

Koagulationsdämpfe während gynäkologischer Laparoskopien – ein potenzielles Risiko für Adhäsionen oder Rezidive bei malignen Erkrankungen?

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Humanmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Carolin Elena Bautista

aus Velbert

Gießen 2024

Aus dem Fachbereich der Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen
In der Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe

Gutachter: Prof. Dr. Meinhold-Heerlein, Ivo

Gutachter: Prof. Dr. Hecker, Andreas

Tag der Disputation: 05.12.2024

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1. Postoperative Adhäsionen

1.1.1. Risiken für das Entstehen von Adhäsionen

1.1.2. Folgen von Adhäsionen

1.1.3. Pathophysiologie der Adhäsionsentstehung

1.2. Laparoskopie in der Gynäkologie

1.2.1. Adhäsionen in der laparoskopischen Gynäkologie

1.2.2. Laparoskopie in der gynäkologischen Onkologie

1.2.3. Anwendung in der operativen Therapie des Zervixkarzinoms

1.2.4. Gefahren in der laparoskopischen Therapie von Malignomen

1.3. Koagulationsdämpfe

1.3.1. Partikelentstehung bei verschiedenen elektrochirurgischen Instrumenten

1.4. Elektrochirurgie

1.4.1. Die bipolare Technik

1.4.2. Die monopolare Technik

1.4.3. Technischer Hintergrund bei Ultracision

2. Fragestellung

3. Material und Methoden

3.1. Studiendesign

3.2. Patientenkollektiv

3.3. Datenerhebung

3.3.1. Experimentelle perioperative Datenerhebung

3.3.1.1. Untersuchte Operationen

3.3.1.2. Verwendete Instrumente

3.3.1.3. Allgemeine Informationen zur Versuchskonstruktion

3.3.1.4. Versuchsaufbau

3.3.1.5. Prinzip der Lasertechnik

3.3.1.6. Durchführung der Messung

3.4. Definitionen und Berechnungen einzelner Variablen

3.5. Statistische Datenauswertung

4. Ergebnisse

4.1. Deskriptive Statistik

4.1.1. Benutzung der Koagulationsinstrumente

4.1.1.1. Benutzung des Bipolars

4.1.1.2. Benutzung des Monopolars

4.1.1.3. Benutzung von Ultracision

4.1.2. Operationsindikation

4.1.3. Genutzte Instrumente pro Operation

4.1.4. Voroperationen

4.1.5. Länge der Operation

4.1.6. Gesamtpartikelzahl

4.1.7. Gesamtpartikelzahl bezüglich der Bipolarnutzung

4.1.8. Gesamtpartikelzahl bezüglich der Monopolarnutzung

4.2. Konfirmatorische Statistik

4.2.1. Partikelzahlen im Vergleich von Monopolar und Bipolar

4.2.2. Partikelzahlen der unterschiedlichen Größen

4.3. Explorative Statistik

4.3.1. Zusammenhang zwischen der Partikelmenge und der Operationsdauer

4.3.2. Zusammenhang zwischen der Partikelmenge und Voroperationen

4.3.3. Zusammenhang zwischen der Länge der Operation und Voroperationen

5. Diskussion

5.1. Partikelentstehung bei verschiedenen Koagulationsinstrumenten

5.2. Einflussfaktoren auf die Entstehung der Partikel

5.3. Analyse der Partikel und deren Gefahren

5.4. Adhäsionsbildung bei unterschiedlichen elektrochirurgischen Instrumenten

5.5. Präventionsmaßnahmen der Adhäsionsentstehung und der Gesundheitsgefährdung des Personals

5.6. Einfluss der Koagulationstechnik in der gynäkologischen Onkologie

5.7. Beantwortung der Fragen

5.8. Schlussfolgerung und Ausblick

- 6. Zusammenfassung**
- 7. Summary**
- 8. Abbildungsverzeichnis**
- 9. Tabellenverzeichnis**
- 10. Literaturverzeichnis**
- 11. Ehrenwörtliche Erklärung**
- 12. Danksagung**

1. Einleitung

1.1 Postoperative Adhäsionen

Postoperative Adhäsionen sind eine der häufigsten Komplikationen der sowohl offenen als auch laparoskopischen Bauch- und Beckenchirurgie. Das Auftreten von Adhäsionen ist in der Chirurgie ubiquitär und unvermeidbar bei einer invasiven Tätigkeit. Es bilden sich fibrinöse Verwachsungen zwischen dem viszeralem Peritoneum, dem Omentum, den peritonealen Strukturen, den Organen und dem umliegenden Gewebe (Arung, 2011). Die Bildung von Adhäsionen ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig, wie der Art und Dauer der Operation, der verwendeten Instrumente und Techniken, der Expertise des Operateurs oder der Operateurin und dem individuellen Status des Patienten oder der Patientin (Mais et al., 2017). Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass sich nach der Mehrzahl der abdominalen Operationen postoperative Adhäsionen bilden (Moris et al., 2017). Die klinische Ausprägung solcher Adhäsionen variiert von einem stummen Verlauf bis zu einem Darmverschluss. Auch der Zeitpunkt des Auftretens von Symptomen variiert stark, so können sich auch noch Jahre nach der Operation Komplikationen entwickeln, die im Zusammenhang mit daraus hervorgegangenen postoperativen Adhäsionen stehen. Am häufigsten manifestieren sich Beschwerden wie chronisch abdominaler Schmerz, ein Dünndarmverschluss, die Infertilität der Frau und reoperative Komplikationen (Kavic & Kavic, 2002). Der zeitliche Zusammenhang sowie die individuelle Ausprägung sind bis heute nicht ausreichend verstanden (Moris et al., 2017). So existieren zum aktuellen Zeitpunkt nur partiell Guidelines zur Prävention und Behandlung von Adhäsionen, wie beispielsweise die „Bologna Guidelines“, welche von der World Society of Emergency Surgery zur Diagnostik und Therapie von Dünndarmverwachsungen entworfen wurden (Leclercq et al., 2015). Obwohl eine solche Komplikation chirurgischer Eingriffe ein allgegenwärtiges Problem ist, wird über diese nur in der Minderheit der Fälle aufgeklärt (van Goor, 2007). Die Folgen, die aus der Adhäsionsbildung resultieren, stellen jedoch häufig eine psychische und körperliche Herausforderung für die Betroffenen und auch eine erhöhte Schwierigkeit für die Ärzte und Ärztinnen dar. Des Weiteren zeigen sich auch auf wirtschaftlicher Ebene negative Auswirkungen durch die entstehenden Komplikationen und das vermehrte Vorkommen einer stationären Wiederaufnahme der PatientInnen (Arung, 2011).

1.1.1 Risiken für das Entstehen von Adhäsionen

Die Entstehung von iatrogen hervorgerufenen Adhäsionen ist multifaktoriell bedingt. Dabei werden inflammatorische Reaktionen auf eine chirurgische Irritation des Gewebes, ein Trauma des Gewebes, Blutung und Koagulation, Fremdkörperpartikel sowie Infektionen als Ursachen diskutiert (Nahirniak & Tuma, 2021). Es ist bekannt, dass intraabdominelle Blutungen und Infektionen die Bildung von Adhäsionen fördern (van Goor, 2007). Des Weiteren spielt die Art der Operation, die damit zusammenhängende Operationsdauer und die Erfahrung der OperateurInnen eine große Rolle bei der Entstehung beziehungsweise Ausprägung von Adhäsionen (Mais et al., 2017). So stellten Mais et al. eine Korrelation zwischen der Expertise der OperateurInnen und der Entstehung von postoperativen Adhäsionen bei laparoskopischen Eingriffen dar. Es zeigte sich, dass je erfahrener der Operateur oder die Operateurin war, desto geringer fiel die Ausprägung von postoperativen Adhäsionen aus (Mais et al., 2017). Außerdem ist das Risiko von der Art der Eröffnung des Bauchraums und den verwendeten Instrumenten abhängig (van Goor, 2007). Beispielsweise wird bei intraabdominellen Operationen häufig eine elektrische Koagulation verwendet. Dies führt zu thermischen Schäden sowie Nekrosen des Gewebes, welche wiederum die Entstehung von Adhäsionen postoperativ fördern (Brüggmann et al., 2010). Der durch die elektrische Koagulation entstehende „surgical smoke“ beinhaltet verschiedene Partikel, welche für den Körper schädlich sind und mögliche Komplikation fördern können. Individuelle Faktoren des Patienten oder der Patientin, wie Komorbiditäten oder Voroperationen, beeinflussen die Entstehung von Adhäsionen ebenfalls negativ (van Goor, 2007) (Brüggmann et al., 2010). Ein weiterer Risikofaktor für Adhäsionen sind Fremdkörperpartikel. Schon 1967 beobachtete Myllärniemi, dass Fremdkörperpartikel, wie das Talkum Puder der Handschuhe, für Adhäsionen verantwortlich sein können (H. Myllärniemi, 1966). Aufgrund dessen wird diese Art der Handschuhe heutzutage nicht mehr verwendet. Auch Partikel des Nahtmaterials oder die Stärke der verwendeten Handschuhe können zu Granulomen oder Adhäsionen führen, die auch nach der Resorption des Fremdkörpermaterials bestehen bleiben (Luijendijk et al., 1996). Bei laparoskopischen Eingriffen kann die Fremdkörperpartikelzahl durch die Vermeidung einer großflächigen Eröffnung des Bauchraums reduziert werden. Jedoch besteht dennoch ein Restrisiko, dass Fremdkörperpartikel in die Bauchhöhle eingebracht werden.

