktion und die Muskelbeanspruchung. In der Schulter-Nacken-Region konnte durch die niedrigere Arbeitshöhe für den TRAP und DELT eine Reduktion der nEA um 0,13-0,21 erreicht werden. Dies entspricht einer Reduktion um 26 bis 43 Prozent während der dynamischen Aufgabe.

Auf die Unterarmmuskulatur sowie den Bizeps hatte die Arbeitshöhe keinen Einfluss. Eine Ausnahme stellt jedoch der BIC während der statischen Aufgabe dar. Hier war die nEA bei niedriger Arbeitshöhe ebenfalls reduziert.

Mit der verwendeten höheren Arbeitshöhe wurden nahezu reale Bedingungen hergestellt. Denn die Operationstische sind häufig nur auf eine minimale Höhe von 72 cm (80) einstellbar, so dass die Tischhöhe für viele Probanden höher als die in dieser Studie verwendete individuell optimierte (niedrige) Arbeitshöhe wäre. Berücksichtigt man die zusätzliche Höhe, die sich durch den Körper des Patienten ergibt, zeigt sich für einen Großteil der Studienteilnehmer (56 Prozent der Studienpopulation würden eine Tischhöhe unter 72 cm benötigen), dass sie unter realen Bedingungen nicht bei optimierter Arbeitshöhe hätten arbeiten können.

Vielen Studien (22, 46, 52, 80) zufolge ist die Arbeitshöhe von hoher Relevanz zur Reduktion muskuloskelettaler Belastungen. Vor allem die Schulter- und Nackenmuskulatur ist davon betroffen. Auch durch die vorliegenden Studienergebnisse wird dies nochmals bestätigt.

4.4.3 Effektverlust des GS-ROT

Durch die Verwendung zweier Arbeitshöhen sollte zum einen der Einfluss auf die Beanspruchung im Schulter-Arm-/Hand-Arm-System und zum anderen die Beeinflussung des potenziellen Effekts des GS-ROT beurteilt werden. Beispielsweise wurde bereits durch Matern et al. (46) für andere Griffvarianten eine Beeinflussung durch die Tischhöhe beschrieben. Hervorzuheben ist, dass

durch eine Erhöhung der Arbeitshöhe auch die positiven Effekte des GS-ROT hin zu einer neutraleren Handgelenksstellung geringer wurden.

Eine Erklärungsmöglichkeit könnten veränderte Bewegungsabläufe mit einer vermehrten Supination des Unterarms sein. Was, wie bereits diskutiert, erst durch die Möglichkeit der Schaftrotation mittels Drehregler (vgl. Abb. 6) möglich wird. Unterstützt wird diese Annahme durch die steigende EA des M. biceps brachii bei hoher Arbeitshöhe. Der Bizeps ist unter anderem bei der Supinationsbewegung des Unterarms beteiligt. Ob für eine solche Veränderung der Hand-/Armhaltung der Versuch einer Reduktion der Beanspruchung oder veränderte Platzverhältnisse oder ganz andere Gründe eine Rolle spielen, lässt sich nicht klären.

Matern et al. (46) konnten zeigen, dass sich die besten Arbeitshöhen zum Erreichen einer ergonomischen Haltung zwischen den Griffvarianten der laparoskopischen Instrumente unterscheiden. Auch für das GS-ROT könnte es daher eine ganz spezifische, optimierte Arbeitshöhe geben.

Um diese optimierten Arbeitshöhen erreichen zu können, wären Operationstische notwendig, die sich auch auf niedrigere Höhen einstellen lassen, als dies bisher häufig der Fall ist (46, 52, 80).

Diese Feststellungen sind für zukünftige Studien wichtig, da berücksichtigt werden muss, dass Rahmenbedingungen wie die Arbeitshöhe oder die Arbeitsrichtung die Versuchsergebnisse beeinflussen können. Die richtige Arbeitshöhe ist im Gegenzug von den verwendeten Instrumentengriffen abhängig. Dementsprechend können die jeweils gewählten Umgebungsbedingungen einen Einfluss auf die Entwicklung und die Verwendung von laparoskopischen Instrumenten haben.

Diese Folgerungen weisen auf entsprechend ungünstige Umgebungsbedingungen im Rahmen der Feldstudie hin, da in dem vorgefundenen Setting keine optimierten Bedingungen für die Verwendung des GS-ROT geschaffen werden konnten. Die Tischhöhe war in den Operationssälen durch die minimal einstellbare Höhe begrenzt und zudem in Bezug zur Körpergröße der Operateure relativ unterschiedlich (47).

Um die zu hohen Operationstische ausgleichen zu können, werden teilweise Stufen zur Erhöhung der Standposition verwendet. Diese sind jedoch für eine dauerhafte Anwendung nicht geeignet, da sie die Standposition einschränken, die Verwendung eines Fußpedals erschweren und die sterilen Bedingungen gefährden können (zum Beispiel beim Anbringen und Entfernen). Eine Standerhöhung mittels Stufen ist keine geeignete Lösung des Problems, zumal mindestens 50 Prozent unserer Probanden, zieht man die ergonomisch optimierte Arbeitshöhe als Maßstab heran, unter realen Bedingungen eine Stufe hätten verwenden müssen.

4.5 Arbeitspräzision

Selbstverständlich muss bei der Verwendung eines neuen Instruments gewährleistet werden, dass es durch eine ergonomische Veränderung zu keiner Gefährdung der Patienten kommt. Da die untersuchten Griffvarianten bereits als Medizinprodukte zugelassen waren, war davon auszugehen, dass keine gravierenden Mängel in der Handhabung vorlagen. Um diesen Aspekt trotzdem zu berücksichtigen, wurden die Präzision und die Arbeitsleistung bei der Verwendung der beiden Griffe verglichen. Es zeigten sich weder Unterschiede in der Fehleranzahl (statische Aufgabe) noch in der Arbeitsleistung (dynamischen Aufgabe; Aufgabendauer und Pinanzahl). Auch bei unterschiedlichen Arbeitshöhen war zwischen den Griffvarianten kein Unterschied zu erkennen. Dass keine wesentlichen Unterschiede zwischen zugelassenen Griffvarianten zu erwarten sind, zeigte bereits Matern et al. (38) mit einer Präzisionsaufgabe („heißer Draht“). In seiner Studie zeigten sich für fünf Griffvarianten keine signifikanten Unterschiede in den Kategorien Berührung, Kontaktzeit und Versuchsdauer.

Was jedoch einen Einfluss auf die Arbeitspräzision haben könnte, ist die Arbeitshöhe. In den Studienergebnissen ist bei der höheren Arbeitshöhe eine leichte, nicht signifikante Zunahme der Fehleranzahl und der Aufgabendauer festzustellen. Dies hebt einmal mehr die große Bedeutung der Arbeitshöhe und damit verbunden den Bedarf an individuell anpassbaren Operationstischen hervor.

4.6 Ergonomie: Probleme, Maßnahmen und neue Ansätze

Nicht nur für die Umrüstung von Operationstischen, sondern im Allgemeinen für den Kauf von Medizinprodukten, ist häufig leider der Preis das entscheidende Kriterium. Weil sich der mögliche ergonomische Vorteil finanziell nur schwer abbilden lässt, sollte es nicht zu einer Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen kommen (42).

Würde sich eine Verbesserung der Qualität und des Operationsergebnisses abbilden lassen oder würde sich im besten Fall sogar eine Verkürzung der Operationszeit zeigen, wäre dies ein Grund für Krankenhäuser in Ergonomie zu investieren. Dies wiederum würde den wirtschaftlichen Anreiz zur Umsetzung neuer Erkenntnisse und Entwicklungen steigern und die Forschung auf diesem Gebiet vorantreiben. Das große Problem ist jedoch, dass sich Aspekte der Qualität nur schwer auf einzelne Faktoren zurückführen lassen. Denn die Qualität einer Operation ist ein komplexes Konstrukt mit vielen verschiedenen Einflussfaktoren.

Ein „hartes“ Kriterium ist jedoch die Operationsdauer. Hier konnten die Studien (25, 81) zur ergonomischen Operations Plattform - ETHOS (Operating Ergonomic Platform; ETHOS TM Bridge City Surgical, Portland, OR) von Erfolgen berichten. Es wurde ein neu konstruierter individuell einstellbarer Operations-Stuhl mit Stabilisierungsstütze am Brustkorb und einstellbaren Arm- und Fußstützen untersucht. Videoanalysen und subjektive Erhebungen zeigten bei einem Vergleich der Arbeitsposition neben einer Verbesserung der ergonomischen Bedingungen, eine Verkürzung der Operationsdauer im Vergleich zur konventionellen Laparoskopie. Der Vorteil drückt sich objektiv in einem durchschnittlichen Zeitgewinn von etwa neun Minuten (49 zu 39.7 Minuten) aus (81). Vor allem die Möglichkeit einer frontalen Arbeitsrichtung (Position hinter dem Pelvitrainer, im Vergleich zur seitlichen „Torero Position“) stellt sich als großer Vorteil dar. Dies wurde auch bereits durch Youssef et al. bestätigt (79). Eine frontale Position ist bei einigen Operationen, wie zum Beispiel im kleinen Becken aber schwer zu realisieren, da der Oberkörper des Patienten ein Hindernis zwischen Operateur und Operationsgebiet darstellt. Eine alternative Position wäre über dem Patienten, wie dies theoretisch mit dem

Unterstützungssystem in der Ethos-Studie denkbar wäre. Allerdings würde hierbei der Arbeitsbereich der Anästhesie mit der Position des Stuhls kollidieren und zudem die Distanz vom Kopfende zum Operationsgebiet sehr groß werden.

Auch der Aspekt einer übereinstimmenden Arbeits- und Blickrichtung könnte in dieser Konstellation einen Einfluss auf die ergonomische und operative Qualität gehabt haben (23, 78).

Weitere Maßnahmen und Ansätze

Tokas et al. (25) versuchten diese positiven Ergebnisse der ETHOS-Studien noch weiter zu optimieren, indem sie das neue Unterstützungssystem mit zwei weiteren Aspekten, nämlich der 3D-Videolaparoskopie und speziellen Griffstücken mit sieben Freiheitsgraden (82, 83) (Radius Surgical System, RSS, Tuebingen Scientific Medical GmbH, Tübingen, Deutschland) kombinierten. Wie beschrieben, wird durch die Verwendung des Stuhls bereits die Arbeitshöhe, Arbeitsrichtung und Blickrichtung optimiert (25).

Die gleichzeitige Optimierung von mehreren Aspekten kann hinsichtlich der beschriebenen Synergieeffekte und der Vermeidung von gegenseitiger Abschwächung als sehr sinnvoll betrachtet werden. Leider werden in vielen Studien nur Teilaspekte, häufig unter suboptimalen Bedingungen untersucht. In der genannten Ethos-Studie wird von der Kreation optimaler ergonomischer Umgebungsbedingungen gesprochen. Was bedeuten soll, dass zum einen bereits das Unterstützungssystem eine Vielzahl von ergonomischen Verbesserungen bietet. Zum anderen aber auch die 3D-Bilder im Vergleich zum 2D-Bild, durch bessere Sicht und bessere motorische Reaktion auf den visuellen Stimulus, den mentalen Stress reduzieren (84–87). Zudem bieten die RSS-Griffe umfangreiche Freiheitsgrade hinsichtlich der Bewegung der Instrumente mit besserer Präzision und besserem Ergebnis (25, 88, 89).

Diese Kombination und die daraus resultierenden Ergebnisse hören sich sehr vielversprechend an. Ob jedoch die klinische Anwendung möglich ist, bleibt fraglich.

Es werden, wie auch bei anderen Unterstützungssystemen (Exoskelett (90), Body-Support (91), Arm-Support (26)), häufig die limitierten Platzverhältnisse

am Operationstisch zum Problem. Hinzu kommt die große Variabilität der Operationen, bei denen der Operateur zum Beispiel an unterschiedlichen Tischseiten stehen muss. Der Ethos-Operation-Stuhl ist bei urologischen Operationen sicherlich gut einsetzbar, während es bei gynäkologischen Operationen im kleinen Becken mit der Positionierung des Stuhls schwierig werden könnte.

Weiterhin ist die Einhaltung der Sterilität im Operationsgebiet wichtig und bei der Verwendung von zusätzlichen Hilfsmitteln auch mit zusätzlichem Aufwand und Risiken verbunden. Auch kann die Vorbereitungszeit bis zum Beginn einer Operation durch zusätzliche Unterstützungssysteme verlängert sein. Es macht finanzwirtschaftlich wenig Sinn, einige Minuten hinsichtlich der Operationsdauer einzusparen, wenn die Vorbereitung deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt. Aber das Hauptproblem sind meist die hohen Anschaffungskosten. Solange nicht belegt werden kann, dass durch neue Operationsmethoden und -systeme ein direktes Einsparungspotential für die Kliniken möglich ist, gibt es kaum einen Anreiz für Neuanschaffungen. Andererseits gilt auch, solange keine Vorteile für die Patienten und damit verbundene Einsparungen für die Krankenkassen belegt werden können, sind diese nicht bereit für den Mehraufwand aufzukommen. Für Operationen mit dem roboterassistierten System DaVinci konnte dies bereits erreicht werden. Aber die roboter-assistierten Verfahren lohnen sich im Vergleich zur konventionellen Laparoskopie nur bei technisch schwierigen und voraussichtlich langen Operationen (92).