1.1.2 Folgen von Adhäsionen

Bei einer Vielzahl von intraabdominellen Operationen kommt es postoperativ als reaktive Wundheilung auf die Irritation des Gewebes zu Verwachsungen. Die Ausprägung der Symptomatik variiert dabei sowohl zeitlich als auch in ihrer Intensität (Moris et al., 2017). Es zeigt sich ein breites Spektrum an postoperativen Komplikationen, die aufgrund von Verwachsungen entstehen können. Jedoch lässt sich sagen, dass vermehrt chronisch abdominelle Schmerzen auftreten, die über Obstruktionen bis hin zum Darmverschluss reichen. Ten Broek et al. konnten in ihrer Metaanalyse von 61 Studien zeigen, dass die Inzidenz eines Dünndarmverschlusses als Komplikation von postoperativen Adhäsionen 9 % beträgt, jedoch sind 56 % der Dünndarmverschlüsse auf postoperative Adhäsionen zurückzuführen (ten Broek et al., 2013). Die Inzidenz ist stark abhängig von der Lokalisation des Eingriffs und der Patientengruppe. Die höchste Inzidenz ist in der pädiatrischen Chirurgie sowie bei Eingriffen des unteren Gastrointestinaltraktes zu verzeichnen. Geringer fällt die Inzidenz bei Operationen an der Bauchwand und am oberen Gastrointestinaltrakt aus. Außerdem ist zu vermerken, dass die Inzidenz bei laparoskopischen Operationen im Vergleich zu Laparotomien signifikant geringer ausfällt (ten Broek et al., 2013). Chronische abdominelle Schmerzen sind die häufigste Komplikation und können lebenslange Beschwerden verursachen. Beispielsweise entwickelten in einer Studie mit 198 PatientInnen 40 % nach einer Operation am unteren Gastrointestinaltrakt chronische Bauchschmerzen (ten Broek et al., 2013). Dabei manifestiert sich der Schmerz nicht immer auf der Seite der stattgefundenen Operation oder der tatsächlich lokalisierten Adhäsionen (van Goor, 2007). Aufgrund dessen und einer möglichen zeitlichen Diskrepanz könnte es für den behandelnden Arzt oder die Ärztin dann schwierig sein, den Zusammenhang zwischen den Beschwerden und der durchgeführten Operation zu erkennen. Ebenso kann eine primäre oder sekundäre Infertilität eine Folge von postoperativen Adhäsionen sein. Ten Broek et al. konnten dies in ihrer Metaanalyse von neun Studien zeigen. Dazu wurde die Fertilität von Patientinnen nach einer Operation mit der von Patientinnen vor einer Operation oder mit der von Patientinnen nach konservativer Behandlung verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass die Schwangerschaftsrate der nicht operierten Patientinnen bei 82 %, hingegen die der operierten Patientinnen zwischen 38 % und 65 % lag (ten Broek et al., 2013). Die Pathophysiologie dazu ist nicht hinreichend erforscht, jedoch lässt sich vermuten, dass durch Verwachsungen im Bereich der Ovarien, Tuben und des Uterus die normale Funktion und Motilität eingeschränkt ist, woraus eine verminderte Fertilität resultiert

(Kavic & Kavic, 2002). Als weitere lebenslange Folge aus den Verwachsungen erhöht sich das Risiko für Komplikationen bei Folgeoperationen. Durch die bestehenden Verwachsungen und die nötigen partiellen Adhäsio-lysen kann sich die Operationszeit verlängern. Dies kann mit einem erhöhten Risiko für Folgekomplikationen einhergehen, was wiederum negative Auswirkungen auf die Morbidität und die Länge des Krankenhausaufenthalts haben können (van Goor, 2007).

1.1.3 Pathophysiologie der Adhäsionsentstehung

Man kann kongenitale und postoperative Adhäsionen unterscheiden, wobei letztere deutlich häufiger auftreten (Arung, 2011). Außerdem wird bei postoperativen Verwachsungen zwischen „adhesion formation“, „de novo adhesion formation“ und „adhesion reformation“ differenziert (Di Zerega, 2000). Unter der sogenannten „adhesion formation“ versteht man Adhäsionen, die im Operationsfeld auftreten. Eine „de novo adhesion“ hingegen bildet sich außerhalb des Operationsfeldes. „Adhesion reformation“ kann entstehen, nachdem eine Adhäsio-lyse durchgeführt wurde (Di Zerega, 2000). Im Gegensatz zur Wundheilung des Gewebes als physiologische Reaktion auf die chirurgische Tätigkeit versteht man unter Adhäsionen eine pathologische Heilung nach mechanischer oder auch thermischer Schädigung des Gewebes. Kommt es zu einer Verletzung des Gewebes, bluten die Kapillaren ein und die Membranpermeabilität der Gefäße steigt. Gleichzeitig wird Fibrinogen ins Gewebe freigesetzt sowie die Gerinnungskaskade aktiviert. Durch die Spaltung des Fibrinogens zu Fibrin, welches sich dann mit Fibronectin verbindet, und die aktivierte Gerinnungskaskade kann die Wunde vorübergehend geschlossen werden (Brüggmann et al., 2010). Bei einer physiologischen Wundheilung lösen Mesothelzellen eine endogene Fibrinolyseaktivität aus, wodurch die Wunde vollständig rekonstruiert wird. Eine Verminderung dieser Fibrinolyseaktivität ist Ursache für die Bildung von Adhäsionen (Brüggmann et al., 2010). Es resultiert ein verminderter Abbau der Fibrinstränge. In die von nun an bestehenden fibrinösen Strukturen können dann Fibroblasten, Gefäße und Nerven einwandern (Brüggmann et al., 2010). Es resultieren Verwachsungen, die durch die einwandernden Zellen verstärkt werden und die zuvor geschilderten Komplikationen auslösen.

1.2 Laparoskopie in der Gynäkologie

In den letzten Jahrzehnten hat sich das Verfahren der Laparoskopie in der Gynäkologie in vielen Bereichen etabliert (Dural et al., 2017). Diese findet beispielsweise Anwendung als Diagnostikum, zur Durchführung von Hysterektomien, Adnexektomien, Myomenukleationen und auch zur operativen Therapie gynäkologischer Malignome. Die laparoskopischen Verfahren haben viele intraoperative und postoperative Vorteile im Vergleich zu einer Laparotomie. Intraoperativ ergibt sich eine bessere Sicht auf das Operationsfeld und eine geringere Komplikationsrate (IQTIG, 2017). Postoperativ zeigt sich ein besserer Allgemeinzustand der PatientInnen, da weniger postoperative Schmerzen auftreten und auch die Hospitalisationszeit verkürzt ist (Raźnikiewicz et al., 2020). Ein weiterer Vorteil der Laparoskopie ist, dass die Bildung von postoperativen Adhäsionen geringer ausfällt als bei einem offenen Eingriff. Dies ist vor allem bei Frauen im gebärfähigen Alter zu beachten, da das Risiko einer Einschränkung ihrer Fertilität damit sinkt (Raźnikiewicz et al., 2020). Nichtsdestotrotz besteht eine gewisse Komplikationsrate und ein erhöhtes Risiko für eine Adhäsionsbildung (Krielen et al., 2020).

1.2.1 Adhäsionen in der laparoskopischen Gynäkologie

Obwohl das Risiko für „de novo“ Adhäsionen während eines laparoskopischen Eingriffs im Vergleich zu einem offenen Eingriff um rund 21 % vermindert ist, besteht dennoch ein Restrisiko aufgrund verschiedener Eigenschaften der Laparoskopie (Farag et al., 2018). Durch den erhöhten Insufflationsdruck kommt es zur Kompression des Kapillarflusses. Dies kann dann zur Austrocknung und Minderdurchblutung des Gewebes führen, woraus eine Hypoxie resultiert. Durch das Anlegen des Kapnoperitoneums kann es aufgrund der hohen CO₂-Konzentration, der geringeren Luftfeuchtigkeit und der geringen Temperatur zur Entzündungsreaktion des Gewebes kommen (Mais et al., 2017). Weitere Risikofaktoren, die die Adhäsionsbildung fördern, sind die Koagulation und das Eindringen von Fremdkörperpartikeln (Torres-De La Roche et al., 2019). Diese Faktoren können im Gewebe eine lokale Inflammation sowie Nekrosen verursachen, welche die natürliche Wundheilung an dieser Stelle behindern und zu Adhäsionen führen. Das

Eindringen von Fremdkörperpartikeln kann auch eine lokale Infektion bedingen, die dann die Regeneration des Gewebes stört (Torres-De La Roche et al., 2019). In verschiedenen Studien konnte auch ein Zusammenhang zwischen Schnittlokalisation und Schnittlänge sowie der Entstehung von Adhäsionen gezeigt werden (Herrmann et al., 2020).

1.2.2 Laparoskopie in der gynäkologischen Onkologie

Das laparoskopische Vorgehen bei gynäkologischen Malignomen wurde in den späten 80er Jahren etabliert. Seither wird die Laparoskopie aufgrund der Vorteile gegenüber dem offenen Vorgehen, wie einem geringeren Blutverlust, einer Minderung des Gewebeschadens und einer verringerten Liegezeit, häufig in der gynäkologischen Onkologie verwendet. So findet das minimalinvasive Vorgehen unter anderem Verwendung in der Diagnostik, dem Staging und der Therapie des Endometriumkarzinoms, des Ovarialkarzinoms, des Teratoms, der paraaortalen Lymphadenektomie und des Zervixkarzinoms (Mandic et al., 2013).

1.2.3 Anwendung in der operativen Therapie des Zervixkarzinoms

Das Zervixkarzinom ist weltweit das vierthäufigste Karzinom der Frau und nach dem Mammakarzinom das zweithäufigste gynäkologische Karzinom (International Agency for Research on Cancer, 2023). In Deutschland konnte die Inzidenz durch das 1971 eingeführte Früherkennungsprogramm des Papanicolaou-Abstrichs (PAP- Abstrich) und durch die Impfung gegen Humane Papillomaviren (HPV) als Primärprävention deutlich gesenkt werden, sodass das Zervixkarzinom nun das vierthäufigste gynäkologische Karzinom darstellt. Die Entstehung des Zervixkarzinoms, welches in den meisten Fällen ein Plattenepithelkarzinom darstellt, basiert in 99 % der Fälle auf der HPV-Infektion. Dabei geht ein deutlich erhöhtes Risiko für eine Entstehung des Karzinoms von einer Infektion mit den Subtypen 16 und 18 aus (Small et al., 2017). Die meisten Infektionen mit HPV verlaufen still und heilen spontan aus. Sollte die Infektion persistieren, kann sich daraus eine zervikale intraepitheliale Neoplasie (CIN) bilden. Diese wiederum kann dann über einen längeren Zeitraum von Jahren bis Jahrzehnten und ohne ärztliche