Eine Veränderung, die alle Vorteile vereint und keine Nachteile mit sich bringt, wird aller Voraussicht nach kaum zu finden sein. Aber bei Zusammenschau der Studienlage wird deutlich, dass es eine Vielzahl von Problemen gibt, für die bereits entsprechende Lösungsansätze geliefert werden konnten. So dass es heutzutage möglich sein sollte, die physische und psychische Beanspruchung im Operationssaal zu reduzieren. Wichtig wäre es erst an den großen und dann im Verlauf an den kleinen Stellschrauben zu drehen, da sich mit jeder Änderung im operativen Setting ebenfalls die Gegebenheiten und die entsprechend notwendigen Maßnahmen verändern können (vgl. Kapitel 4.4.3).

Zukünftig wird die Chirurgie wahrscheinlich von verschiedensten Unterstützungssystemen geprägt sein. Zumal folgende Generationen mit vielen technischen Entwicklungen bereits vertraut sind. Der Umgang mit virtuellen Bildern, 3D-Animationen und verschiedensten Griffvarianten in Form von Controllern oder Joysticks wurden durch die Entwicklungen der Unterhaltungsindustrie geschult.

Das Radius Surgical System (25, 88) verwendet zum Beispiel eine Art Joystick als Griff für das laparoskopische Instrument. Auch die Griffvariante der Universität Michigan wurde als „Joystick-Griff“ entworfen. Dieser Griff ist eingebettet in eine ganz neue Form der Bedienungsmechanik. Mit dem FlexDex Laparoskopie Instrument (Alphatron Surgical B.V., Rotterdam, NL) wird versucht den Bedienkomfort der Roboter-Chirurgie in direkter Anwendung am Patienten, ohne Zwischenschaltung eines Roboters umzusetzen. Der Vorteil hierbei ist, dass es nur einen Bruchteil eines Robotersystems kostet und es sich leicht und schnell anwenden lässt. So mache es den Einsatz für jeden und nahezu überall möglich (93). Laut Hersteller könnte dieses Instrument die minimalinvasive Chirurgie revolutionieren. Durchaus bietet es viele positive Aspekte, die nicht nur eine bessere Qualität der minimalinvasiven Chirurgie erwarten lassen, sondern vor allem auch ergonomische Verbesserungen für die Chirurgen mit sich bringen. Das Instrument sei in ergonomisch, entspannter Körperhaltung intuitiv zu bedienen (93).

Hinsichtlich des Vergleiches zu Videospiele wäre zur Verbesserung der Umgebungsbedingungen (Optimierung der Monitorposition, Verwendung von 3D-Bildern) der Einsatz von VR-Brillen (VR, Virtual Reality) im Operationssaal denkbar. Diese würden mehr Platz um den Operationstisch schaffen und hätten wahrscheinlich auch eine Optimierung der Blickrichtung und eine entspanntere Kopfhaltung zur Folge. Ein Problem könnte aber die fehlende Wahrnehmung der realen Umgebung und die relativ kleine Bildfläche darstellen.

4.7 Subjektive Bewertung

Die Ergebnisse der Handgelenkwinkel, welche eine insgesamt neutralere Stellung mit dem GS-ROT zeigen, werden durch die Befragungsdaten bekräftigt. In beiden Studienteilen (Labor und Feld) bildete die subjektive Wahrnehmung der Probanden eine angenehmere Handgelenksstellung mit dem GS-Rot ab. Im direkten Vergleich der Griffvarianten wurde die Handstellung von 82 Prozent (Laien) beziehungsweise 75 Prozent (Chirurgen) als angenehmer empfunden und 67 Prozent beziehungsweise 45 Prozent bewerteten das GS-ROT als handlicher.

Hinsichtlich des Gesamteindrucks gaben die Probanden in der Laborstudie an, dass das GS-ROT einfacher zu bedienen sei (62 %). Die Chirurgen konnten hingegen mit dem GS-FIX besser umgehen (55 %) und bewerteten die Arbeitspräzision besser (40% zu 25 %). 35 Prozent nahmen keinen Unterschied zwischen den Griffstücken war. Diese Ergebnisse, könnten für eine Gewöhnung der erfahrenen Chirurgen an ihr Standardinstrument (GS-FIX) sprechen. Und trotzdem sprachen sich 30 Prozent der Operateure für eine bessere und 55 Prozent zumindest für eine gleichwertige Eignung des GS-ROT aus (47). Bei den Laien, welche mit beiden Griffen keine Erfahrung hatten, zeigten sich in der Befragung keine Probleme mit der Anwendung der Instrumente. Die Befragungsergebnisse belegen, dass das GS-ROT hinsichtlich der Präzision mindestens gleichwertig oder sogar besser abschneidet als das GS-FIX. Dies konnte auch durch die objektiven Ergebnisse zur Arbeitspräzision und Arbeitsleistung gezeigt werden. Bei der abschließenden Aussage „Ich würde folgendes Instrument bevorzugen...“ entschieden sich 7 Chirurgen für das GS-ROT und 4 für das GS-FIX (47). Die Laien sprachen sich mit 34 zu 17 Stimmen noch eindeutiger für das GS-ROT aus. Was das Ergebnis leider etwas schwächt, sind die fehlenden Entscheidungen einiger Probanden zu dieser Aussage. Ein Problem, dass leider in beiden Studienteilen vorgekommen ist. Da in der Labor- und der Feldstudie dieselben Fragebögen verwendet wurden, könnte dies am Layout und an der Positionierung der Frage gelegen haben.

4.8 Limitationen

4.8.1 Probanden

Die ausgewählten Probanden hatten keine Erfahrung mit laparoskopischen Instrumenten. Dies hatte entsprechend eine sehr steile Lernkurve zur Folge, was durchaus einen Einfluss auf die Präzision und die EA der Muskulatur gehabt haben könnte. Möglicherweise ist dies auch eine Erklärung für die große Streuung der Daten. Mittels einer vorgeschalteten Übungsphase, zu gleichen Teilen mit beiden Instrumentengriffen, sollten die Lerneffekte reduziert werden und für beide Griffvarianten vergleichbar bleiben. Es ist anzunehmen, dass die Dauer der Übungsphase nicht ausreichte, um ein stabiles Niveau zu erreichen. Denkbar wäre auch, dass während den Messungen noch ein bedeutender motorischer Lernprozess stattgefunden hat und laut Huang et al. zu Beginn eines Lernprozesses mit erhöhter oEMG-Aktivität zu rechnen ist (94). Dies würde bei den in die Laborstudie eingeschlossenen Probanden, aufgrund fehlender Vorerfahrung, auf beide Griffvarianten zutreffen. Aus diesem Grund wurden Laien zur Durchführung der Studie ausgewählt, da diese nicht wie die erfahrenen Chirurgen eine langjährige Gewöhnung an das fixierte Griffstück (GS-FIX) hatten. Erfahrene Chirurgen hätten vermutlich deutlich mehr Probleme mit dem rotierbaren im Vergleich zum fixierten Griffstück gehabt. Diese Annahme wird durch Ergebnisse der Feldstudie bekräftigt, in denen die Chirurgen von Beeinträchtigungen der Präzision mit dem rotierbaren Griffstück (GS-ROT) berichten (48, 49, 95).

4.8.2 Reihenfolgeeffekte

Um zeitliche Effekte zu vermeiden, wurde die Abfolge der Sequenzen randomisiert. Allein bei der Reihenfolge der Quadranten, die in der statischen Aufgabe für alle Sequenzen gleichbleibend war, konnte sich die zeitliche Abfolge auf die Effekte auswirken (48, 49).

4.8.3 Aufgabenauswahl

Für den Versuchsaufbau im Labor sollten möglichst realistische Bedingungen geschaffen werden. Gleichzeitig wurde versucht durch die verwendeten Aufgaben die jeweiligen Bewegungsabläufe und Bewegungsumfänge

aufzugliedern. Des Weiteren richtete sich die Auswahl der Aufgaben auch nach der Machbarkeit durch die laparoskopisch unerfahrenen Probanden. Dies schränkte die Komplexität der Aufgaben deutlich ein.

Es liegt auf der Hand, dass dementsprechend die gewählten Aufgaben reale Operationen nur teilweise abbilden konnten. Aber die Aufgaben waren in erster Linie mit ihrer moderaten Komplexität für unerfahrene Probanden ausgewählt. Mit dem dynamischen Aufgabenteil orientierte man sich am Ausbildungsprogramm der Europäischen Gynäkologischen Akademie für Laparoskopie. Grund für die Auswahl der Aufgaben war die Überlegung, mit deren Hilfe statische, dynamische, höhen- und positionsabhängige Anteile aufzugliedern, um so Unterschiede zwischen den Instrumentengriffen herausarbeiten zu können. Dass die Aufgaben nicht die realen Präzisionsanforderungen und muskulären Beanspruchungen darstellen können ist nachzuvollziehen (48, 49).

Aufgrund der sehr kurzen Aufgaben lässt sich eine mögliche Muskelermüdung mit dem vorliegenden Studiendesign nicht beurteilen. Obwohl eine tatsächliche Operation auch mehrere Stunden dauern kann, war dies nicht das Hauptaugenmerk der Studie. Es ging vielmehr um den direkten Vergleich der Griffstücke hinsichtlich der genannten Variablen (oEMG, Armhaltung, Handgelenkwinkel, Präzision und Arbeitsleistung, Subjektiv: Beanspruchung, Handhabung und Präzision).

Zum Vergleich der Auswirkungen eines längeren Gebrauchs der Griffstücke sollte die Feldstudie im Rahmen routinemäßiger Operationen dienen. Allerdings wird selbst in diesem Zusammenhang eine zu kurze Verwendungsdauer diskutiert. Die mittlere Operationsdauer beziehungsweise die Anwendungsdauer des spezifischen Griffstücks lag dort bei durchschnittlich 28 bis 30 Minuten (47).

Eine längere Aufgabendauer hätte bei Ermüdungserscheinungen wohl zu einer Steigerung des Optimierungsdrucks hinsichtlich der Arm-Handhaltung geführt. Aus diesem Grund wäre es möglicherweise sinnvoll gewesen eine längere Aufgabendauer zu wählen. Wegen der oben genannten Überlegungen und

einer Begrenzung der Versuchsdauer auf rund drei Stunden, wurden trotzdem kürzere Aufgaben gewählt (48, 49).

4.8.4 Versuchsaufbau

Das Setting aus Stand- und Monitorposition entspricht nicht der besten ergonomischen Ausrichtung (51, 79). Denn eigentlich sollte der Monitor in Blickrichtung frontal zum Operierenden, also in Verlängerung der Arbeitsachse/richtung positioniert werden. Eine seitliche Standposition und eine Monitorposition leicht lateral der Arbeitsrichtung am Ende des Operationstisches wurde verwendet, da dies den Gegebenheiten eines lokalen gynäkologischen Operationssaals entspricht. Auch durch Matern (31) wird dies im Rahmen einer Befragung von Chirurgen als häufige Position beschrieben. Es ist jedoch zwangsläufig so, dass durch die Standposition eine Beeinflussung der Effekte des Griffstücks vorhanden ist (48, 49).

Ähnlich verhält es sich mit der Arbeitshöhe. Hierbei wurden ebenfalls Erhebungen in den lokalen Operationssälen zugrunde gelegt. Dort konnten die Operationstische nicht niedriger als 75 cm eingestellt werden. Van Veelen et al. (80) sprechen in ihren Erhebungen sogar von nur 72 cm. In der Studie entspricht diese Höhe eher der verwendeten hohen Arbeitshöhe. Diese war im Vergleich zur individuell niedrigen Arbeitshöhe um 15 Prozent des jeweiligen Ellenbogen-Boden-Abstandes erhöht worden. Die niedrige Arbeitshöhe wurde hingegen auf Grundlage von Studienergebnissen bestimmt, welche einen nach proximal, zur Hand hin, abfallenden Unterarm aus ergonomischer Sicht bevorzugen würden (46). Das Vorgehen bei der Erhöhung der Arbeitshöhe war allerdings im Nachhinein falsch gewählt. Diese hätte nicht in Prozent des Ellenbogen-Boden-Abstandes bestimmt werden sollen, sondern hätte stattdessen um einen absoluten Wert erhöht werden müssen. Durch die prozentualen Erhöhungen ergaben sich leicht unterschiedliche Armwinkel für die Probanden. Da sich der Fehler im Rahmen weniger Zentimeter und entsprechend geringen Winkeln bewegt und zudem die Effekte der Tischhöhe den Vergleich der Instrumentengriffe überlagern, ist dies nicht als gravierendes Problem zu werten (48, 49).

Drei weitere Limitationen sind in Bezug auf den Versuchsaufbau darzulegen, welche teilweise leicht behoben werden hätten können. Zum einen hätte ein gekippter Operationstisch (Kopftieflagerung wie dies häufig bei realen Operationen der Fall ist) die Einschränkung des Bewegungsumfanges durch die Kamera reduziert. Allerdings hätte dann auch der Versuchsaufbau im Pelvitainer etwas angepasst werden müssen. Zum anderen würde ein dynamisches Kamerabild mit individuell geführter Kamera besser den realen Bedingungen entsprechen. Darauf wurde aufgrund des zusätzlichen Personalaufwands, der zu gewährleistenden gleichbleibenden Bedingungen und der erschwerenden zusätzlichen Bild-Dynamik (für das Erlernen des Umgangs mit den Instrumenten) verzichtet. Entsprechend wurde ein statisches Bild bei fixierter Kamera verwendet und gegebenenfalls leicht eingeschränkte Sichtverhältnisse in Kauf genommen. Weiterhin entsprachen auch die Trokarpositionen und deren Verhältnisse zueinander nicht exakt der Realität. Diesbezüglich war die Variabilität der Zugangswege durch die Konstruktion des Pelvitainers vorgegeben. Für alle drei aufgeführten Punkte ist anzumerken, dass sich diese Begleitumstände auch im realen Setting, je nach Operation, Operateur und auch Körperkonstitution des Patienten ändern können. So dass die Bedingungen in Realität niemals identisch sein werden (48, 49).

4.8.5 Lagesensor

Da durch den Lagesensor am Oberarm die Abweichung zur Senkrechten als Werte hinsichtlich Ab-/Adduktion und Ante-/Retroversion bestimmt wurden, ergab sich durch eine Lageveränderung des Oberkörpers bei gleichbleibender Armposition ein neues Bezugsverhältnis zwischen Arm und Oberkörper. Durch dieses neue Verhältnis ergaben sich andere Schultergelenksstellungen, Muskellängen und -vorspannungen, ohne dass sich hinsichtlich zur Position zum Lot etwas geändert hätte. Die Oberkörperposition wurde während der Versuche nicht überwacht, aber es ist davon auszugehen, dass die Messwerte dadurch beeinflusst wurden (48, 49).

4.8.6 Winkelmesser

Während der Tests des Handgelenksensors war festzustellen, dass dieser bei extremer Dorsalextension, aufgrund seiner Bauart, fehlerhafte Messwerte lieferte. Da jedoch während der Aufgaben hauptsächlich eine Palmarflexion beobachtet wurde, welche nicht durch die Sensorkonstruktion beeinflusst war, kann von einer glaubwürdigen Datenlage ausgegangen werden. Der Hersteller spricht lediglich in einem Umfang von ± 60 Grad von validen Messwerten. Bei den erhobenen Daten gab es nur selten größere Werte (vgl. Abb. 15). Zumal diese dem maximalen Bewegungsumfang eines Handgelenks schon sehr nahekommen. Was jedoch am Handgelenk das größere Problem zu sein scheint, ist die gleichzeitige Rotation des Unterarms. Durch die Überlagerung der beiden Bewegungsrichtungen kann es zu Fehlmessungen von bis zu 5 Prozent kommen (48, 49, 59).

6 Schlussfolgerungen

Studienergebnisse zur Beanspruchungssituation während laparoskopischen Operationen und den daraus resultierenden Folgen sprechen deutlich für die Notwendigkeit einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Es gibt eine Vielzahl von Ansatzpunkten, von denen sowohl die Chirurgen als auch indirekt die Patienten profitieren könnten. Die Komplexität und vor allem die Individualität der Gegebenheiten (Operationen, Arbeitsvorgänge, Patienten, Chirurgen) stellen aber große Herausforderungen für die Arbeitsgestaltung dar. Um diesen gerecht werden zu können, ist die Betrachtung von Einzelaspekten unzureichend. Es bedarf ergonomischen Veränderungen, bei welchen eine Vielzahl relevanter Faktoren berücksichtigt werden müssen.

Bei einer alleinigen Veränderung hinsichtlich eines rotierbaren Griffstücks konnte zwar eine Optimierung der Handgelenksstellung nachgewiesen werden, eine relevante Reduktion der Muskelbeanspruchung im Schulter-Nacken-Bereich war hingegen nicht festzustellen. Auch die sehr spezifischen Unterschiede hinsichtlich der Muskelbeanspruchung in der Arm- und Handregion können nicht die als angenehmer empfundene Handstellung erklären. In einem rotierbarem Griffstück scheint aber Potential zur Reduktion der Beanspruchung vorhanden zu sein. Gegebenenfalls wäre es durch eine optimierte Anwendung, mittels vorausgegangenen Trainings und der Verbesserung der Umgebungsbedingungen (Tischhöhe, Kamera, Tischkipfung, zusätzlicher Freiheitsgrad) möglich, den Wirkungsgrad des GS-ROT zu verbessern. Als alleiniger Faktor kann eine Optimierung des Griffstücks jedoch den Gegebenheiten nicht gerecht werden. Das Griffstück bleibt ein nur kleines Stellschraubchen im Gesamtkonstrukt Operationssaal. Allen voran konnte gezeigt werden, dass der Tischhöhe bei laparoskopischen Eingriffen im Vergleich zum Griffstück eine viel wichtigere Rolle zur Reduktion der muskulären Beanspruchung zukommt. Eine individuell optimierte Arbeitshöhe scheint daher zwingend notwendig und sollte technisch leicht umsetzbar sein. Auch bei kommenden Untersuchungen sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden, da unzureichende Ausgangsbedingungen die Untersuchungsergebnisse beeinflussen und die positiven Effekte

durchgeführter Maßnahmen überlagern können. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass abhängig von der Arbeitsrichtung und entsprechender Arm-Hand-Position in verschiedenen Situationen und Teilschritten einer Operation unterschiedlich große Effekte zu erwarten sind.

Viele ergonomische Entwicklungen stehen erst am Anfang und weitere Studien wären wünschenswert. Bezogen auf die vorliegende Studie, wäre es empfehlenswert den Versuchsaufbau besser an die realen Bedingungen anzupassen und zum Beispiel mithilfe einer längeren Aufgabendauer die Beurteilung von Ermüdungseffekten einzubinden. Ein weiterer wichtiger Aspekt wäre der Versuch Störfaktoren wie Gewöhnungs- und Lerneffekte zu reduzieren. Das Hauptaugenmerk sollte aber auf die ganzheitliche und individuelle Optimierung aller Begleitumstände gelegt werden.

Aber auch Veränderungen im operativen Vorgehen, wie zum Beispiel die Techniken der „Single Port Chirurgie“ bringen neue Anforderungen und andere Probleme mit sich. Hier sind daher neue Herangehensweisen und Untersuchungen gefordert.

Im Gesamten betrachtet scheint die bloße Drehfunktion des Griffstücks unzureichend, so dass eine Zusammenführung aller Erkenntnisse notwendig wäre, um zu einem erfolgsversprechenden Gesamtkonzept zu gelangen. Herangehensweisen wie im Rahmen der Ethos-Studien stellen daher interessante Ansätze dar. Die damit gewonnenen Ergebnisse weisen jedoch wiederum Probleme hinsichtlich ihrer Akzeptanz und Umsetzung im klinischen Alltag auf. Eine Neuentwicklung sollte im Optimalfall medizinische und ökonomische Vorzüge vereinen und technisch relativ leicht umsetzbar sein.

Bisher außer Acht gelassen wurde eine denkbare Veränderung der Arbeitsprozesse während eines Operationstages. Zum Beispiel durch Aufwärmprogramme (96) oder Erholungspausen (17). Dies könnte unter Umständen einen weiteren Baustein zur Reduktion von muskuloskelettalen Beschwerden bei Operateuren darstellen, welcher nicht nur im Rahmen laparoskopischer Operationen zum Einsatz kommen könnte.

7 Zusammenfassung

Hintergrund und Fragestellung: Bei vielen Bauchoperationen werden heutzutage laparoskopische Verfahren angewendet. Diese minimalinvasive Technik bietet einige Vorteile für den Patienten. Für den Operateur bringt dieses Verfahren hingegen eine sehr statische und einseitige Belastung mit sich. Muskuloskelettalen Beschwerden im Schulter-Nacken- und im Hand-Arm-Bereich sind die Folge. Die Probleme werden den laparoskopischen Instrumenten, aber auch den Umgebungsbedingungen in Operationssälen zugeschrieben. Neu gewonnene Erkenntnisse und die entsprechend notwendigen Veränderungen lassen sich aus verschiedensten Gründen im Operationssaal nur schwer umsetzen. Mit relativ kleinem Aufwand und geringen Kosten könnte hingegen die Einführung eines ergonomisch optimierten Instruments die aktuelle Situation verbessern. Deshalb wurde die physische Beanspruchung der Probanden bei der Verwendung eines laparoskopischen Instruments mit einem um 360 Grad rotierbaren Griffstück (GS-ROT) mit dem eines baugleichen nicht rotierbaren Griffstück (GS-FIX) verglichen.

Methodik: 57 Probanden (30 w, 27 m), alles Laien ohne laparoskopische Vorerfahrung, hatten eine statische Aufgabe in vier Eckbereichen (im Folgenden auch Quadranten genannt, entsprechend eines Koordinatensystems, C/D näher am Einstich und A/B weiter entfernt) und eine zentral positionierte, dynamische Aufgabe durchzuführen. Während die Probanden an einem Pelvitainer arbeiteten, wurden verschiedene Variablen untersucht (Aufzeichnung des Oberflächen-Elektromyogramms (oEMG) an Arm-/Schultermuskeln, der Oberarmposition und der Handgelenkwinkel, Erhebung der Arbeitsleistung und -präzision, Bewertung mittels Fragebogen zu Arbeitspräzision, Handhabung und Körperhaltung). Das Experiment wurde bei zwei Arbeitshöhen durchgeführt. Vor den Versuchen hatten die Probanden Normalisierungsmessungen und eine Übungsphase zu absolvieren. Der Versuchsaufbau orientierte sich an realen gynäkologischen Operationssälen.

Ergebnisse: Vor allem hinsichtlich Handstellung und Körperhaltung bewerteten die Probanden das GS-ROT deutlich positiver als das GS-FIX. 34 Probanden würden das GS-ROT gegenüber dem GS-FIX bevorzugen (17 GS-FIX, 6 keine

Angabe, 1 beide). Eine Reduktion der normalisierten elektrischen Aktivität (nEA) durch das GS-ROT war aber nur bei der statischen Aufgabe für die Muskeln M. biceps brachii (BIC) und M. flexor carpi radialis (FLEX) zu erkennen (im Quadrant C für den FLEX sogar signifikant). Weiterhin ergaben sich mit dem GS-ROT signifikant neutralere Handgelenkwinkel. Die größten Vorteile brachte das GS-ROT in den Quadranten B und C. Die neutralsten Winkel waren im Quadranten D zu beobachten. Bei hoher Arbeitshöhe gingen die Effekte auf die nEA tendenziell verloren. Für die Handgelenkwinkel war bei hoher Arbeitshöhe ein signifikanter Effektverlust des GS-ROT vorhanden. Die hohe Arbeitshöhe hatte einen signifikant negativen Einfluss auf die nEA der Oberarmmuskeln sowie die Armabduktion. Darauf wirkten sich vor allem auch die Quadranten B und C aus. Hervorzuheben ist, dass zwischen den Griffstücken kein Unterschied hinsichtlich Arbeitspräzision/-leistung festgestellt werden konnte.

Diskussion: Eine ganzheitliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Operateuren wäre wichtig. Die Vorteile des GS-ROT bewirken aber nur kleine, spezifische Effekte auf die Handgelenkwinkel und das oEMG (Hand/Arm). Die Probanden empfanden die Handstellung mit dem GS-ROT angenehmer. Ein Einfluss auf Präzision und Arbeitsleistung war nicht zu erkennen.

Eine zu hohe Tischhöhe und die Arbeitsposition (Quadrant B/C) wirkten sich negativ auf die muskuloskelettale Beanspruchung aus. Es kam zu einem Effektverlust des GS-ROT bei hoher Tischhöhe. Viele individuelle Einstellmöglichkeiten (Schaftrotation/Drehregler), welche eine Technikanpassung möglich machen, beeinflussen die Effektivität des GS-ROT. Durch Verbesserung der Umgebungsbedingungen (Tischhöhe, Kameraposition, Bildschirm, Standposition), Durchführung eines Anwendungstrainings, Verlängerung der Belastungsdauer (Steigerung des Optimierungsdrucks) und Veränderung des GS-ROT (zum Beispiel durch eine Kippfunktion und durch eine bessere Erreichbarkeit des Drehreglers zur Schaftrotation), könnte der relativ kleine, positive Effekt durchaus gesteigert werden. Für weitere Studien wäre es sinnvoll die oben genannten Punkte sowie die Messung der Radialabduktion und ein realitätsnäheren Versuchsaufbau zu berücksichtigen.