Kontrolle und Therapie in ein Zervixkarzinom übergehen (Small et al., 2017). Die operative Therapie des frühen Zervixkarzinoms ist eine radikale Hysterektomie mit gegebenenfalls zusätzlicher Lymphadenektomie. Dabei kann man beim operativen Vorgehen zwischen der laparoskopischen und der offenen Hysterektomie unterscheiden. Diesbezüglich wurde die Studie, Laparoscopic Approach to Cervical Cancer (LACC-Studie), durchgeführt (Ramirez et al., 2018). Diese untersuchte prospektiv und randomisiert die operative Therapie des Zervixkarzinoms in frühen Stadien in zwei Patientengruppen. In der ersten Gruppe wurde eine laparoskopische beziehungsweise roboterassistierte Hysterektomie durchgeführt, in der zweiten Gruppe hingegen eine offene chirurgische Laparotomie. Die Studie zeigte erstmalig, dass eine offene radikale Hysterektomie bessere Ergebnisse bezüglich der krankheitsfreien Jahre und der allgemeinen Überlebensrate erzielte als ein minimal invasives laparoskopisches Vorgehen. So lag die Rate der 4,5 krankheitsfreien Jahre bei einer minimalinvasiven Vorgehensweise bei 86 % der operierten Frauen, bei einer offenen chirurgischen Vorgehensweise bei 96,5 % (Ramirez et al., 2018). Die allgemeine 3-Jahres-Überlebensrate lag bei einem laparoskopischen Vorgehen mit 93,8 % um 5,2 % niedriger als beim offenen Vorgehen (Ramirez et al., 2018). Außerdem lag die 3-Jahres-Mortalitätsrate beim minimalinvasiven Vorgehen mit 4,4 % höher als die Rate des offenen Vorgehens mit 0,6 %. Auch die lokale Rezidivrate lag bei der laparoskopischen Gruppe höher als beim laparotomischen Vorgehen (Ramirez et al., 2018). Als Reaktion auf die LACC-Studie folgten weitere Studien, welche den Sachverhalt näher untersuchten. In einer retrospektiven Studie von Li et al. zeigte sich keine Signifikanz in der 3-Jahres-Überlebensrate zwischen dem offenen und laparoskopischen Vorgehen (Li et al., 2021). Die Inzidenzen der Komplikationsraten unterschieden sich jedoch signifikant zwischen den beiden Operationstechniken (Li et al., 2021). So lagen die Inzidenzen der intraoperativen und postoperativen Komplikationen bei der laparoskopischen radikalen Hysterektomie höher als bei der offenen radikalen Hysterektomie. Dabei kam es am häufigsten zu postoperativen Verwachsungen, ureterovaginalen Fisteln und venösen Thromben. Intraoperativ war die häufigste Komplikation eine Verletzung des Ureters (Li et al., 2021). Ursache dafür könnte der thermische Schaden ausgehend vom Koagulationsinstrument darstellen, welcher zu postoperativen Nekrosen führen kann (Becker & De Wilde, 2016) (Vasilevska et al., 2022). Eine weitere Studie von Melamed et al. brachte hingegen ähnliche Ergebnisse wie die LACC-Studie hervor und zeigte ein um 3,8 % höheres Risiko, nach einer

laparoskopischen Operation als nach einer Laparatomie innerhalb von 4 Jahren zu versterben (Melamed et al., 2018). Bis heute ist die Diskussion über das operative Vorgehen beim frühen Zervixkarzinom nicht beendet. Gegenstand der aktuellen Literatur ist nun vermehrt die Ursachenforschung, warum das laparoskopische Vorgehen teilweise schlechtere Ergebnisse in der Überlebens-, Rezidiv-, und Komplikationsrate erzielt. Zu dieser Ursachenforschung tragen wir mit unseren Untersuchungsergebnissen bei und stellen dazu folgende Hypothese auf:

„Die Verwendung von elektrochirurgischen Instrumenten in der operativen Therapie von malignen Erkrankungen trägt aufgrund der Versprengung von Partikeln zu einer erhöhten Rezidivrate bei.“

1.2.4 Gefahren der laparoskopischen Technik bei der Therapie von Malignomen

Das laparoskopische Operieren bietet viele Vorteile, wie eine kürzere Hospitalisierungsdauer, eine schnellere Wundheilung und eine geringere Komplikationsrate (Vasilevska et al., 2022). Bei der laparoskopischen Therapie von Malignomen sind diese Vorteile, wie verschiedene Studien zeigten, jedoch nicht zu verallgemeinern. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass TumorpatientInnen durch stattgehabte Therapien, wie Chemotherapien oder Operationen, für verschiedene Komplikationen prädisponiert sind (Chi et al., 2004). Außerdem sind verschiedene Faktoren bekannt, die zur Bildung von Port-site-Metastasen führen können. Der sogenannte „Chimney Effect“ besagt dazu, dass sich aufgrund der kontinuierlichen CO₂-Leckage Tumorzellen in Bereich des Trokars ablagern und das Gewebe infiltrieren (Ramirez et al., 2003). Die folgenden Mechanismen begünstigen diesen Effekt: Durch das Erzeugen eines CO₂-Pneumoperitoneums wird eine lokale Azidose induziert, woraus eine lokale Hypoxie resultiert. Aufgrund dessen ändert sich das peritoneale Milieu (Hanly et al., 2007). So stellten Wong et al. diesbezüglich die Hypothese auf, dass die Ansäuerung des peritonealen Milieus die Implantierung von Tumorzellen vereinfacht (Wong et al., 2004). Als Hintergrund wird die verminderte Zytokin- und Sauerstoffradikalausschüttung und die vermehrte Ausschüttung von Hypoxie-induzierten Faktoren beschrieben (Gao et al., 2020). Ein weiterer Faktor, der die Infiltration und Proliferation von Tumorzellen im Gewebe zusätzlich begünstigt, ist das Anlegen eines Pneumoperitoneums, welches durch einen erhöhten intraabdominellen Druck zur

Lockerung der Zellverbände führt. Eine signifikante Steigerung der Zellmigration konnte bei einem Druck des Pneumoperitoneums ab 15 mmHg nachgewiesen werden (Gao et al., 2020). Die Entfernung der Tumormasse über die Trokare stellt eine weitere Gefahr der Tumorzellausbreitung dar. Zur Exstirpation des Tumors muss dieser in vielen Fällen intraabdominell zerteilt werden, sodass er durch die Trokare entfernt werden kann. Währenddessen können sich Tumorzellen lösen und abdominelle Metastasen verursachen (Mandic et al., 2013). Die Bildung von Port-site-Metastasen korreliert nachweislich mit einer geringeren Überlebensdauer. Als weiterer negativer Einflussfaktor auf die krankheitsfreien Jahre bei einer laparoskopisch durchgeführten Hysterektomie beim Zervixkarzinom wird die Benutzung eines Manipulators aufgeführt. So konnten Chiva et al. in der SUCCOR-Studie darstellen, dass der Verzicht auf einen Manipulator zu einer signifikanten Steigerung der krankheitsfreien Jahre und zu einer Verringerung der Rezidivrate führte (Chiva et al., 2020). Auch bei der Behandlung von Patientinnen mit Endometriumkarzinom konnte gezeigt werden, dass der Gebrauch des Manipulators mit einer höheren Rezidivrate, einem gesteigerten Mortalitätsrisiko und einer Verringerung der krankheitsfreien Jahre einherging (Padilla-Iserte et al., 2021). Für die Ursache wurden verschiedene Theorien beschrieben. Es wird einerseits die Manipulation und Verletzung des Gebärmuttergewebes diskutiert, welches eine Implantation von Tumorzellen begünstigt. Andererseits wird eine Verletzung des Tumors selbst diskutiert, die zur Ausbreitung der Tumorzellen führen kann. Außerdem besteht eine weitere Hypothese, welche den erhöhten intrauterinen Druck als Ursache für eine Tumorzellverbreitung annimmt (Padilla-Iserte et al., 2021).

1.3 Koagulationsdämpfe

Bei der intraperitonealen Blutstillung mittels elektrischer Koagulation und auch bei der Fibrokoagulation entstehen Dämpfe, die zu 5 % verschiedene Substanzen enthalten, wie Zell- und Gewebefragmente, Blut, Chemikalien, Viren und Bakterien (Liu et al., 2019). Die restlichen 95 % des sogenannten „surgical smoke“ bestehen aus Wasser beziehungsweise Wasserdampf (Liu et al., 2019). Durch den Zelluntergang bilden sich toxische Stoffe, wie karbonisierte Zellfragmente und gasförmiger Kohlenwasserstoff (Liu et al., 2019). Betrachtet man die Koagulationsdämpfe näher, zeigt sich, dass sie neben

den genannten Bestandteilen ebenso karzinogene Stoffe wie 1,3-Butadien, Vinylacetylen, Benzol und Acetonitril enthalten (Liu et al., 2019)(Choi et al., 2018). Aufgrund der geringen Partikelgröße besteht die Gefahr, dass die Partikel in das venöse System eindringen und in diesem zirkulieren, bis sie die Lunge erreichen (Farrugia, 2009). Welches Risiko genau das Eindringen birgt, ist jedoch nicht bekannt, da man nicht weiß, wie das Endothel der Blutgefäße mit diesen Partikeln interagiert (Farrugia, 2009). Die elektrische Koagulation und die dabei entstehenden Gase können sich damit negativ auf die Gesundheit des Patienten oder der Patientin, aber auch auf die Gesundheit des Operationspersonals auswirken. In einer diesbezüglichen Studie gab das gesamte Operationspersonal an, schon einmal an Kopfschmerzen, Halsschmerzen, Übelkeit, tränenden Augen und weiteren klinischen Symptomen in Zusammenhang mit einer durchgeführten Operation gelitten zu haben (Liu et al., 2019). Die kanzerogene Wirkung untersuchten Tseng et al., indem sie die polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffbelastung in den Koagulationsdämpfen bei Mastektomien analysierten (Tseng et al., 2014). Es konnte gezeigt werden, dass die durch die Elektrokoagulation entstehenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe einen karzinogenen Effekt auf das Personal haben können (Tseng et al., 2014). Obwohl derzeit keine Langzeitstudien zum gesundheitlichen Verlauf des Operationspersonals vorliegen, lässt sich sagen, dass die Exposition mit Lungenkarzinomen und weiteren Erkrankungen der Atemwege assoziiert ist (Karjalainen et al., 2018). Neben den gesundheitlichen Risiken und Komplikationen führt der entstehende Rauch auch zu praktischen Schwierigkeiten. Bei einer laparoskopischen Operation können diese Dämpfe das Sichtfeld der OperateurInnen behindern, was weitere Komplikationen nach sich ziehen könnte (Liu et al., 2019). Außerdem müssen diese Dämpfe zum Fortführen der Operation abgelassen werden und gefährden somit dann das Operationspersonal. Es wird deutlich, dass diese Dämpfe negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen haben können. Inwiefern die in den Gasen enthaltenen Partikel auch einen Einfluss auf die Adhäsionsbildung haben, ist noch nicht endgültig geklärt. Aufgrund dessen ist die Forschungsfrage „Koagulationsdämpfe während gynäkologischer Laparoskopien – Ein potenzielles Risiko für Adhäsionen?“ entstanden.

1.3.1 Partikelentstehung bei verschiedenen elektrochirurgischen Instrumenten

Die Partikel, die beim Koagulieren oder Schneiden des Gewebes entstehen, sind in ihrer Größe und Zusammensetzung abhängig vom Gewebe und dem angewandten Instrument. So zeigten Karjalainen et al., dass in der Leber die höchste Anzahl an Partikeln festgestellt werden konnte, gefolgt von der Skelettmuskulatur und dem Nierengewebe (Tseng et al., 2014). Es konnte außerdem gezeigt werden, dass sich das monopolare und bipolare Gerät bezüglich der Partikelgröße signifikant unterscheiden. Farrugia et al. analysierten dazu wasserunlösliche Partikel, die bei der Anwendung des monopolaren und des bipolaren Geräts bei Hysterektomien entstehen. Der Median der Partikeldurchmesser lag unter Anwendung des monopolaren Geräts bei $0,128\ \mu\text{m}$. Hingegen war der Median des Durchmessers der Partikel des bipolaren Geräts fast doppelt so groß mit $0,254\ \mu\text{m}$ (Farrugia, 2009). In einer weiteren Studie von Weld et al. wurde neben der Größe der Partikel auch die Dichte in Koagulationsdämpfen untersucht. Diese Studie konnte zeigen, dass das monopolare Instrument eine große Zahl an kleinen Partikeln freisetzte, im Gegensatz zum bipolaren Instrument oder Ultraschallskalpell, welche eine geringere Menge an größeren Partikeln freisetzten (Weld et al., 2007). Außerdem wurde nachgewiesen, dass der Koagulationsdampf des Monopolars 82-mal konzentrierter war als der des Bipolars und 721-mal konzentrierter als der des Ultraschallskalpells „Harmonic“ (Weld et al., 2007). Durch die hohe Konzentration an kleineren Partikeln ist die Sicht bei Benutzung des monopolaren Geräts so deutlich eingeschränkter als bei der Benutzung der anderen elektrochirurgischen Instrumente (Weld et al., 2007).

1.4 Elektrochirurgie

Die Elektrochirurgie oder auch Hochfrequenzchirurgie (HF-Chirurgie) wird seit Jahrzehnten international zur Koagulation und zum Schneiden von Gewebe genutzt. Dazu werden verschiedene Verfahren angewandt. Zum einen gibt es mono- und bipolare Techniken, die sich Wechselstrom mit hohen Frequenzen zwischen 500 Kilohertz und 3300 Kilohertz (kHz) zu Nutzen machen (Kuan et al., 2015). Diese Spanne liegt oberhalb der Frequenzen, die eine neuromuskuläre Stimulation auslösen würde (Huschak et al., 2009). Zum anderen gibt es Instrumente, die mit Ultraschall arbeiten. Diese Techniken

ermöglichen es den OperateurInnen, simultan zu schneiden und das durchtrennte Gewebe zu koagulieren oder isoliert Blutungsquellen zu verschließen (Huschak et al., 2009). So erfolgt ein möglichst blutarmes chirurgisches Vorgehen, das Komplikationen vermindert. In der HF-Chirurgie gibt es verschiedene Instrumente, die sich in ihren technischen Grundlagen und in ihrer Anwendung unterscheiden. Die Wirkung der Wärmeenergie ist jedoch bei allen Instrumenten abhängig von der Stromdichte, der Dauer der Anwendung, der Strom- und Elektrodenform und der Art des Gewebes (Huschak et al., 2009). Bei der reinen Koagulation wird das Gewebe, beziehungsweise das Gefäß, langsam erhitzt. Dies führt zunächst zum Flüssigkeitsverlust und zur Exsikkation des Gewebes. Erhöht sich die Temperatur weiter auf 70° - 80° C, denaturieren die Proteine der Gefäßwände (Brill, 2011). Bei 90° C wird das Gewebe destruiert, ohne zu karbonisieren (Brill, 2011). Das Gefäß wird durch das Aneinanderlegen der destruierten Gefäßwände verschlossen. Das Schneiden des Gewebes mit einem elektrischen Instrument beruht auf der Bildung eines Lichtbogens zwischen der Elektrode und dem Gewebe. Ab ca. 200° C karbonisiert das Gewebe und ab ca. 500° C vaporisiert es (Huschak et al., 2009).

1.4.1 Die bipolare Technik

Die bipolare Technik wird zur direkten Blutstillung am Gefäß selbst oder zur Koagulation in einem gewissen Gewebereich angewandt. Es wird ein Instrument mit zwei Polen verwendet, welches als Pinzette oder Klemme genutzt werden kann. Beide Enden des jeweiligen Instruments stellen einen Pol dar. Zur Koagulation wird das Gefäß oder das Gewebe zwischen die beiden Elektroden des Instruments geklemmt (Brill, 2011). Der Stromfluss geht vom Generator aus zur ersten Elektrode und über den eingestellten Gewebereich zur zweiten Elektrode (Brill, 2011). So wird der Strom gezielt durch den Körper geleitet und es entsteht nur ein geringer Leckstrom. Dies ist ein vorteilhaftes Verfahren, da nur das Gewebe koaguliert wird, welches bewusst zwischen die beiden Elektroden gefasst wird, und so ungewollte thermische Schäden vermieden werden. Außerdem ist durch den definierten Bereich der Koagulation der Kreislauf in sich geschlossen und es bedarf keiner Neutralelektrode. Dies schließt Komplikationen aus, die damit einhergehen können (Vilos & Rajakumar, 2013). Dauer und Lokalisation der thermischen Anwendung sind für den Operateur oder die Operateurin so gut

kontrollierbar. Ein weiterer Vorteil ist die geringe Interferenz mit elektronischen Geräten, beispielsweise Herzschrittmachern. Die bipolare Technik ist hervorragend zur Blutstillung geeignet und zeichnet sich durch eine relativ sichere Nutzung mit einem geringen Komplikationsrisiko aus (Vilos & Rajakumar, 2013). Nachteilig ist jedoch, dass diese Technik nicht genutzt werden kann, um Gewebe zu schneiden.

1.4.2 Die monopolare Technik

Die monopolare Technik eignet sich sowohl zur Koagulation als auch zum Schneiden des Gewebes. Dafür fließt der Strom vom Generator zur Elektrode, wo die hohe Stromdichte punktuell appliziert wird. Von der Applikationsstelle fließt der Strom entlang des geringsten Widerstands durch den Körper zur Neutralelektrode. Der Patient oder die Patientin ist so Teil des Stromkreislaufs. Zur Anwendung ist eine höhere Spannung nötig, da es sich um einen größeren Stromkreislauf handelt als bei der bipolaren Technik (Brill, 2011). Durch die erhöhte Spannung ist eine millimetergenaue Anwendung nötig, um kein weiteres Gewebe zu schädigen. Dieses präzise Vorgehen bedarf Erfahrung im Umgang mit elektrochirurgischen Instrumenten (Vilos & Rajakumar, 2013). Die monopolare Technik ist effektiv und praktisch, jedoch geht mit der Anwendung auch eine erhöhte Gefahr für Komplikationen einher. Die monopolare Technik birgt auch die Gefahr der Gewebeschädigung nicht vorgesehener Areale. Dies kann durch unpräzise Platzierung der Applikationsspitze aber auch durch falsche Platzierung der Neutralelektrode geschehen (Huschak et al., 2009). Ist die Neutralelektrode nicht richtig platziert oder von den PatientInnen gelöst, fließt der Strom durch ein kleines Gewebegebiet mit hohem Widerstand. Dies zieht eine starke Erwärmung, die bis zur Verbrennung reichen kann, nach sich (Huschak et al., 2009). Darüber hinaus kann es zu unabsichtlichen Verbrennungen durch Leckagestrom kommen, wenn der Patient oder die Patientin gegenüber dem geerdeten Operationstisch nicht richtig isoliert ist (Huschak et al., 2009). Die regelrechte Isolierung erfolgt durch eine Auflage auf dem Operationstisch. Aufgrund von Flüssigkeitsabgängen von PatientInnen, wie Blut und Spülflüssigkeit, kann diese Isolierung aufgehoben werden. Dies wiederum kann zu Verbrennungen durch den Leckagestrom führen (Huschak et al., 2009).

1.4.3 Technischer Hintergrund bei Ultracision

Das ultraschallaktivierte Skalpell oder sogenannte Ultracision nutzt Ultraschall, um Gewebe zu schneiden und zu präparieren bei gleichzeitiger Koagulation. Bekannte Vertreter dieser Instrumente sind das Harmonic Skalpell® und das Sonicision™ (Kuan et al., 2015). Diese Instrumente haben an der Spitze zwei Blätter, die eine Schneide bilden. Ein Blatt der Schere wird mit 55,5 kHz in hochfrequente Schwingungen versetzt, wodurch es eine Temperatur von 50° bis maximal 100° C erreicht (Universitätsklinikum Heidelberg, 2021). Diese hochfrequente Vibration und die erhöhte Temperatur ermöglichen die Präparation von Gewebe und den gleichzeitigen Verschluss von Gefäßen. Im Gegensatz zur monopolaren Technik, die auch diese Eigenschaften besitzt, ist die Ultracision-Technik frei von elektrischen Strömen, die durch den Körper der PatientInnen fließen (Kuan et al., 2015). Dies minimiert die Komplikationsrate. Des Weiteren werden eine geringere Effizienz und eine langsamere Koagulation beschrieben (Kuan et al., 2015).

2. Fragestellung

Da in der aktuellen Literatur keine ausführlichen Daten zur Entstehung von Partikeln und deren Größenverteilung bei in vivo Koagulation in Bezug auf verschiedene Instrumente gefunden werden konnten, wurde diese Pilotstudie intraoperativ durchgeführt. Dazu wurden mehrere Fragestellungen formuliert, die anhand der erhobenen Daten beantwortet werden sollten:

1. Wie viele Partikel entstehen bei der Anwendung der verschiedenen Koagulationsinstrumente?
2. Welche Partikelgrößen entstehen bei der Anwendung der verschiedenen Koagulationsinstrumente?
3. Steigt die Anzahl der Partikel und die Länge der Operation bei voroperierten Patientinnen?

3. Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Die vorliegende Dissertation wurde auf Basis der klinischen Studie mit den im St. Marienkrankenhaus Frankfurt erhobenen Daten in Zusammenarbeit mit der Frauenklinik Gießen verfasst. Die Studie befasst sich mit 40 Patientinnen, die sich im Zeitraum von August 2015 bis Februar 2016 einer geplanten laparoskopisch gynäkologischen Operation im St. Marienkrankenhaus Frankfurt unterzogen haben. Der Ethikantrag zur vorliegenden Studie wurde im Dezember 2013 von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Justus-Liebig-Universität Gießen bewilligt (Antrag Nr. 193/13). Alle freiwillig teilnehmenden Patientinnen wurden im Voraus über den Inhalt und Ablauf der Studie sowie ihr Recht zum Abbruch zu jeglichem Zeitpunkt informiert. Der dazugehörige Aufklärungsbogen lässt sich im Anhang finden.

3.2 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv setzte sich aus 40 Patientinnen im Alter von 26 - 77 Jahren zusammen, die aufgrund verschiedener Indikationen an der Frauenklinik des St. Marien Krankenhaus Frankfurt laparoskopisch operiert wurden. Einschlusskriterium war dabei, dass bei der Patientin eine Indikation zur laparoskopischen Operation vorlag. Ausschlusskriterien waren das Vorliegen einer Komorbidität, die als Kontraindikation gegen einen laparoskopischen Eingriff galt, sowie eine nicht unterschriebene Aufklärung.

3.3 Datenerhebung

Bei jeder Patientin wurden Alter, Gewicht, Indikation zur Operation, Operationsdauer, angewandte Instrumente und Häufigkeit der Benutzung, Anzahl der Trokare sowie mögliche Voroperationen dokumentiert. Außerdem wurde perioperativ die Anzahl der entstehenden Partikel jeder Größe per Lasermessgerät gezählt und dokumentiert.

3.3.1 Experimentelle perioperative Datenerhebung

Während der Operation wurde die Anzahl der Trokare, die Anzahl der Nutzungen des monopolaren Instruments, des bipolaren Instruments und des Ultracision dokumentiert. Außerdem wurde durch das Lasermessgerät die Anzahl der entstehenden Partikel verschiedener Größen (0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm, 3 µm, 5 µm und 10 µm) gemessen. Im Folgenden werden die Inhalte und Abläufe des Versuchs mit dem zugehörigen Messverfahren näher erläutert.

3.3.1.1 Untersuchte Operationen

Es lagen bei den untersuchten Operationen elf verschiedene Indikationen für den laparoskopischen Eingriff vor, die im Folgenden gelistet sind: Eileiterschwangerschaft, Ovarialtumor, Ovarialzyste, Hysterektomie, Adnexektomie, Hysterektomie mit Adnexektomie, diagnostische Laparoskopie, Teratom, Pyosalpinx, Salpingektomie und eine paraaortale Lymphadenektomie.

3.3.1.2 Verwendete Instrumente

Bei den zu analysierenden Instrumenten, die während der verschiedenen Operationen genutzt wurden, unterschied man zwischen dem monopolaren Instrument, dem bipolaren Instrument und dem Ultracision Skalpell.

3.3.1.3 Allgemeine Informationen zur Versuchskonstruktion

Die Studie bezieht sich ausschließlich auf laparoskopische Operationen, in denen mit einem minimalinvasiven Messverfahren (Abakus® mobile air, Markus Klotz GmbH, Bad Liebenzell, Deutschland) die Partikelzahl analysiert wurde. Die 40 untersuchten Operationen umfassten dabei verschiedene Operationsarten. Die Diversität der Operationsarten wurde gewählt, um die Partikelmenge und -größe bei einem breiteren

Spektrum an Indikationen beurteilen und einen möglichen Zusammenhang herstellen zu können. Zur Dokumentation der Messparameter wurde der folgende Bogen entworfen:

| Dokumentationsbogen „Messparameter Partikelanalyse“ | |
|--|--------------------------|
| Datum: | OP Nr.: |
| Indikation zur Operation: | |
| Geburtsdatum: | Gewicht: |
| Voroperationen: (ja / nein) | welche? |
| Schnitt [hh:mm]: | |
| Naht [hh:mm]: | |
| Gesamtdauer[min]: | |
| Verwendung Monopolar: (ja/ nein) | Anzahl der Verwendungen: |
| Verwendung Bipolar: (ja/ nein) | Anzahl der Verwendungen: |
| Verwendung Ultracision: (ja/ nein) | Anzahl der Verwendungen: |

Abbildung 1: Bogen für Messparameter

3.3.1.4 Versuchsaufbau

Um die Partikelzahl und deren Größenverteilung zu messen, wurde der abgebildete Versuchsaufbau konstruiert:

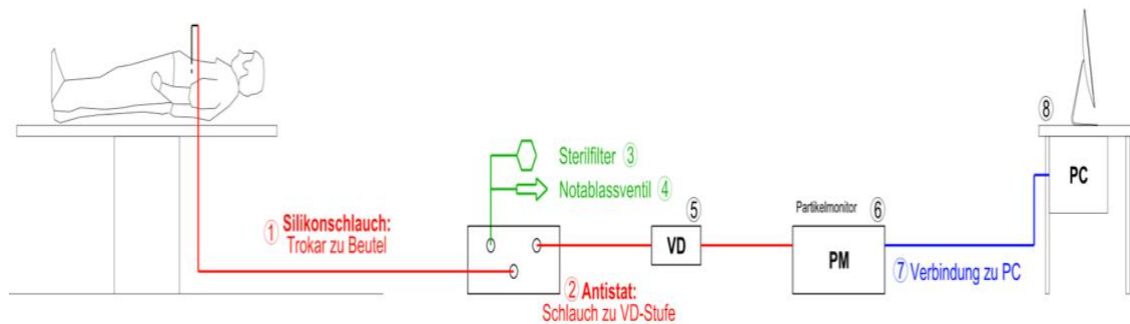


Abbildung 2: Skizze des Versuchsaufbaus

Zunächst wurde an einem der Trokare ein Verbindungsstück angebracht, um den resterilisierbaren Schlauch mit dem Trokar verbinden zu können (Abb. 2, Markierung 1). Das Ablassventil des Trokars war zu diesem Zeitpunkt noch geschlossen und wurde erst zu einem späteren Zeitpunkt geöffnet. Das andere Ende des Silikonschlauchs wurde mit einem antistatischen Schlauch verbunden (Abb. 2, Markierung 2). Dieser wurde an einen Schenkel des Y-Stücks konnektiert. An das zweite Ende des Y-Stücks wurde ein Sterilluftfilter mit einem Notablassventil angebracht (Abb. 2, Markierung 3 und 4). Der dritte Schenkel des Y-Stücks, welcher beide Zuflüsse verbindet, war mit der Verdünnungsstufe verbunden (Abb. 2, Markierung 5). Die Verdünnungsstufe war über einen antistatischen Schlauch mit dem Partikelzähler verbunden (Abb. 2, Markierung 6). Der Partikelzähler war über ein Kabel mit dem Stromnetz und über ein weiteres Kabel mit dem Laptop verbunden, der die Messsoftware enthielt (Abb. 2, Markierung 7 und 8). Sowohl der Laser-Partikelzähler (Abakus® mobile air) als auch die Software sind Eigentum der Marcus-Klotz-GmbH aus Bad Liebenzell.

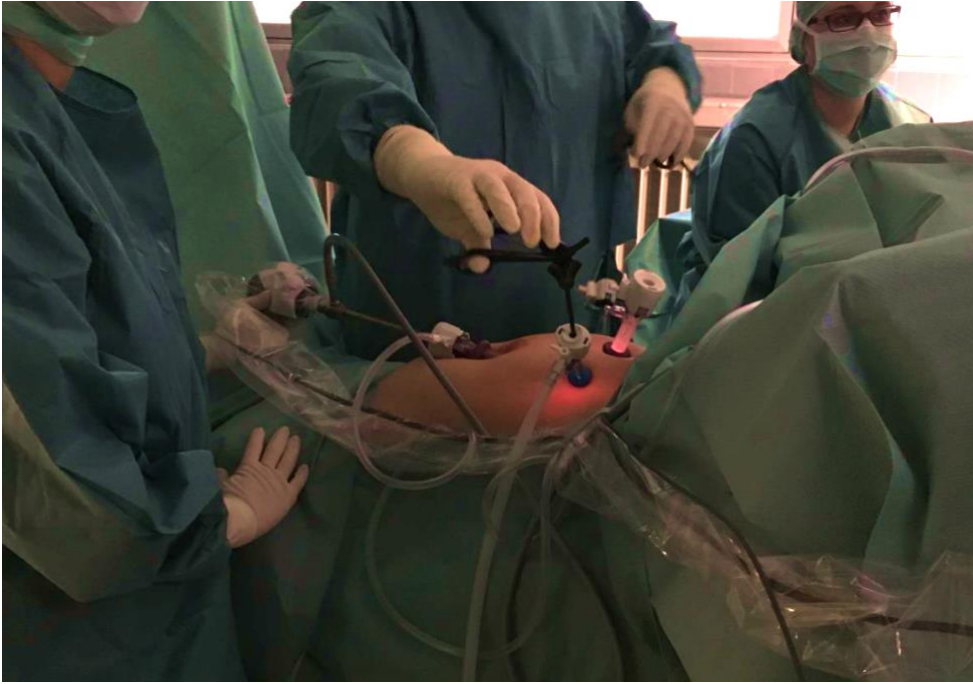


Abbildung 3: Anschluss des Schlauchs an den Trokar
(Eigene Aufnahme)



Abbildung 4: Konnektierung des resterilisierbaren Schlauchs (weiß) an den
antistatischen Schlauch (schwarz)
(Eigene Aufnahme)



Abbildung 5: Anschluss des antistatischen Schlauchs an einen Schenkel des Y-Stücks, Sterilfilter (blau) am anderen Schenkel des Y-Stücks, Verbindungskabel zur Verdünnungsstufe 100 (eigene Aufnahme)

3.3.1.5 Prinzip der Lasermesstechnik

Der Luftpartikelzähler „Abakus® mobil air“ misst durch den LSD 328 Sensor Partikel im Größenbereich von $0,3 - 10 \mu\text{m}$ (Klotz, 2021). Mit Hilfe der Vakuumpumpe, die mit $28,3 \text{ l/min}$ die Partikel ansaugt, ist ein kontinuierlicher Durchfluss gewährleistet (28). Das optische System besteht aus einer 90° Streulicht-Sammeloptik und einer Laserdiode als Lichtquelle (28). Es lässt sich dann ein kontinuierlicher oder ein zyklischer Messmodus wählen. In diesem Versuch wurde der kontinuierliche Modus angewandt. Der Partikelzähler dokumentiert pro Messung Datum, Uhrzeit, Probenkennung, Messzeit, Pausenzeit und die im Vorfeld festgelegten Partikelgrößenkanäle mit distributiver und kumulierter Partikelanzahl. Durch die Auswertesoftware „Log and Show“ ist es möglich, die Datensätze auf den Laptop zu übertragen (28).