8 Literatur

1. Park A, Lee G, Seagull FJ, Meenaghan N, Dexter D. Patients benefit while surgeons suffer: an impending epidemic. *J. Am. Coll. Surg.* 2010; 210(3):306–13. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2009.10.017.
2. Foller S, Klinik und Poliklinik für Urologie Jena. Laparoskopie; 2019 [Stand: 17.07.2019]. Verfügbar unter: <https://www.uniklinikum-jena.de/urologie/Informationen+für+Patienten/Krankheitsbilder/Laparoskopie.html>.
3. Lippert H, Koch A, Marusch F, Wolff S, Gastinger I. Offene vs. laparoskopische Appendektomie. *Chirurg* 2002; 73(8):791–8.
4. Berguer R. Surgical technology and the ergonomics of laparoscopic instruments. *Surg Endosc* 1998; 12(5):458–62.
5. Stomberg MW, Tronstad S-E, Hedberg K, Bengtsson J, Jonsson P, Johansen L et al. Work-related musculoskeletal disorders when performing laparoscopic surgery. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2010; 20(1):49–53. doi: 10.1097/SLE.0b013e3181cde54.
6. Franasiak J, Ko EM, Kidd J, Secord AA, Bell M, Boggess JF et al. Physical strain and urgent need for ergonomic training among gynecologic oncologists who perform minimally invasive surgery. *Gynecol. Oncol* 2012; 126(3):437–42. doi: 10.1016/j.ygyno.2012.05.016.
7. Byun Y-H, Lee J-H, Park M-K, Song J-H, Min B-H, Chang D-K et al. Procedure-related musculoskeletal symptoms in gastrointestinal endoscopists in Korea. *World J. Gastroenterol* 2008; 14(27):4359–64.
8. Esposito C, El Ghoneimi A, Yamataka A, Rothenberg S, Bailez M, Ferro M et al. Work-related upper limb musculoskeletal disorders in paediatric laparoscopic surgery. A multicenter survey. *J. Pediatr. Surg.* 2013; 48(8):1750–6. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2013.01.054.
9. Pfeffer S, Hofmann A, Maier T, Rothmund R, Sievert K-D, Seibt R et al. Ergonomics of Selected Laparoscopic Procedures - Need for Action? *Biomed Tech (Berl)* 2013. doi: 10.1515/bmt-2013-4228.
10. Nguyen NT, Ho HS, Smith WD, Philipps C, Lewis C, Vera RM de et al. An ergonomic evaluation of surgeons' axial skeletal and upper extremity movements during laparoscopic and open surgery. *Am. J. Surg* 2001; 182(6):720–4.
11. Szeto GPY, Cheng SWK, Poon JTC, Ting ACW, Tsang RCC, Ho P. Surgeons' static posture and movement repetitions in open and laparoscopic surgery. *J. Surg. Res* 2012; 172(1):e19-31. doi: 10.1016/j.jss.2011.08.004.
12. Tedeus M. Analyse verschiedener OP-Tischhöhen in der laparoskopischen Chirurgie hinsichtlich Arbeitsleistung und muskulärer Beanspruchung: Eine experimentelle Studie auf Basis von Elektromyographie und Ultraschall-Bewegungsanalyse [Dissertation]. Tübingen: Eberhard Karls Universität; 2012.
13. Radermacher K, Pichler KC von, Erbse S, Boeckmann W, Rau G, Jakse G et al. Using human factor analysis and VR simulation techniques for the optimization of the surgical worksystem. *Stud Health Technol Inform* 1996; 29:532–41.

14. Gofrit ON, Mikahail AA, Zorn KC, Zagaja GP, Steinberg GD, Shalhav AL. Surgeons' Perceptions and Injuries During and After Urologic Laparoscopic Surgery. *Urology* 2008; 71(3):404–7. doi: 10.1016/j.urology.2007.07.077.
15. van Veelen MA, Jakimowicz JJ, Kazemier G. Improved physical ergonomics of laparoscopic surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2004; 13(3):161–6. doi: 10.1080/13645700410033193.
16. Quick NE, Gillette JC, Shapiro R, Adrales GL, Gerlach D, Park AE. The effect of using laparoscopic instruments on muscle activation patterns during minimally invasive surgical training procedures. *Surg Endosc* 2003; 17(3):462–5. doi: 10.1007/s00464-002-8530-6.
17. Engelmann C, Schneider M, Kirschbaum C, Grote G, Dingemann J, Schoof S et al. Effects of intraoperative breaks on mental and somatic operator fatigue: a randomized clinical trial. *Surg Endosc* 2011; 25(4):1245–50. doi: 10.1007/s00464-010-1350-1.
18. Slack PS, Coulson CJ, Ma X, Webster K, Proops DW. The effect of operating time on surgeons' muscular fatigue. *Ann R Coll Surg Engl* 2008; 90(8):651–7. doi: 10.1308/003588408X321710.
19. Yurko YY, Scerbo MW, Prabhu AS, Acker CE, Stefanidis D. Higher mental workload is associated with poorer laparoscopic performance as measured by the NASA-TLX tool. *Simul Healthc* 2010; 5(5):267–71. doi: 10.1097/SIH.0b013e3181e3f329.
20. Malik A (Hrsg). *Laparoscopic Surgery: InTech*; 2017.
21. Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Margallo JA. Ergonomics in Laparoscopic Surgery. In: Malik A (Hrsg). *Laparoscopic Surgery: InTech*; 2017.
22. Manasnayakorn S, Cuschieri A, Hanna GB. Ergonomic assessment of optimum operating table height for hand-assisted laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2009; 23(4):783–9. doi: 10.1007/s00464-008-0068-9.
23. Matern U, Faist M, Kehl K, Giebmeyer C, Buess G. Monitor position in laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2005; 19(3):436–40. doi: 10.1007/s00464-004-9030-7.
24. Matern U. Ergonomic deficiencies in the operating room: examples from minimally invasive surgery. *Work* 2009; 33(2):165–8. doi: 10.3233/WOR-2009-0862.
25. Tokas T, Gözen AS, Avgeris M, Tschada A, Fiedler M, Klein J et al. Combining of ETHOS Operating Ergonomic Platform, Three-dimensional Laparoscopic Camera, and Radius Surgical System Manipulators Improves Ergonomy in Urologic Laparoscopy: Comparison with Conventional Laparoscopy and da Vinci in a Pelvi Trainer. *Eur Urol Focus* 2017; 3(4-5):413–20. doi: 10.1016/j.euf.2016.11.006.
26. Steinhilber B, Hoffmann S, Karlovic K, Pfeffer S, Maier T, Hallasheh O et al. Development of an arm support system to improve ergonomics in laparoscopic surgery: study design and provisional results. *Surg Endosc* 2015; 29(9):2851–8. doi: 10.1007/s00464-014-3984-x.
27. Deutscher Ärzteverlag GmbH - lh. DA VINCI - das Master-Slave-Assistenzsystem; 2018 [Stand: 17.07.2019]. Verfügbar unter: <https://www.operation-karriere.de/karriereweg/von-beruf-arzt/vor-und-nachteile-des-da-vinci-systems.html>.

28. Hubert N, Gilles M, Desbrosses K, Meyer JP, Felblinger J, Hubert J. Ergonomic assessment of the surgeon's physical workload during standard and robotic assisted laparoscopic procedures. *Int J Med Robot* 2013; 9(2):142–7. doi: 10.1002/rcs.1489.
29. Miller K, Benden M, Pickens A, Shipp E, Zheng Q. Ergonomics principles associated with laparoscopic surgeon injury/illness. *Hum Factors* 2012; 54(6):1087–92.
30. Bauer H. Arbeitsplatz OP: Realität und Anspruch. *Deutsches Ärzteblatt* 2006; 103(47):3185–6.
31. Matern U, Koneczny S, Scherrer M, Gerlings T. Arbeitsbedingungen und Sicherheit am Arbeitsplatz OP. *Deutsches Ärzteblatt* 2006; 103(47):3187–92.
32. Matern U, Koneczny S. Safety, hazards and ergonomics in the operating room. *Surg Endosc* 2007; 21(11):1965–9. doi: 10.1007/s00464-007-9396-4.
33. Vereczkel A, Bubb H, Feussner H. Laparoscopic surgery and ergonomics: It's time to think of ourselves as well. *Surg Endosc* 2003; 17(10):1680–2. doi: 10.1007/s00464-003-9020-1.
34. Berguer R, Forkey DL, Smith WD. The effect of laparoscopic instrument working angle on surgeons' upper extremity workload. *Surg Endosc* 2001; 15(9):1027–9. doi: 10.1007/s00464-001-0019-1.
35. Berguer R, Gerber S, Kilpatrick G, Remler M, Beckley D. A comparison of forearm and thumb muscle electromyographic responses to the use of laparoscopic instruments with either a finger grasp or a palm grasp. *Ergonomics* 1999; 42(12):1634–45. doi: 10.1080/001401399184721.
36. Emam TA, Frank TG, Hanna GB, Cuschieri A. Influence of handle design on the surgeon's upper limb movements, muscle recruitment, and fatigue during endoscopic suturing. *Surg Endosc* 2001; 15(7):667–72. doi: 10.1007/s004640080141.
37. Matern U, Koneczny S, Tedeus M, Dietz K, Buess G. Ergonomic testing of two different types of handles via virtual reality simulation. *Surg Endosc* 2005; 19(8):1147–50. doi: 10.1007/s00464-004-2171-x.
38. Matern U, Kuttler G, Giebmeier C, Waller P, Faist M. Ergonomic aspects of five different types of laparoscopic instrument handles under dynamic conditions with respect to specific laparoscopic tasks: an electromyographic-based study. *Surg Endosc* 2004; 18(8):1231–41. doi: 10.1007/s00464-003-9162-1.
39. Matern U, Waller P. Instruments for minimally invasive surgery: principles of ergonomic handles. *Surg Endosc* 1999; 13(2):174–82.
40. Sancibrian R, Gutierrez-Diez MC, Torre-Ferrero C, Benito-Gonzalez MA, Redondo-Figuero C, Manuel-Palazuelos JC. Design and evaluation of a new ergonomic handle for instruments in minimally invasive surgery. *J. Surg. Res.* 2014; 188(1):88–99. doi: 10.1016/j.jss.2013.12.021.
41. Uchal M, Brogger J, Rukas R, Karlsen B, Bergamaschi R. In-line versus pistol-grip handles in a laparoscopic simulators. A randomized controlled crossover trial. *Surg Endosc* 2002; 16(12):1771–3. doi: 10.1007/s00464-002-8816-8.

42. van Veelen MA, Meijer DW. Ergonomics and design of laparoscopic instruments: results of a survey among laparoscopic surgeons. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 1999; 9(6):481–9.
43. DIN e. V. DIN EN ISO 6385 Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen; 2016 [Stand: 23.07.2019]. Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/naerg/normen/wdc-beuth:din21:250516638>.
44. International Ergonomics Association. Definition and Domains of Ergonomics; 2019 [Stand: 23.07.2019]. Verfügbar unter: <https://www.iea.cc/whats/index.html>.
45. Erbe Elektromedizin GmbH. Versiegelung von Gefäßen; 2017 [Stand: 03.10.2018]. Verfügbar unter: <https://de.erbe-med.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=40764&token=140086b9105b5b8f18ef5f7e2f7b3f6b57801450>.
46. Matern U, Waller P, Giebmeyer C, Rückauer KD, Farthmann EH. Ergonomics: requirements for adjusting the height of laparoscopic operating tables. *JSL* 2001; 5(1):7–12.
47. Stoffels A-K. Einfluss eines drehbaren Griffstücks auf muskuläre Belastung, Arbeitspräzision, Aspekte der Körperhaltung sowie Handhabung des laparoskopischen Instruments bei minimalinvasiven Eingriffen [Dissertation]. Tübingen: Eberhard Karls Universität; 2017.
48. Steinhilber B, Seibt R, Reiff F, Rieger MA, Kraemer B, Rothmund R. Effect of a laparoscopic instrument with rotatable handle piece on biomechanical stress during laparoscopic procedures. *Surgical endoscopy* 2016; 30(1):78–88. doi: 10.1007/s00464-015-4164-3.
49. Steinhilber B, Reiff F, Seibt R, Rieger MA, Martus P, Kraemer B et al. Ergonomic Benefits From a Laparoscopic Instrument With Rotatable Handle Piece Depend on the Area of the Operating Field and Working Height. *Hum Factors* 2017:18720817712597. doi: 10.1177/0018720817712597.
50. Kraemer B, Seibt R, Stoffels A-K, Rothmund R, Brucker SY, Rieger MA et al. An ergonomic field study to evaluate the effects of a rotatable handle piece on muscular stress and fatigue as well as subjective ratings of usability, wrist posture and precision during laparoscopic surgery: An explorative pilot study. *Int Arch Occup Environ Health* 2018; 91(8):1021–9. doi: 10.1007/s00420-018-1344-1.
51. van Det MJ, Meijerink WJHJ, Hoff C, Totté ER, Pierie JPEN. Optimal ergonomics for laparoscopic surgery in minimally invasive surgery suites: a review and guidelines. *Surg Endosc* 2009; 23(6):1279–85. doi: 10.1007/s00464-008-0148-x.
52. Berquer R, Smith WD, Davis S. An ergonomic study of the optimum operating table height for laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2002; 16(3):416–21. doi: 10.1007/s00464-001-8190-y.
53. Frede T, Stock C, Renner C, Budair Z, Abdel-Salam Y, Rassweiler J. Geometry of laparoscopic suturing and knotting techniques. *Journal of endourology / Endourological Society* 04.1999; 13(3):191–8.

54. European Academy of Gynaecological Surgery. LASTT - Laparoscopic Skills Training and Testing method; 2018 [Stand: 03.10.2018]. Verfügbar unter: <https://europeanacademy.org/training-tools/lastt/>.
55. Steinhilber B, ANDERS C, Jäger M, LÄUBLI T, Luttmann A, Rieger MA et al. Oberflächen-Elektromyographie in der Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitswissenschaft: Arbeitsmedizinische S2k-Leitlinie; 2013 [Stand: 12.10.2018]. Verfügbar unter: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-016l_S2k_Oberfl%C3%A4chen_Elektromyographie_2013-03-abgelaufen.pdf.
56. Hermens HJ, Freriks B. SENIAM 5; 1997 [Stand: 03.10.2018]. Verfügbar unter: <http://www.seniam.org/>.
57. Steinhilber B, Seibt R., Ullbrich F, Rieger MA. Normalization of surface electromyography: aspects of test-retest-reliability and the influence on data interpretation. In: book of proceedings ISEK 2014 XX Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology. S. 217.
58. Mathiassen SE, Winkel J, Hägg GM. Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies - A review. *J Electromyogr Kinesiol* 1995; 5(4):197–226.
59. Biometrics Ltd. Goniometer und Torsiometer; 2015 [Stand: 14.10.2018]. Verfügbar unter: <http://www.biometricsltd.com/de/goniometer.htm>.
60. Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sørensen F, Andersson G et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon* 1987; 18(3):233–7.
61. Laursen B, Jensen BR, Sjøgaard G. Effect of speed and precision demands on human shoulder muscle electromyography during a repetitive task. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998; 78(6):544–8. doi: 10.1007/s004210050458.
62. Laursen B, Jensen BR, Ratkevicius A. Performance and muscle activity during computer mouse tasks in young and elderly adults. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2001; 84(4):329–36.
63. Hu JSL, Lu J, Tan WB, Lomanto D. Training improves laparoscopic tasks performance and decreases operator workload. *Surg Endosc* 2016; 30(5):1742–6. doi: 10.1007/s00464-015-4410-8.
64. Yu D, Lowndes B, Morrow M, Kaufman K, Bingener J, Hallbeck S. Impact of novel shift handle laparoscopic tool on wrist ergonomics and task performance. *Surg Endosc* 2016; 30(8):3480–90. doi: 10.1007/s00464-015-4634-7.
65. Berguer R, Gerber S, Kilpatrick G, Beckley D. An ergonomic comparison of in-line vs pistol-grip handle configuration in a laparoscopic grasper. *Surg Endosc* 1998; 12(6):805–8.
66. Sánchez-Margallo FM, Pérez-Duarte FJ, Sánchez-Margallo JA, Lucas-Hernández M, Matos-Azevedo AM, Díaz-Güemes I. Application of a motion capture data glove for hand and wrist ergonomic analysis during laparoscopy. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2014; 23(6):350–6. doi: 10.3109/13645706.2014.925928.
67. CyberGlove Systems LLC. CyberGlove II; 2017 [Stand: 12.10.2018]. Verfügbar unter: <http://www.cyberglovesystems.com/cyberglove-ii/>.

68. Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Margallo JA. Assessment of Postural Ergonomics and Surgical Performance in Laparoendoscopic Single-Site Surgery Using a Handheld Robotic Device. *Surg Innov* 2018; 25(3):208–17. doi: 10.1177/1553350618759768.
69. Bensignor T, Morel G, Reversat D, Fuks D, Gayet B. Evaluation of the effect of a laparoscopic robotized needle holder on ergonomics and skills. *Surg Endosc* 2016; 30(2):446–54. doi: 10.1007/s00464-015-4217-7.
70. Gillard DM, Yakovenko S, Cameron T, Prochazka A. Isometric muscle length-tension curves do not predict angle-torque curves of human wrist in continuous active movements. *Journal of biomechanics* 2000; 33(11):1341–8.
71. Swangnetr M, Kaber D, Phimphasak C, Namkorn P, Saenlee K, Zhu B et al. The influence of rice plow handle design and whole-body posture on grip force and upper-extremity muscle activation. *Ergonomics* 2014; 57(10):1526–35. doi: 10.1080/00140139.2014.934301.
72. van der Zee DC, Bax NM. Digital nerve compression due to laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 1995; 9(6):740.
73. Lawther RE, Kirk GR, Regan MC. Laparoscopic procedures are associated with a significant risk of digital nerve injury for general surgeons. *Ann R Coll Surg Engl* 2002; 84(6):443.
74. Bleyer T (Hrsg). Belastungen des Hand-Arm-Systems als Grundlage einer ergonomischen Produktbewertung - Fallbeispiel Schaufeln: Forschung Projekt F 2116 - Teil 2. Dortmund; 2008.
75. Mårvik R, Nesbakken R, Langø T, Yavuz Y, Vanhauwaert Bjelland H, Ottermo MV et al. Ergonomic design criteria for a novel laparoscopic tool handle with tactile feedback. *Minerva Chir* 2006; 61(5):435–44.
76. Quinn D, Moohan J. Optimal laparoscopic ergonomics in gynaecology. *Obstet Gynecol* 2015; 17(2):77–82. doi: 10.1111/tog.12176.
77. van Veelen MA, Nederlof EAL, Goossens RHM, Schot CJ, Jakimowicz JJ. Ergonomic problems encountered by the medical team related to products used for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 2003; 17(7):1077–81. doi: 10.1007/s00464-002-9105-2.
78. Hanna GB, Shimi S, Cuschieri A. Influence of direction of view, target-to-endoscope distance and manipulation angle on endoscopic knot tying. *Br J Surg* 1997; 84(10):1460–4.
79. Youssef Y, Lee G, Godinez C, Sutton E, Klein RV, George IM et al. Laparoscopic cholecystectomy poses physical injury risk to surgeons: Analysis of hand technique and standing position. *Surg Endosc* 2011; 25(7):2168–74. doi: 10.1007/s00464-010-1517-9.
80. van Veelen MA, Kazemier G, Koopman J, Goossens RHM, Meijer DW. Assessment of the ergonomically optimal operating surface height for laparoscopic surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2002; 12(1):47–52. doi: 10.1089/109264202753486920.

81. Gözen AS, Tokas T, Tschada A, Jalal A, Klein J, Rassweiler J. Direct comparison of the different conventional laparoscopic positions with the ethos surgical platform in a laparoscopic pelvic surgery simulation setting. *J Endourol* 2015; 29(1):95–9. doi: 10.1089/end.2014.0051.
82. Frede T, Hammady A, Klein J, Teber D, Inaki N, Waseda M et al. The radius surgical system - a new device for complex minimally invasive procedures in urology? *Eur Urol* 2007; 51(4):1015-22; discussion 1022. doi: 10.1016/j.eururo.2006.11.046.
83. Di Lorenzo N, Camperchioli I, Gaspari AL. Radius surgical system and conventional laparoscopic instruments in abdominal surgery: Application, learning curve and ergonomics. *Surg Oncol* 2007; 16 Suppl 1:S69-72. doi: 10.1016/j.suronc.2007.10.028.
84. Buia A, Farkas S. 3-D-Laparoskopie vs. 2-D-Laparoskopie: Eine aktuelle Bewertung. *Chirurg* 2018; 89(10):777–84. doi: 10.1007/s00104-018-0693-3.
85. Pietrzak P, Arya M, Joseph JV, Patel HRH. Three-dimensional visualization in laparoscopic surgery. *BJU Int* 2006; 98(2):253–6. doi: 10.1111/j.1464-410X.2006.06287.x.
86. Baum S, Sillem M, Ney JT, Baum A, Friedrich M, Radosa J et al. What Are the Advantages of 3D Cameras in Gynaecological Laparoscopy? *Geburtshilfe Frauenheilkd* 2017; 77(1):45–51. doi: 10.1055/s-0042-120845.
87. Tevæarai HT, Mueller XM, Segesser LK von. 3-D vision improves performance in a pelvic trainer. *Endoscopy* 2000; 32(6):464–8. doi: 10.1055/s-2000-643.
88. Hirano Y, Inaki N, Ishikawa N, Watanabe G. Laparoscopic Treatment for Esophageal Achalasia and Gastro-Esophago-reflex Disease Using Radius Surgical System. *Indian J Surg* 2013; 75(Suppl 1):160–2. doi: 10.1007/s12262-012-0559-8.
89. Inaki N, Waseda M, Schurr MO, Braun M, Buess GF. Experimental results of mesh fixation by a manual manipulator in a laparoscopic inguinal hernia repair model. *Surg Endosc* 2007; 21(2):197–201. doi: 10.1007/s00464-006-0065-9.
90. Liu S, Hemming D, Luo RB, Reynolds J, DeLong JC, Sandler BJ et al. Solving the surgeon ergonomic crisis with surgical exosuit. *Surg Endosc* 2018; 32(1):236–44. doi: 10.1007/s00464-017-5667-x.
91. Albayrak A, van Veelen MA, Prins JF, Snijders CJ, Ridder H de, Kazemier G. A newly designed ergonomic body support for surgeons. *Surg Endosc* 2007; 21(10):1835–40. doi: 10.1007/s00464-007-9249-1.
92. Berguer R, Smith W. An Ergonomic Comparison of Robotic and Laparoscopic Technique: The Influence of Surgeon Experience and Task Complexity. *Journal of Surgical Research* 2006; 134(1):87–92. doi: 10.1016/j.jss.2005.10.003.
93. Alpatron Surgical B.V. FlexDex Laparoskopie Instrument; 2018 [Stand: 12.10.2018]. Verfügbar unter: <https://www.alpatronsurgical.com/home-de.html>.
94. Huang HJ, Kram R, Ahmed AA. Reduction of Metabolic Cost during Motor Learning of Arm Reaching Dynamics. *Journal of Neuroscience* 2012; 32(6):2182–90. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4003-11.2012.

95. Steinhilber B, Seibt R, Stoffels A-K, Rothmund R, Rieger MA. Einfluss eines laparoskopischen Instruments mit drehbarem Griffstück auf biomechanische Belastungen – Ergebnisse einer Feldstudie. In: VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft 2015. GfA-Frühjahrskongress. Karlsruhe.
96. Mucksavage P, Lee J, Kerbl DC, Clayman RV, McDougall EM. Preoperative warming up exercises improve laparoscopic operative times in an experienced laparoscopic surgeon. J. Endourol 2012; 26(7):765–8. doi: 10.1089/end.2011.0134.

9 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Studie wurde am Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung (IASV) des Universitätsklinikums Tübingen unter Betreuung von Frau Prof. Dr. med. Monika A. Rieger, Ärztliche Direktorin des genannten Instituts, durchgeführt.

Die Konzeption erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. med. Monika A. Rieger, Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber, Leiter des Forschungsschwerpunktes Arbeitsbedingte Belastungen - Arbeitsgestaltung, Dipl. Ing. Robert Seibt, Ingenieur für Medizintechnik und akademischer Mitarbeiter am IASV, sowie Prof. Dr. med. Ralf Rothmund, Universitäts-Frauenklinik Tübingen. Die Sachkosten der Studie wurden aus einer finanziellen Förderung durch die Firma Erbe Elektromedizin GmbH (Tübingen) sowie der Universitäts-Frauenklinik Tübingen und aus Eigenmitteln des IASV finanziert. Erbe Elektromedizin GmbH war weder bei der Entwicklung des Studiendesigns noch bei der Dateninterpretation beteiligt.

Datenerhebung: Sämtliche Versuche wurden (nach Einarbeitung durch Dr. Benjamin Steinhilber und Dipl. Ing. Robert Seibt, sowie nach Durchführung mehrerer Vorversuche) von mir in Zusammenarbeit mit Anne-Kathrin Stoffels (Doktorandin, Feldstudie) durchgeführt. Anne-Katrin Stoffels unterstützte die Durchführung der Labormessungen. Im Gegenzug unterstützte ich die Durchführung der Feldmessungen. Beide Studienteile wurden im Gesamtprojekt unabhängig voneinander durchgeführt. Mit der Feldstudie sollten möglichst reale Bedingungen untersucht werden, während im Labor der differenzierte Einfluss von standardisierten Faktoren auf die Griffstücke beurteilt werden sollte.

Die bereits im Jahr 2017 fertiggestellte Dissertationsschrift von Frau Anne-Katrin Stoffels hat den Titel „*Einfluss eines drehbaren Griffstücks auf muskuläre Belastung, Arbeitspräzision, Aspekte der Körperhaltung sowie Handhabung des laparoskopischen Instruments bei minimalinvasiven Eingriffen*“.