3.3.1.6 Durchführung der Messung

Bei jeder Operation wurde nach einem standardisierten Vorgehen die Anzahl der Partikel sowie deren Größenverteilung gemessen. Um von der Luft getragene Partikel aus dem Schlauchsystem zu entfernen, wurde der Sterilluftfilter im Vorfeld an den Messschlauch angebracht und anschließend durchgespült. Als weitere Vorbereitung für die Messung wurde der antistatische Schlauch vor dem Eintritt ins Y-Stück abgeklemmt und der Ablasshahn des Trokars und der Sterilluftfilter geöffnet. Die kontinuierliche Partikelmessung konnte dann begonnen werden. Sobald das erste Mal ein elektrochirurgisches Instrument benutzt wurde, wurde der Zeitpunkt und die Art des Instruments notiert. Außerdem wurde die Kocherklemme am antistatischen Schlauch gelöst, um den Koagulationsdampf in den Schlauch zum Messgerät zu leiten. Der Dampf wurde dann für 60 Sekunden abgeleitet, anschließend wurde die Kocherklemme wieder verschlossen. Dieses Prozedere wurde alle fünf Minuten wiederholt. Im weiteren Verlauf wurde jede Benutzung eines elektrochirurgischen Instruments dokumentiert. Bei den Messungen ergab sich ein Größenspektrum von 0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm, 3 µm, 5 µm und 10 µm. Die Verdünnung von 1:100 durch die Verdünnungsstufe wurde mit der Multiplikation um den Faktor 100 ausgeglichen, um die richtige Menge der Partikel zu errechnen.

3.4 Definitionen und Berechnungen einzelner Variablen

Zur Begriffserklärung, beziehungsweise der Berechnung von Variablen, die in der Studie genutzt werden, werden diese nun näher erläutert. Unter der „Indikation“ versteht man den Grund, warum die zu analysierende Operation durchgeführt wurde. Bei „Voroperationen“ wurde dokumentiert, ob eine Voroperation bei der Patientin vorlag und um welche es sich dabei handelte. Dabei wurden insgesamt 22 verschiedene Indikationen zu Voroperationen genannt: Appendektomie offen und laparoskopisch, Cholezystektomie offen und laparoskopisch, Ovarialzystenentfernung, Sterilisation, Kaiserschnitt, Ileus, Darmteilresektion, diagnostische Laparoskopie, offene Myomentfernung, operative Hysteroskopie, Darmoperation, minimalinvasive Myomentfernung, Hämorrhoidenentfernung, Zystenentfernung, Sectio caesarea mit

Adnexektomie, Sectio caesarea mit Salpingotomie, Abrasio und Sterilisation, Leistenbruch und die Wertheim Operation. Unter der „Länge der Operation“ wird hier der Zeitraum vom ersten Schnitt bis zur Beendigung der letzten Naht verstanden, dieser wurde in der Einheit Minuten dokumentiert. Für die Berechnung der „Gesamtzahl“ wurde die Anzahl der Partikel der verschiedenen Größen pro Operation addiert. Bezüglich der Benutzung der Koagulationsinstrumente ist zwischen den Kategorien „BenutztMono“ bzw. „BenutztBipo“, „BenutztUltra“ und „Mono“, „Bipo“, „Ultra“ zu unterscheiden. Die Kategorien „BenutztMono/Bipo/Ultra“ sagen aus, ob dieses Instrument in der jeweiligen Operation benutzt wurde und sind somit nominal skaliert. Die Kategorien „Mono/Bipo/Ultra“ beziehen sich auf die Häufigkeit der Benutzung während der Operation und sind somit metrisch skaliert. Außerdem wurde für weiterführende Berechnungen der Logarithmus des Werts gebildet, wie hier bei der Länge der Operation, der Gesamtzahl und der Häufigkeit der bipolaren Benutzung.

3.5 Statistische Datenauswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS-Version 27.0.1.0. Zur Ausarbeitung der deskriptiven Statistik wurden die Angaben des Medians, des Mittelwerts, der 25. Perzentile, der 75. Perzentile, des Maximums sowie des Minimums genutzt. Dazu wurden zusätzlich Häufigkeiten dargestellt. Diese Werte wurden in Form von Tabellen, Balkendiagrammen, Streudiagrammen, Liniendiagrammen oder Boxplots dargestellt. Zur konfirmatorischen Statistik wurden zum Vergleich zweier unabhängiger Variablen ein Mann-Whitney-U-Test und eine Varianzanalyse eingesetzt. Als Voraussetzung für die Varianzanalyse wurden die Residuen auf eine Standardnormalverteilung geprüft. In der Varianzanalyse wurden dann die verschiedenen Kategorien für jede Partikelgröße paarweise verglichen. Um dem Fehler der Alphakumulierung entgegenzuwirken, wurde die Bonferroni-Korrektur verwendet. Für die explorative Statistik wurden Boxplots zur bildlichen Darstellung in Zusammenhang mit dem Mann-Whitney-U-Test genutzt. Zusätzlich wurden die Zusammenhänge zwischen zwei Variablen mit einer Regression untersucht. Bei allen Tests lag das statistische Signifikanzniveau bei $p \leq 0,05$.

4. Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistik

4.1.1 Benutzung der Koagulationsinstrumente

Bei den 40 stattgehabten Operationen wurden die drei Koagulationsinstrumente Monopolar, Bipolar und Ultracision unterschiedlich häufig benutzt. Das Bipolar wurde am häufigsten benutzt, so wurde es bei 38 von 40 Operationen eingesetzt. Hingegen kam das Monopolar bei vierzehn und das Ultracision bei vier Operationen zum Einsatz. Im Folgenden ist die Benutzung der Koagulationstechniken im Einzelnen beschrieben.

4.1.1.1 Benutzung des Bipolars

Das Bipolar wurde in 95 % der Operationen genutzt. Da dies die Mehrheit der Operationen darstellt, wurden die Operationen, in denen das Bipolar nicht genutzt wurde, zur weiteren Berechnung herausgefiltert, um die bipolare Benutzung als konstanten Vergleichswert für die Benutzung der weiteren Instrumente zu nutzen.

| Bipolare Benutzung | | | | | |
|--------------------|--------|------------|---------|------------------|---------------------|
| | | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
| | Ja | 38 | 95,0 | 95,0 | 95,0 |
| | Nein | 2 | 5,0 | 5,0 | 100,0 |
| | Gesamt | 40 | 100,0 | 100,0 | |

Tabelle 1: Häufigkeit der Benutzung des bipolaren Instruments

Im Durchschnitt wurde das Bipolar 48-mal pro Operation angewandt. Der Median lag bei 37,5 Anwendungen pro Operation, das Maximum bei 134. Das Minimum lag bei keiner Benutzung.

4.1.1.2 Benutzung des Monopolars

Das monopolare Instrument wurde in der Mehrheit der Operationen nicht benutzt. In 35 % der Operationen wurde es durchschnittlich 8,4-mal pro Operation angewandt. Es kam dabei maximal 55-mal in einer Operation zum Einsatz.

| Monopolare Benutzung | | | | | |
|----------------------|--------|------------|---------|------------------|---------------------|
| | | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
| | Ja | 14 | 35,0 | 35,0 | 35,0 |
| | Nein | 26 | 65,0 | 65,0 | 65,0 |
| | Gesamt | 40 | 100,0 | 100,0 | |

Tabelle 2: Häufigkeit der Benutzung des monopolaren Instruments

4.1.1.3 Benutzung von Ultracision

Das Ultracision wurde insgesamt bei vier Operationen benutzt. Bei zwei dieser Operationen wurde es als einziges Instrument zur Koagulation verwendet, bei den weiteren zwei Operationen wurde es zusätzlich zum Bipolar und Monopolar verwendet. Die mittlere Anwendungshäufigkeit lag bei 6,7 pro Operation. Es wurde dabei maximal 154-mal während einer Operation genutzt.

4.1.2 Operationsindikationen

Es lagen elf verschiedene Indikationen zur laparoskopischen Operation (LSK) vor. Diese sind in der untenstehenden Tabelle gelistet. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die zwei häufigsten Indikationen eine kombinierte Hysterektomie mit einer Adnexektomie und eine Ovarialzystenentfernung waren. Diese Operationsindikationen lagen jeweils in acht Fällen vor. Dies macht relativ gesehen 40 % der Fälle aus. Am zweithäufigsten waren die Adnexektomie bzw. die Hysterektomie Indikation zur Operation, so wurden diese Eingriffe in jeweils sechs Fällen durchgeführt, welche zusammen 30 % der Gesamtheit

darstellen. An dritter Stelle kommt die diagnostische Laparoskopie, die dreimal durchgeführt wurde. Die weiteren Indikationen kamen weniger gehäuft vor und sind maximal in zwei Fällen identisch. Die weitere Aufschlüsselung der Indikationen lässt sich der untenstehenden Tabelle entnehmen.

| | Indikation | | | |
|---------------------------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
| LSK Eileiterschwangerschaft | 2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| LSK Ovarialtumor | 1 | 2,5 | 2,5 | 7,5 |
| LSK Hysterektomie | 6 | 15,0 | 15,0 | 22,5 |
| LSK Adnexektomie | 6 | 15,0 | 15,0 | 37,5 |
| LSK Hysterektomie mit Adnexektomie | 8 | 20,0 | 20,0 | 57,5 |
| LSK Ovarialzyste | 8 | 20,0 | 20,0 | 77,5 |
| Diagnostische LSK | 3 | 7,5 | 7,5 | 85,0 |
| Teratom | 1 | 2,5 | 2,5 | 87,5 |
| Pyosalpinx | 2 | 5,0 | 5,0 | 92,5 |
| Salpingektomie | 1 | 2,5 | 2,5 | 95,0 |
| Paraaortale Lymphadenektomie | 2 | 5,0 | 5,0 | 100,0 |
| Gesamt | 40 | 100,0 | 100,0 | |