Datenaufbereitung: Die Aufbereitung wurde nach Einweisung von Dipl. Ing. Robert Seibt durch mich (unterstützt durch Inga Hensen, studentische Hilfskraft des IASV, BA) durchgeführt.

Datenauswertung: Die statistische Analyse erfolgte durch mich nach Anleitung von Dr. Benjamin Steinhilber und Dipl. Ing. Robert Seibt, in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Peter Martus (Institut für Klinische Epidemiologie u. angewandte Biometrie).

Dateninterpretation: Die Interpretation der Ergebnisse wurde von mir, Dr. Benjamin Steinhilber, Dipl. Ing. Robert Seibt und Prof. Dr. med. Monika A. Rieger gemeinsam erarbeitet.

Publikationen: Zu den im Rahmen der vorliegenden Laborstudie gewonnenen Erkenntnissen wurden federführend von Herrn Dr. Steinhilber zwei wissenschaftliche Publikationen erstellt. Hierbei wurde Herr Steinhilber beim Artikel „*Effect of a laparoscopic instrument with rotatable handle piece on biomechanical stress during laparoscopic procedures. Surgical endoscopy 2016.*“ durch meine Anmerkungen und Hinweise sowie der Ausarbeitung einzelner Abbildungen und Tabellen unterstützt. Zum Artikel „*Ergonomic benefits from a laparoscopic instrument with rotatable handle piece depend on the area of the operating field and working height. Human Factors 2017*“ wurden Textbausteine in englischer Sprache von mir erstellt und von Dr. Benjamin Steinhilber ausgearbeitet.

Herr Dipl. Ing. Robert Seibt, Frau Prof. Dr. Rieger, Herr Prof. Dr. Krämer und Herr Prof. Dr. Rothmund standen in allen Belangen beratend zur Seite, machten Anmerkungen im Verlauf der Manuskripterstellung und gaben abschließende Hinweise zu beiden wissenschaftlichen Artikeln.

Neben diesen genannten Veröffentlichungen wurden die Studienergebnisse auf mehreren Kongressen vorgestellt, wobei ich an der Erstellung der Abstracts auch dann mitgewirkt habe, wenn ich nicht Erstautor des Beitrags war.

Ich versichere, die vorliegende Dissertationsschrift selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 05.11.2019

10 Veröffentlichungen

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in den folgenden Publikationen veröffentlicht:

Steinhilber B, Reiff F, Seibt R, Rieger MA, Martus P, Kraemer B, Rothmund R. Ergonomic Benefits From a Laparoscopic Instrument With Rotatable Handle Piece Depend on the Area of the Operating Field and Working Height. *Hum Factors* 2017;18720817712597. doi: 10.1177/0018720817712597.

Steinhilber B, Seibt R, Reiff F, Rieger MA, Kraemer B, Rothmund R. Effect of a laparoscopic instrument with rotatable handle piece on biomechanical stress during laparoscopic procedures. *Surgical endoscopy* 2016; 30(1):78–88. doi: 10.1007/s00464-015-4164-3.

Darüber hinaus erfolgte die Darstellung auf folgenden Kongressen – jeweils mit Veröffentlichung eines Abstracts in der Kongress-Publikation oder online:

Steinhilber B, Reiff F, Seibt R, Rieger MA, Kraemer B, Rothmund R. Ergonomic benefits from a laparoscopic instrument with rotatable handle piece: importance of operation field area and working height. *PREMUS2016 Toronto, book of abstracts, Preventing work-related musculoskeletal disorders in a global economy, 2016*. S. 182. ISBN: 978-0-9699726-7-9.

Steinhilber B, Seibt R, Reiff F, Stoffels A-K, Rothmund R, Rieger MA. Einfluss eines laparoskopischen Instruments mit rotierbarem Griffstück auf subjektive und objektive Beanspruchungsgrößen. *Dokumentation der 55. Jahrestagung der DGAUM, München 2015*. Hildenbrand S, Rieger MA (Hrsg), München, 2015. ISBN: 978-3-9817007-1-8.

Steinhilber B, Seibt R, Reiff F, Stoffels A-K, Rieger MA, Rothmund R. (2014) Effect of a laparoscopic instrument with rotatable handle piece on biomechanical stress. *30th International Commission on Occupational Health (ICOH). Bologna, 15.-16.10.14. Abstract (P6), s28*.

Reiff F, Stoffels AK, Seibt R, Rothmund R, Rieger MA, Steinhilber B. Einfluss eines laparoskopischen Instruments mit drehbarem Griffstück auf die Trapeziusaktivität bei definierten statischen Halteaufgaben – erste Ergebnisse. *Dokumentation der 54. Jahrestagung der DGAUM, Dresden 2014*. Seidler A (Hrsg), Dresden, 2014. ISBN: 978-3-9811784-9-4.

Stoffels A-K, Reiff F, Seibt R, Rothmund R, Rieger MA, Steinhilber B. Einfluss eines drehbaren Griffstücks auf die Handhabung des laparoskopischen Instruments und die Trapeziusaktivität bei simulierten minimalinvasiven Tätigkeiten – erste Ergebnisse. *Dokumentation der 54. Jahrestagung der DGAUM, Dresden 2014*. Seidler A. (Hrsg), Dresden, 2014. ISBN: 978-3-9811784-9-4.

Steinhilber B, Reiff F, Stoffels A-K, Seibt R, Rothmund R, Rieger MA. Einfluss eines laparoskopischen Instruments mit drehbarem Griffstück auf subjektive und objektive Beanspruchungsgrößen. *60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft, 12.-14. März 2014, München*. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg), Dortmund, GfA-Press 2014: 475-477.

Reiff, F.; Stoffels, A-K; Seibt, R.; Rothmund, R.; Rieger, M. A.; Steinhilber, B. Einfluss eines laparoskopischen Instruments mit drehbarem Griffstück auf die Trapeziusaktivität bei definierten statischen Halteaufgaben – erste Ergebnisse. *Forum Arbeitsphysiologie - 17. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler, Tübingen 2013*. Steinhilber, B.; Rieger, M. A.; Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung Tübingen (Hrsg.), Tübingen, 2013. ISBN: 978-3-00-044051-9.

11 Anhang

11.1 CRF



Probandenkennung

S 0 7 X X

CRF Ein- und Ausschlusskriterien

Studienabschnitt	Datum	Check	Anmerkungen
Ein- und Ausschlusskriterien		<input type="checkbox"/>	
Untersucher	Florian Reiff <input type="checkbox"/>	Anne-Katrin Stoffels <input type="checkbox"/>	
Studieneinschluss	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	

Bemerkung:

1. Ein- und Ausschlusskriterien

Allgemein		
	Ja	nein
Deutschsprachig		
Einverständniserklärung unterschrieben		
Ausschluss		<input type="checkbox"/>

Wirbelsäule		
	nein	Ja
Bandscheibenvorfall (-fälle)		
Fehlstellungen der Wirbelsäule (mit mehr als altersüblicher Bewegungseinschränkung)		
Versteifung der Wirbelsäule		
Erkrankungen des Rückenmarks		
Ausschluss		<input type="checkbox"/>

Hand-Arm-Schulter		
	nein	Ja
Plegien		
Bewegungseinschränkungen über die Hälfte des normalen Bewegungsumfangs der Gelenke		
Sensibilitätsstörungen		
Muskelerkrankungen		
Ausschluss		<input type="checkbox"/>

Symptomatische neurologische Erkrankungen		
	nein	Ja
Parkinson (anamnestisch)		
Symptomatische sensorische und/oder motorische Polyneuropathie (anamnestisch)		
Ausschluss		<input type="checkbox"/>

Orientierende Untersuchung		
	ja	nein
Nackengriff möglich		
Schürzengriff möglich		
Beugung der Arme/Hände/Finger problemlos		
Bewegung des Handgelenks problemlos		
HWS-Rotation frei beweglich?		
Bestimmung des Bewegungsumfangs nach Neutral-Null-Methode		
Blutdruck (RR >160 / >100 mmHg)		
Cor: HF _____ /min,		
RR _____ mmHG (links)		
RR _____ mmHG (rechts)		
Ausschluss:		

2. Vorausgehende Operation an Wirbelsäule oder Hand-Arm-Schulter

Art der OP	Datum	Komplikationen (Dropout)

3. Medikation

Vollständige regelmäßige Medikation	
1. Präparat _____ Dosierung _____	<input type="checkbox"/>
2. Präparat _____ Dosierung _____	<input type="checkbox"/>
3. Präparat _____ Dosierung _____	<input type="checkbox"/>
4. Präparat _____ Dosierung _____	<input type="checkbox"/>

Bemerkungen

CRF Probandenfragebogen

Geschlecht	weiblich <input type="checkbox"/>	männlich <input type="checkbox"/>	
Alter	_____ (Jahre)		
Körpergröße (ohne Schuhe)	_____ (cm)		
Körpergewicht	_____ (kg)		
Welche Hand bevorzugen Sie	Rechts <input type="checkbox"/>	Links <input type="checkbox"/>	beidhändig gleichberechtigt <input type="checkbox"/>
Unterarm-Länge	_____ (cm)		
Ellenbogen-Boden-Abstand (mit Schuhen)	_____ (cm)		
Augen-Boden-Abstand (mit Schuhen)	_____ (cm)		
Tischhöhe (Geräte)	optimal _____ (cm) ; hoch _____ (cm)		
Tischhöhe (Monitor)	_____ (cm)		
Randomisierung	<input type="checkbox"/> Hoch / geschlossener Griff <input type="checkbox"/> Hoch / Drehgriff <input type="checkbox"/> Tief / geschlossener Griff <input type="checkbox"/> Tief / Drehgriff		

Erklärung der Instrumente und Aufgaben

1. Handy weglegen
2. Instrument zeigen, fester/drehbarer Griff, Drehfunktion am Schaft erklären (nur nach rechts drehbar)
3. Pin-Aufgabe vormachen und erklären
 - a. Pin mit schwacher Hand an dickem Ende aufnehmen
 - b. Pin mit dominanter Hand am dünnen Ende übernehmen
 - c. Pin im entsprechenden Farbfeld ablegen
 - d. Nochmals auf den Nutzen der Drehfunktion am Schaft hinweisen
 - e. Mit der schwachen Hand darf beim Ablegen nur unterstützt werden
 - f. Ablegen der Pins von oben nach unten
 - g. Ziel: innerhalb von max. 3 min so viele Pins wie möglich ablegen.
4. Halte-Aufgabe erklären
 - a. Ziel: innerhalb von 30sec den inneren Stift so lange wie möglich greifen und halten. Gleichzeitig möglichst den äußeren Ring nicht berühren.
 - b. Nur mit der dominanten Hand arbeiten, die andere hängen lassen
 - c. Standposition einhalten und beibehalten, nicht über die Markierung treten
 - d. Die Stationen in der Reihenfolge von 1 nach 4 bearbeiten.
 - e. Nach jeder Station Instrument ablegen, Arm hängen lassen

Übungsphase

9min Pin-Aufgabe üben:

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------	----------------------------------

9min Pin-Aufgabe üben:

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------	----------------------------------

3min Halte-Aufgabe üben:

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------	----------------------------------

3min Halte-Aufgabe üben:

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------	----------------------------------

Anbringen der Elektroden

1. Der Proband soll den CRF „Einschätzung zu Übungen“ während dem Bekleben lesen und bei Verständnisproblemen nachfragen.
2. Erklären wann der Fragebogen zum Einsatz kommt.
3. Überprüfung der Elektroden mittels EMG und Blatt mit Farb-/Kanalvorgaben

CRF Normalisierung

Maximalkräfte

	MVC	Bemerkung
2-3 submaximale Testkontraktionen		
1	MVC Extensoren	
	MVC Extensoren	
	MVC Extensoren	
2-3 submaximale Testkontraktionen		
	MVC Flexoren	
	MVC Flexoren	
	MVC Flexoren	
2-3 submaximale Testkontraktionen		
	MVC Bizeps	
	MVC Bizeps	
	MVC Bizeps	

EINSEL- LUNGEN	Stuhposition	Höhe in cm (Oberkante)	Armauflagen	Armpolster	Position	Höhe
		Zahl		1 (Ellbogen)		
		Buchstabe		2 (Unterarm)		
			3 (Hand)			

Neutralstellung

→ Schulterbreiter Stand, Arme hängen lassen, Blick geradeaus, Entspannen

2	ohne Gewicht (30 s)	Bemerkung
---	---------------------	-----------

Trapezius/Deltoideus

→ abduzieren 90° im Schultergelenk (Handfläche nach unten, in Skapulaebene)

3	ohne Gewicht (30 s)	Bemerkung
4	mit Gewicht (60 s)	