Tabelle 3: Häufigkeiten der Indikationen der Operationen

4.1.3 Genutzte Instrumente pro Operation

Während der verschiedenen Operationen wurden die Koagulationsinstrumente unterschiedlich häufig genutzt. Dabei lagen Operationen vor, in denen nur die bipolare oder nur Ultracision Koagulation verwendet wurden. Es lag jedoch keine Operation vor, in der nur die monopolare Koagulation angewandt wurde. Die Nutzung des monopolaren Instruments beschränkte sich auf den zusätzlich zu anderen Instrumenten verwendeten Gebrauch bei alleinigen und kombinierten Hysterektomien und der Operation der Pyosalpinxentfernung. Das Ultracision wurde bei drei Operationsarten genutzt. Parallel

zum Monopolar fand es bei der Hysterektomie und der Pyosalpinxentfernung eine Anwendung zusätzlich zum bipolaren Instrument. Bei der paraaortalen Lymphadenektomie wurde das Ultrascision hingegen als einziges Instrument eingesetzt. In allen weiteren Operationen wurde die bipolare Koagulation genutzt. Die im Mittel häufigste Nutzung von Koagulationsinstrumenten fand während Hysterektomien statt. Die häufigste Nutzung des Bipolars erfolgte im Mittel in der kombinierten Hysterektomie mit einer Adnexektomie, gefolgt von der alleinigen Hysterektomie. Das Monopolar wurde im Mittel auch am häufigsten während der kombinierten Hysterektomie mit einer Adnexektomie verwendet. Hingegen am wenigsten wurde während der Salpingektomie und der Entfernung der Eileiterschwangerschaft koaguliert.

| | | Monopolare Koagulation | Bipolare Koagulation | Ultrascision Koagulation |
|------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| | | Mittelwert | Mittelwert | Mittelwert |
| Indikation | LSK Eileiterschwangerschaft | 0 | 21,50 | 0 |
| | LSK Ovarialtumor | 0 | 39,00 | 0 |
| | LSK Hysterektomie | 20,67 | 85,17 | 16,67 |
| | LSK Adnexektomie | 0 | 29,00 | 0 |
| | LSK Hysterektomie mit Adnexen | 24,88 | 93,38 | 0 |
| | LSK Ovarialzyste | 0 | 28,50 | 0 |
| | Diagn. LSK | 0 | 25,00 | 0 |
| | Teratom | 0 | 67,00 | 0 |
| | Pyosalpinx | 6,50 | 15,00 | 6,50 |
| | Salpingektomie | 0 | 8,00 | 0 |
| | Paraaortale Lymphadenektomie | 0 | 0 | 79,00 |

Tabelle 4: Benutzung der Koagulationsinstrumente pro Operation

4.1.4 Voroperationen

Nicht alle in die Studie eingeschlossenen Patientinnen wurden vor der anstehenden Operation schon einmal operiert. Anamnestisch konnte herausgefunden werden, dass 29 Patientinnen (72,5 %) zuvor operiert wurden. Neun Patientinnen gaben an, sich noch keiner Operation zuvor unterzogen zu haben und zwei Patientinnen machten diesbezüglich keine Angaben. Zusammen machten diese Patientengruppen 27,5 % aus.

| Voroperationen | | | | | |
|----------------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| | | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
| Gültig | Ja | 29 | 72,5 | 76,3 | 76,3 |
| | Nein | 9 | 22,5 | 23,7 | 23,7 |
| | Gesamt | 38 | 95,0 | 100,0 | 100,0 |
| Fehlend | Keine Angabe | 2 | 5,0 | | |
| Gesamt | | 40 | 100,0 | | |

Tabelle 5: Häufigkeiten der Voroperationen

Unter den 29 Patientinnen, die zuvor operiert worden waren, war die häufigste Voroperation eine offene Appendektomie, die in sechs Fällen vorkam. Dem folgte eine laparoskopische Appendektomie und eine laparoskopisch durchgeführte Cholezystektomie, die jeweils in drei Fällen durchgeführt wurde. Alle weiteren Indikationen zur Voroperation wurden jeweils nur von einer Patientin beschrieben und sind in der Tabelle aufgeführt.

| Voroperationen | | | | | |
|----------------|---|------------|---------|---------------------|---------------------|
| | | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
| Gültig | Appendektomie offen | 6 | 15,0 | 20,7 | 20,7 |
| | Appendektomie LSK | 3 | 7,5 | 10,3 | 31,0 |
| | Cholezystek- tomie LSK | 3 | 7,5 | 10,3 | 41,4 |
| | Ovarialzysten- entfernung | 1 | 2,5 | 3,4 | 44,8 |
| | Sectio caesarea | 1 | 2,5 | 3,4 | 48,3 |
| | Diagnostische Laparoskopie | 2 | 5,0 | 6,9 | 55,2 |
| | Myomentfernung offen | 1 | 2,5 | 3,4 | 58,6 |
| | Operative Hysterektomie | 1 | 2,5 | 3,4 | 62,1 |
| | DarmOP | 1 | 2,5 | 3,4 | 65,5 |
| | Myomentfernung | 1 | 2,5 | 3,4 | 69,0 |
| | Haemorrhoiden- entfernung | 1 | 2,5 | 3,4 | 72,4 |
| | Zystenentfernung | 2 | 5,0 | 6,9 | 79,3 |
| | Sectio caesarea & Salpingotomie | 1 | 2,5 | 3,4 | 82,8 |
| | mehrfache LSKs, Appendektomie LSK | 2 | 5,0 | 6,9 | 89,7 |
| | Abrasio & Sterilisation | 2 | 5,0 | 6,9 | 96,6 |
| | Leistenbruch | 1 | 2,5 | 3,4 | 100,0 |
| | Gesamt | 29 | 72,5 | 100,0 | |
| | Fehlend | System | 11 | 27,5 | |
| Gesamt | | 40 | 100,0 | | |

Tabelle 6: Aufschlüsselung der Voroperationen

4.1.5 Länge der Operation

Die Länge der Operation variierte stark, so dauerte die längste Operation, eine laparoskopische Hysterektomie, 172,33 Minuten und die kürzeste Operation, eine Salpingektomie, 39 Minuten. Mehr als die Hälfte der Operationen dauerte durchschnittlich über eine Stunde. Vier der elf Operationsarten im Mittel unter einer Stunde, beispielweise die Ovarialzystenentfernung, die paraaortale Lymphknotenentfernung, die diagnostische Laparoskopie und die Salpingektomie.

| | | Länge d. OP in Minuten |
|------------|-------------------------------|---------------------------|
| | | Mittelwert |
| Indikation | LSK Hysterektomie | 172,33 |
| | LSK Hysterektomie mit Adnexen | 120,88 |
| | Pyosalpinx | 111,00 |
| | Teratom | 104,00 |
| | LSK Ovarialtumor | 68,00 |
| | LSK Adnexektomie | 67,67 |
| | LSK Eileiterschwangerschaft | 64,00 |
| | LSK Ovarialzyste | 59,75 |
| | Paraaortale Lymphadenektomie | 55,50 |
| | Diagnostische LSK | 45,00 |
| | Salpingektomie | 39,00 |

Tabelle 7: Mittelwert der Operationslänge

4.1.6 Gesamtpartikelzahl

Die Gesamtzahl der bei der Koagulationstechnik entstehenden Partikel wurde anhand der Einzelwerte der verschiedenen Partikelgrößen pro Operation berechnet. Daraus ergab sich, dass die mittlere Anzahl bei 111.282.941 Partikel pro Operation lag. Die maximale Anzahl an Partikeln lag bei 677.330.000 Partikel und die minimale Anzahl bei 13.500 Partikel. Um eine von Ausreißern unabhängige Angabe über die Partikelanzahl zu geben,

eignet sich hier die Angabe des Medians mit 7.289.250 Partikeln. Tabellarisch ist im Folgenden der Mittelwert der Gesamtzahl pro Operationsart angegeben. Dabei ist diese Tabelle nach einer absteigenden Gesamtzahl geordnet. Es zeigte sich, dass bei durchgeführten Hysterektomien mit Adnexektomien, oder auch der alleinigen Hysterektomien, die Gesamtzahl der Partikel am höchsten war. Dem folgte die paraaortale Lymphadenektomie und die alleinige Adnexektomie. Am geringsten war die entstehende Partikelzahl bei der Salpingektomie.

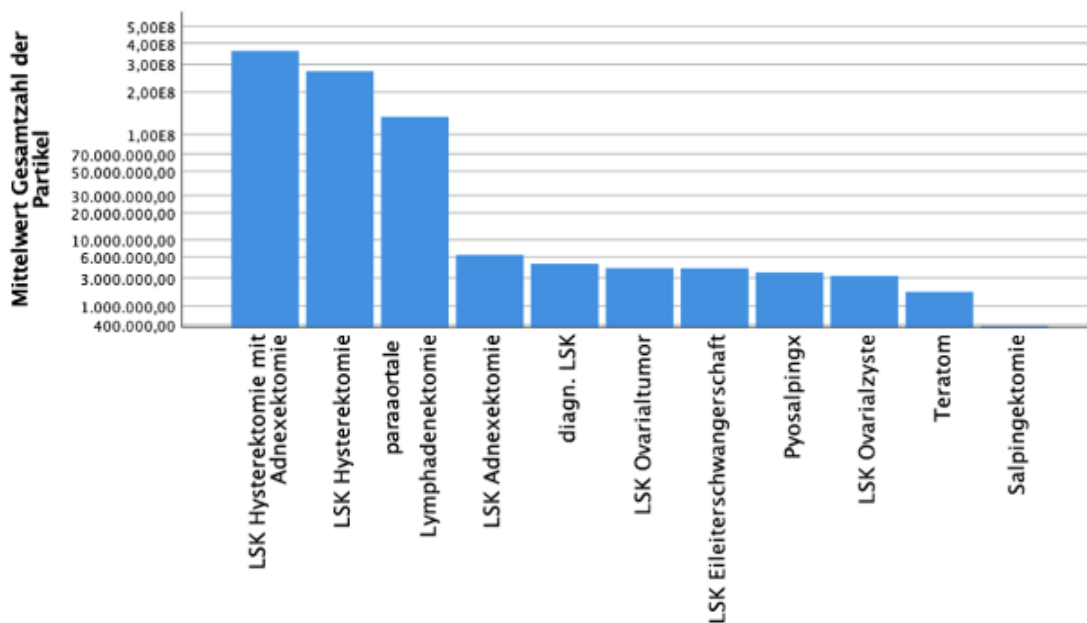


Abbildung 6: Balkendiagramm zum Mittelwert der Gesamtpartikelzahl pro Operation

In der unten aufgeführten Tabelle werden noch einmal die Länge der Operation, der Mittelwert der Gesamtzahl und die benutzten Koagulationsinstrumente aufgeführt, um eine mögliche Korrelation zu ermitteln. Dabei ist zu vermerken, dass Hysterektomien die längste Operationsdauer und die höchsten Partikelzahlen hatten. Außerdem ist ersichtlich, dass bei Hysterektomien das Monopolar, Bipolar und teilweise auch Ultracision benutzt wurde, sodass während dieser Operationen die Nutzung der Koagulationsinstrumente am häufigsten war. Die Länge der Operation und die zusätzliche Nutzung des Monopolars bzw. Ultracision sind somit als mögliche Faktoren für die erhöhte Partikelzahl zu

diskutieren. Außerdem ist zu vermerken, dass die Operationen mit der kürzesten Operationsdauer und der geringsten Nutzung der Koagulationstechniken auch die geringsten Partikelzahlen vorwiesen.