Biceps

→ Handfläche zeigt nach innen; Hantel steht senkrecht; Ellenbogen 90°

7	2 kg (60 s)	Bemerkung
---	-------------	-----------

Unterarm Flexoren

→ Handfläche zeigt nach oben; Ellenbogen 90°

5	2 kg (60 s)	Bemerkung
---	-------------	-----------

Unterarm Extensoren

→ Handfläche zeigt nach unten; Ellenbogen 90°

6	2 kg (60 s)	Bemerkung
---	-------------	-----------

Winkelsensoren anlegen

- Kalibrierung überprüfen (Werte am PS11 ca. 3100) → sonst neu Kalibrieren
- in Seitenlage anlegen (Handfläche senkrecht zum Boden)

**!!!Marker
wechseln!!!**

CRF Halteversuch

- Ziel: innerhalb von 30sec den inneren Stift so lange wie möglich greifen und halten. Gleichzeitig möglichst den äußeren Ring nicht berühren.
- Nur mit der dominanten Hand arbeiten, die andere hängen lassen
- Standposition einhalten und beibehalten, nicht über die Markierung treten
- Die Stationen in der Reihenfolge von 1 nach 4 bearbeiten.
- Nach jeder Station Instrument ablegen, Arm hängen lassen

1. Durchgang (Bilddaufnahme überprüfen/starten)

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

Fehler: 2 >> 5 s	Fehler: 1 >> 5 s	Marker:
Fehler: 3 >> 5 s	Fehler: 4 >> 5 s	

2. Durchgang

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

Fehler: 2 >> 5 s	Fehler: 1 >> 5 s	Marker:
Fehler: 3 >> 5 s	Fehler: 4 >> 5 s	

3. Durchgang

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

Fehler: 2 >> 5 s	Fehler: 1 >> 5 s	Marker:
Fehler: 3 >> 5 s	Fehler: 4 >> 5 s	

4. Durchgang

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

Fehler: 2 >> 5 s	Fehler: 1 >> 5 s	Marker:
Fehler: 3 >> 5 s	Fehler: 4 >> 5 s	

CRF Einschätzungen zur Pin-Aufgabe

1. Durchgang

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

	1	2	3	4	Marker:
Dauer [min]					
Pins					

Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Die Aussagen beziehen sich **nur** auf das Instrument in der **dominanten Hand** und nur auf die **letzten vier** Durchgänge.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme weniger zu	teils/ teils	stimme im Großen und Ganzen zu	stimme voll und ganz zu
Das Instrument ist einfach zu bedienen.					
Ich konnte mit dem Instrument präzise (zielgenau) arbeiten.					
Das Instrument ist handlich.					
Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.					
Ich kann mir vorstellen, mit dem Instrument über einen längeren Zeitraum (>1 Stunde) zu arbeiten.					
Die Arbeitshaltung (Körperhaltung) war angenehm.					
Ich habe mich bei der Nutzung sehr sicher gefühlt.					
Ich hätte während der Arbeit gerne die Standposition geändert.					
Ich habe die Handstellung als unangenehm empfunden.					
Ich hätte das Instrument gerne zur Seite gelegt und meine Hand/meinen Arm gelockert.					
Die gestellte Aufgabe konnte ich mit dem Instrument auf einfache Weise durchführen.					

Probandenkennung S 0 7 X X

Haben Sie Missempfindungen* in	Nein	Ja	Welche?	Wie stark?										Bemerkung							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
Nacken																					
Schulter																					
Oberarm																					
Ellenbogen																					
Unterarm																					
Handgelenk																					
Hand																					
Finger (welcher?)																					
Oberer Rücken (BWS)																					
Unterer Rücken (LWS)																					

*Missempfindungen: z.B. Brennen, Ziehen, Verspannung, Ermüdung, Schmerz, Kribbeln, Taubheit, Druck, ...

2. Durchgang

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

	1	2	3	4	Marker:
Dauer [min]					
Pins					

Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Die Aussagen beziehen sich **nur** auf das Instrument in der **dominanten Hand** und nur auf die **letzten vier** Durchgänge.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme weniger zu	teils/ teils	stimme im Großen und Ganzen zu	stimme voll und ganz zu
Das Instrument ist einfach zu bedienen.					
Ich konnte mit dem Instrument präzise (zielgenau) arbeiten.					
Das Instrument ist handlich.					
Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.					
Ich kann mir vorstellen, mit dem Instrument über einen längeren Zeitraum (>1 Stunde) zu arbeiten.					
Die Arbeitshaltung (Körperhaltung) war angenehm.					
Ich habe mich bei der Nutzung sehr sicher gefühlt.					
Ich hätte während der Arbeit gerne die Standposition geändert.					
Ich habe die Handstellung als unangenehm empfunden.					
Ich hätte das Instrument gerne zur Seite gelegt und meine Hand/meinen Arm gelockert.					
Die gestellte Aufgabe konnte ich mit dem Instrument auf einfache Weise durchführen.					

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Haben Sie Missempfindungen* in	Nein	Ja	Welche?	Wie stark?										Bemerkung				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Nacken																		
Schulter																		
Oberarm																		
Ellenbogen																		
Unterarm																		
Handgelenk																		
Hand																		
Finger (welcher?)																		
Oberer Rücken (BWS)																		
Unterer Rücken (LWS)																		

*Missempfindungen: z.B. Brennen, Ziehen, Verspannung, Ermüdung, Schmerz, Kribbeln, Taubheit, Druck, ...

3. Durchgang

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

	1	2	3	4	Marker:
Dauer [min]					
Pins					

Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Die Aussagen beziehen sich **nur** auf das Instrument in der **dominanten Hand** und nur auf die **letzten vier** Durchgänge.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme weniger zu	teils/ teils	stimme im Großen und Ganzen zu	stimme voll und ganz zu
Das Instrument ist einfach zu bedienen.					
Ich konnte mit dem Instrument präzise (zielgenau) arbeiten.					
Das Instrument ist handlich.					
Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.					
Ich kann mir vorstellen, mit dem Instrument über einen längeren Zeitraum (>1 Stunde) zu arbeiten.					
Die Arbeitshaltung (Körperhaltung) war angenehm.					
Ich habe mich bei der Nutzung sehr sicher gefühlt.					
Ich hätte während der Arbeit gerne die Standposition geändert.					
Ich habe die Handstellung als unangenehm empfunden.					
Ich hätte das Instrument gerne zur Seite gelegt und meine Hand/meinen Arm gelockert.					
Die gestellte Aufgabe konnte ich mit dem Instrument auf einfache Weise durchführen.					

Haben Sie Missempfindungen* in	Nein	Ja	Welche?	Wie stark?										Bemerkung				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Nacken																		
Schulter																		
Oberarm																		
Ellenbogen																		
Unterarm																		
Handgelenk																		
Hand																		
Finger (welcher?)																		
Oberer Rücken (BWS)																		
Unterer Rücken (LWS)																		

*Missempfindungen: z.B. Brennen, Ziehen, Verspannung, Ermüdung, Schmerz, Kribbeln, Taubheit, Druck, ...

4. Durchgang

Griff	fest <input type="checkbox"/>	drehbar <input type="checkbox"/>
Tischhöhe	hoch <input type="checkbox"/>	tief <input type="checkbox"/>

	1	2	3	4	Marker:
Dauer [min]					
Pins					

Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Die Aussagen beziehen sich **nur** auf das Instrument in der **dominanten Hand** und nur auf die **letzten vier** Durchgänge.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme weniger zu	teils/ teils	stimme im Großen und Ganzen zu	stimme voll und ganz zu
Das Instrument ist einfach zu bedienen.					
Ich konnte mit dem Instrument präzise (zielgenau) arbeiten.					
Das Instrument ist handlich.					
Das Instrument ist für die gestellte Aufgabe geeignet.					
Ich kann mir vorstellen, mit dem Instrument über einen längeren Zeitraum (>1 Stunde) zu arbeiten.					
Die Arbeitshaltung (Körperhaltung) war angenehm.					
Ich habe mich bei der Nutzung sehr sicher gefühlt.					
Ich hätte während der Arbeit gerne die Standposition geändert.					
Ich habe die Handstellung als unangenehm empfunden.					
Ich hätte das Instrument gerne zur Seite gelegt und meine Hand/meinen Arm gelockert.					
Die gestellte Aufgabe konnte ich mit dem Instrument auf einfache Weise durchführen.					

Haben Sie Missempfindungen* in	Nein	Ja	Welche?	Wie stark?										Bemerkung			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Nacken																	
Schulter																	
Oberarm																	
Ellenbogen																	
Unterarm																	
Handgelenk																	
Hand																	
Finger (welcher?)																	
Oberer Rücken (BWS)																	
Unterer Rücken (LWS)																	

*Missempfindungen: z.B. Brennen, Ziehen, Verspannung, Ermüdung, Schmerz, Kribbeln, Taubheit, Druck, ...

Wie bewerten Sie abschließend die beiden Instrumente im Vergleich?
Die Aussagen beziehen sich **nur** auf das Instrument in der dominanten Hand.

Bitte bewerten Sie ...	Drehgriff		kein Unterschied		fester Griff	
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...welches Instrument einfacher zu bedienen war.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... mit welchem Instrument Sie präziser (zielgenauer) arbeiten konnten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... welches Instrument handlicher war.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... welches Instrument für die gestellte Aufgabe geeigneter war.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... bei welchem Instrument die Handstellung angenehmer war.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Mir ist positiv aufgefallen:

Drehbarer Griff	Fester Griff

Mir ist negativ aufgefallen:

Drehbarer Griff	Fester Griff

Ich würde folgendes Laparoskop bevorzugen: mit festem Griff mit Drehgriff

11.2 Nordischer Fragebogen

Fragebogen über Beschwerden am Bewegungsapparat
(Nordischer Fragebogen)

Initiative Neue Qualität der Arbeit
inoa.de



Fragebogen über Beschwerden am Bewegungsapparat (Nordischer Fragebogen)

Untersuchungsdatum		
Tag	Monat	Jahr

Identnummer (ID) (Bitte vom untersuchenden Arzt erfragen)

Tätigkeitscode (wird nachgetragen, bitte nicht ausfüllen) (01 - 99)

Hinweis zum Ausfüllen des Fragebogens:

Bitte lesen Sie die Fragen aufmerksam durch und beantworten Sie jede Frage nach Ihrer Einschätzung durch Einsetzen der Daten oder durch Ankreuzen der entsprechenden Antwortfelder. In Zweifelsfällen überlegen Sie bitte erneut und geben dann die am meisten zutreffende Antwort.

1. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an!

₁ weiblich ₂ männlich

2. Welche Nationalität haben Sie?

₀ Deutsch ₁ andere

.....

4. Wie alt sind Sie?

Lebensalt Jahre

5. Wie wird Ihre jetzige Tätigkeit bezeichnet?

.....
...

5. Wie lange haben Sie diese Tätigkeit bei Ihrem derzeitigen Arbeitgeber ausgeübt?

ca. Jahre Monate

6. Wie lange haben Sie diese Tätigkeit insgesamt, also auch bei anderen Arbeitgebern ausgeübt?

ca. Jahre Monate

7. Wieviele Stunden arbeiten Sie im Durchschnitt in der Woche (Regelarbeitszeit + Überstunden)?

..... Stunden

8. Welche anderen Tätigkeiten haben Sie in Ihrem Leben bisher ausgeübt (Lehre, Studium, Wehrdienst, Berufstätigkeiten usw.)? Wie lange dauerten diese? Falls der vorgesehene Platz in der Tabelle nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die Rückseite dieses Bogens.

Zeitraum von - bis	Bezeichnung der Tätigkeit

Ihre Bemerkungen:

Fragebogen zu Beschwerden am Stütz- und Bewegungsapparat

1. Gab es bisher einen Arbeitsplatzwechsel aus gesundheitlichen Gründen ?

- 0 Nein 1 Ja

2. Wieviel wiegen Sie ?

Ihr Körpergewicht: ca. kg

3. Wie groß sind Sie?

Ihre Körpergröße : ca. cm:

4. Sind Sie Rechts- oder Linkshänder?

- 1 Linkshänder 2 Rechtshänder

beidhändig gleichberechtigt

5. Treiben Sie regelmäßig Sport? Wenn ja, welchen?

- 0 Nein 1 Ja

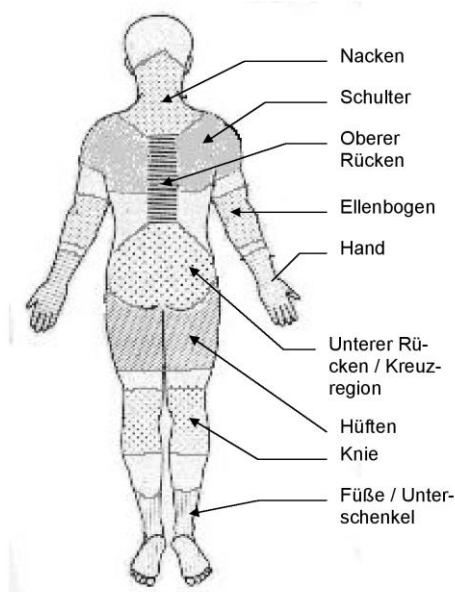
Sportart

.....

ca. Stunden pro Woche

6. Rauchen Sie?

- 0 Nein 1 Ja



In den nächsten Fragen sollen Sie angeben, ob Sie in einem bestimmten Körperbereich schon einmal Schmerzen oder Beschwerden hatten. Die Körperregionen, die auf den nächsten Seiten abgefragt werden, wurden in der links abgebildeten kleinen Figur eingezeichnet.

Die Grenzen zwischen den Körperregionen können auch ineinander übergehen. Sie entscheiden bitte selbst, welche Körperbereiche betroffen sind.

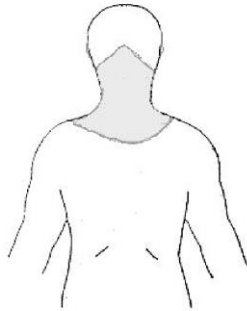
Unter Schmerzen sind sowohl punktförmige und eng begrenzte Schmerzen bis hin zu nicht genau lokalisierbaren und nicht genau beschreibbaren Schmerzempfindungen in den angegebenen Körperregionen zu verstehen.

Bitte berücksichtigen Sie auch Schmerzen, wenn Sie in einen anderen Körperbereich (z.B. ein Ischias-Schmerz) ausstrahlen! In Zweifelsfällen versuchen Sie bitte die am meisten zutreffende Antwort zu geben!

Allgemeine Angaben zu Beschwerden im Muskel-Skelett-System

Hatten Sie während der letzten 12 Monate zu irgend einer Zeit Beschwerden oder Schmerzen in folgenden Körperregionen?	Diese beiden Spalten sind nur zu beantworten, wenn die Fragen in der 1. Spalte (links) mit „Ja“ beantwortet wurden.	
	Waren sie wegen der Beschwerden in den letzten <u>12 Monaten</u> irgendwann nicht in der Lage, ihre normale Arbeit zu tun (beruflich, zu Hause oder Freizeitbeschäftigungen)?	Hatten Sie während der letzten <u>7 Tage</u> irgendwann Beschwerden?
1. Nackenregion		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
2. Schulterregion		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja, rechts <input type="checkbox"/> 2 Ja, links <input type="checkbox"/> 3 Ja, beidseits	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
3. Ellenbogenregion		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja, rechts <input type="checkbox"/> 2 Ja, links <input type="checkbox"/> 3 Ja, beidseits	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
4. Handgelenke / Hände		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja, rechts <input type="checkbox"/> 2 Ja, links <input type="checkbox"/> 3 Ja, beidseits	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
5. Oberer Rücken / Brustwirbelsäule		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
6. Unterer Rücken (Kreuz)		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
7. Ein oder beide Hüften / Oberschenkel		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
8. Ein oder beide Knie		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja
9. Ein oder beide Knöchel / Füße		
<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja	<input type="checkbox"/> 0 Nein <input type="checkbox"/> 1 Ja

**Fragen zu Beschwerden in der Nackenregion /
Halswirbelsäule**



Unter **Nackenbeschwerden** werden Stechen, Schmerzen und Mißempfindungen in dem schraffierten Gebiet zusammengefaßt.

Bitte konzentrieren Sie sich ausschließlich auf diesen Bereich, berücksichtigen Sie nicht Beschwerden, die in benachbarten Körperteilen auftreten. Solche Beschwerden, z.B. im Schultergebiet, werden gesondert erfragt.

Bitte beantworten Sie die Fragen durch Einsetzen von Kreuzen in die Antwortfelder - ein Kreuz für jede Frage. In Zweifelsfällen versuchen Sie die am meisten zutreffende Antwort zu geben.

1. Hatten Sie irgendwann in Ihrem Leben Beschwerden im Nacken bzw. im Bereich der Halswirbelsäule (schraffierter Bereich)?

0 Nein

Falls Sie keine Beschwerden hatten, fahren Sie bitte mit der Beantwortung auf der folgenden Seite bei Frage 1 fort.

1 Ja



2. Waren Sie jemals wegen dieser Nackenbeschwerden im Krankenhaus?

0 Nein

1 Ja

3. Wurden Sie im Bereich des Nackens während eines Unfalles verletzt?

0 Nein

1 Ja

4. Mußten Sie aufgrund von Nackenbeschwerden irgendwann einmal Ihre Arbeitsstelle oder berufliche Tätigkeit wechseln?

0 Nein

1 Ja

5. Bitte geben Sie an, wie lange Sie in den letzten 12 Monaten insgesamt Nackenbeschwerden verspürt haben! Falls Sie mehrfach krank waren, addieren Sie bitte alle Zeitabschnitte.

Beschwerden im Nacken hatte ich in den letzten 12 Monaten...

0 niemals (bzw. 0 Tage).

1 an 1-7 Tagen.

2 an 8-30 Tagen.

3 an mehr als 30 Tage, jedoch nicht täglich.

4 jeden Tag.

Falls Sie im letzten Jahr keine Nackenschmerzen hatten, fahren Sie bitte bei Frage 1 auf der nächsten Seite fort.

Falls Sie jedoch im letzten Jahr Nackenschmerzen hatten, beantworten Sie bitte auch die folgenden Fragen!

6. Haben die Nackenbeschwerden Sie veranlaßt, Ihre Aktivitäten während der letzten 12 Monate einzuschränken?

A. Arbeitsaktivitäten (Berufstätigkeit oder Hausarbeit)

0 Nein

1 Ja

B. Freizeitaktivitäten

0 Nein

1 Ja

7. Über welche Zeitspanne haben die Nackenbeschwerden Ihre normale Arbeit (beruflich oder Hausarbeit) während der letzten 12 Monate behindert?

0 So stark waren die Beschwerden nicht.

1 an 1-7 Tagen.

2 an 8-30 Tagen.

3 an mehr als 30 Tagen.

8. Haben Sie wegen Ihrer Nackenbeschwerden einen Arzt, einen Chiropraktiker oder Physiotherapeuten o.ä. aufgesucht?

0 Nein

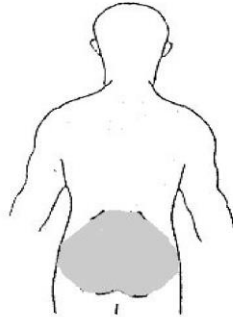
1 Ja

9. Hatten Sie in der letzten Woche bzw. in den letzten 7 Tagen irgendwann Beschwerden in der Nackenregion?

0 Nein

1 Ja

**Fragen zu Beschwerden im unteren Rücken
(Kreuz / Lendenwirbelsäule)**



Die folgenden Fragen beziehen sich auf den schraffierten Körperteil. Bei Beschwerden im Kreuz sind z.B. gemeint: lokaler punktförmiger Schmerzen, nicht genau lokalisierbare Schmerzen oder nicht genau zu beschreibende Schmerzempfindungen in dem schraffierten Gebiet, unabhängig davon, ob der Schmerz in ein Bein oder beide Beine ausstrahlt (Ischias).

Bitte beantworten Sie die Fragen durch Einsetzen von Kreuzen in die Antwortfelder - ein Kreuz für jede Frage. In Zweifelsfällen versuchen Sie die am meisten zutreffende Antwort zu geben.

1. Hatten Sie irgendwann in Ihrem Leben Beschwerden im Kreuz bzw. im Bereich der Lendenwirbelsäule (schraffierter Bereich)?

0 Nein
Falls Sie keine Beschwerden hatten, fahren Sie bitte auf der folgenden Seite bei Frage 1 fort.

1 Ja

2. Waren Sie jemals wegen Ihrer Rückenbeschwerden im Krankenhaus?

0 Nein 1 Ja

3. Wurden Sie im Bereich der Lendenwirbelsäule während eines Unfalles verletzt?

0 Nein 1 Ja

4. Mußten Sie aufgrund von Rückenbeschwerden irgendwann einmal Ihre Arbeitsstelle oder berufliche Tätigkeit wechseln?

0 Nein 1 Ja

5. Bitte geben Sie an, wie lange Sie in den letzten 12 Monaten insgesamt Rückenbeschwerden verspürt haben! Falls Sie mehrfach krank waren, addieren Sie bitte alle Zeitabschnitte!

Beschwerden im Rücken hatte ich in den letzten 12 Monaten...

- 0 niemals (bzw. 0 Tage).
- 1 an 1-7 Tagen.
- 2 an 8-30 Tagen.
- 3 an mehr als 30 Tage, jedoch nicht täglich.
- 4 jeden Tag.

Falls Sie im letzten Jahr keine Rückenbeschwerden hatten, fahren Sie bitte bei Frage 1 auf der nächsten Seite fort.

Falls Sie jedoch im letzten Jahr Rückenbeschwerden hatten, beantworten Sie bitte auch die folgenden Fragen!

6. Haben die Rückenbeschwerden Sie veranlaßt, Ihre Aktivitäten während der letzten 12 Monate einzuschränken?

A. Arbeitsaktivitäten (Berufstätigkeit oder Hausarbeit)

0 Nein 1 Ja

B. Freizeitaktivitäten

0 Nein 1 Ja

7. Über welche Zeitspanne haben die Rückenbeschwerden Ihre normale Arbeit (beruflich oder Hausarbeit) während der letzten 12 Monate behindert?

- 0 So stark waren die Beschwerden nicht.
- 1 an 1-7 Tagen.
- 2 an 8-30 Tagen.
- 3 an mehr als 30 Tagen.

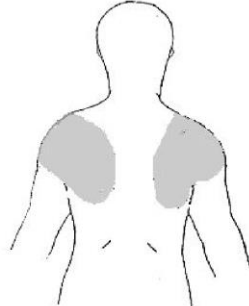
8. Haben Sie wegen Ihrer Rückenbeschwerden einen Arzt, einen Chiropraktiker oder Physiotherapeuten o.ä. aufgesucht?

0 Nein 1 Ja

9. Hatten Sie in der letzten Woche bzw. in den letzten 7 Tagen irgendwann Rückenbeschwerden?

0 Nein 1 Ja

Fragen zu Beschwerden in den Schultern



Unter **Schulterbeschwerden** werden Stechen, Schmerzen und Mißempfindungen in dem oben gekennzeichneten Bereich zusammengefaßt.

Bitte konzentrieren Sie sich hier ausschließlich auf diesen Bereich, berücksichtigen Sie nicht Beschwerden, die in benachbarten Bereichen (z.B. Nacken) auftreten.

Bitte beantworten Sie die Fragen durch Einsetzen von Kreuzen in die Antwortfelder - ein Kreuz für jede Frage. In Zweifelsfällen versuchen Sie die am meisten zutreffende Antwort zu geben.

1. Hatten Sie irgendwann in Ihrem Leben Beschwerden in den Schultern (schraffierter Bereich) ?

0 Nein

Falls Sie keine Beschwerden hatten, entfällt die Beantwortung der folgenden Fragen.

1 Ja, links 2 Ja, rechts 3 Ja, beidseitig



2. Waren Sie jemals wegen Ihrer Schulterbeschwerden im Krankenhaus?

0 Nein 1 Ja

3. Wurden Sie im Bereich der Schultern während eines Unfalles verletzt?

0 Nein 1 Ja, links
 2 Ja, rechts
 3 Ja, beidseitig

4. Mußten Sie aufgrund von Schulterbeschwerden irgendwann einmal Ihre Arbeitsstelle oder berufliche Tätigkeit wechseln?

0 Nein 1 Ja

5. Bitte geben Sie an, wie lange Sie in den letzten 12 Monaten Schulterbeschwerden verspürt haben! Falls Sie mehrfach krank waren, addieren Sie bitte alle Zeitabschnitte!

Beschwerden in den Schultern hatte ich in den letzten 12 Monaten...

- 0 niemals (bzw. 0 Tage).
 1 an 1-7 Tagen.
 2 an 8-30 Tagen.
 3 an mehr als 30 Tage, jedoch nicht täglich.
 4 jeden Tag.

Falls Sie im letzten Jahr keine Schulterbeschwerden hatten, entfällt die Beantwortung der folgenden Fragen.

Falls Sie jedoch im letzten Jahr Schulterbeschwerden hatten, beantworten Sie bitte auch die folgenden Fragen!



6. Haben die Schulterbeschwerden Sie veranlaßt, Ihre Aktivitäten während der letzten 12 Monate einzuschränken?

A. Arbeitsaktivitäten (Berufstätigkeit oder Hausarbeit)

0 Nein 1 Ja

B. Freizeitaktivitäten

0 Nein 1 Ja

7. Über welche Zeitspanne haben die Schulterbeschwerden Ihre normale Arbeit (beruflich oder Hausarbeit) während der letzten 12 Monate behindert?

- 0 So stark waren die Beschwerden nicht.
 1 an 1-7 Tagen.
 2 an 8-30 Tagen.
 3 an mehr als 30 Tagen.

8. Haben Sie wegen Ihrer Schulterbeschwerden einen Arzt, einen Chiropraktiker oder Physiotherapeuten o.ä. aufgesucht?

0 Nein 1 Ja

9. Hatten Sie in der letzten Woche bzw. in den letzten 7 Tagen irgendwann Schulterbeschwerden?

0 Nein 1 Ja

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.