| | | Gesamtzahl l d. Partikel | Länge d. Operation (in min.) | Koagulationsinstrument |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | | Mittelwert | Mittelwert | |
| Indikation | LSK Hysterektomie mit Adnexen | 3,62+E008 | 120,88 | Monopolar, Bipolar |
| | LSK Hysterektomie | 2,72+E008 | 172,33 | Monopolar, Bipolar, Ultracision |
| | Paraaortale Lymphadenek- tomie | 1,35+E008 | 55,50 | Ultracision |
| | LSK Adnexektomie | 6,42+E006 | 67,67 | Bipolar |
| | Diagn. LSK | 4,86+E006 | 45,00 | Bipolar |
| | LSK Ovarialtumor | 4,21+E006 | 68,00 | Bipolar |
| | LSK Eileiterschwang- erschaft | 4,19+E006 | 64,00 | Bipolar |
| | Pyosalpinx | 3,65E+006 | 111,00 | Monopolar, Bipolar Ultracision |
| | LSK Ovarialzyste | 3,25+E006 | 59,75 | Bipolar |
| | Teratom | 1,79+E006 | 104,00 | Bipolar |
| | Salpingektomie | 3,78E+005 | 39,00 | Bipolar |

Tabelle 8: Mittlere Gesamtpartikelzahl, Länge der Operation und genutzte Koagulationsinstrumente pro Operation

4.1.7 Gesamtpartikelzahl bezüglich der Bipolarnutzung

Die Gesamtzahl der Partikel in Relation zur Häufigkeit der Nutzung des bipolaren Instruments wurde in einem Streudiagramm zur näheren Betrachtung abgebildet. Es ist ersichtlich, dass eine häufigere Nutzung des Bipolars mit einer höheren Gesamtzahl einhergeht.

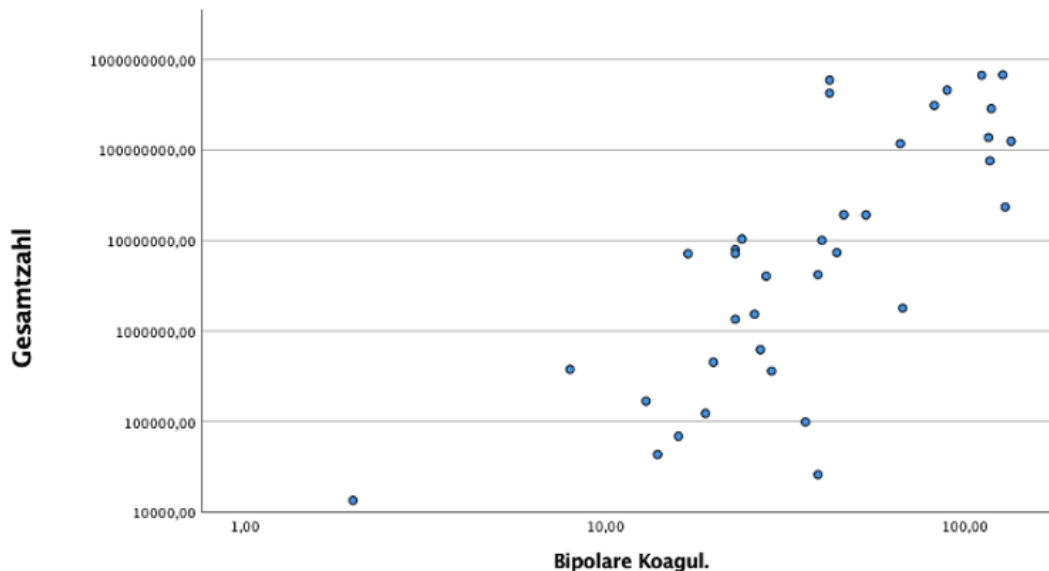


Abbildung 7: Streudiagramm zur Gesamtpartikelzahl je Häufigkeit der bipolaren Koagulation

Nach Anwendung der Regressionsanalyse mit der Kurvenanpassungsfunktion von SPSS wurde festgestellt, dass eine kubische Funktion die Verteilung der Werte am besten repräsentiert, wenn beide Faktoren logarithmiert werden. Dies ergibt sich aus dem höchstem Bestimmtheitsmaß von 0,605. Da zur Benutzung dieser Variable drei Parameterschätzungen nötig sind, wird zur Vereinfachung der lineare Zusammenhang dargestellt. Dieser hat ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,587$ und benötigt hingegen nur eine Parameterschätzung. Es lässt sich daraus ableiten, dass 58,7 % der Streuung der Gesamtzahl durch die Häufigkeit der Anwendung des Bipolars erklärt werden kann. Um diese lineare Modulation in zukünftigen Untersuchungen zu überprüfen, gilt die Formel $y = 5,76 + 2,73 \times x$.

| Modellzusammenfassung und Parameterschätzer | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-------|-----|-----|-------|----------------------|-------|------|------|
| Abhängige Variable: ln_gesamtzahl | | | | | | | | | |
| Gleichung | Modellübersicht | | | | | Parameterschätzungen | | | |
| | R^2 | F | df1 | df2 | Sig. | Konstante | b1 | b2 | b3 |
| Linear | 0,58 | 48,34 | 1 | 34 | 0,000 | 5,76 | 2,72 | | |
| Kubisch | 0,60 | 16,37 | 3 | 32 | 0,000 | 10,83 | -2,63 | 1,65 | 0,15 |

Tabelle 8: Regressionsmodell zur logarithmierten Gesamtzahl und bipolaren Koagulation

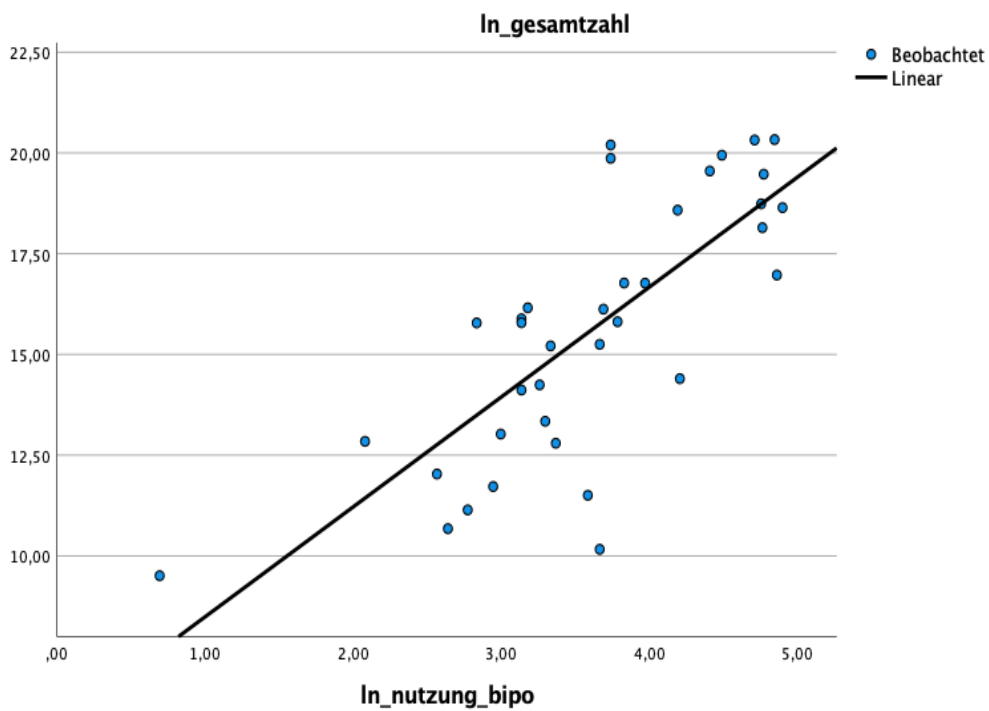


Abbildung 8: Streudiagramm zur logarithmierten Gesamtzahl und bipolaren Koagulation

4.1.8 Gesamtpartikelzahl bezüglich der Monopolarnutzung

Die Gesamtpartikelzahl bei der Nutzung des monopolaren Instruments konnte nur anhand der Werte dargestellt werden, die sich aus einer Nutzung von Monopolar und Bipolar ergaben. Da es keine Operationen gab, in denen ausschließlich Monopolar angewandt wurde, wird die Darstellung der Werte, die sich durch die monopolare Mitbenutzung ergaben, in dieser Arbeit anhand des Vergleichs zu den Werten der rein bipolaren Nutzung vollzogen. Das unten aufgeführte Balkendiagramm zeigt, dass der Mittelwert der Gesamtzahl der Partikel bei der Nutzung beider Instrumente deutlich höher liegt als der Mittelwert bei der alleinigen Nutzung von Bipolar. So ist der Mittelwert bei der zusätzlichen Nutzung des Monopolars bei $3,24E+008$, die mittlere Gesamtzahl der alleinigen Benutzung von Bipolar liegt hingegen bei $4,89E+006$.

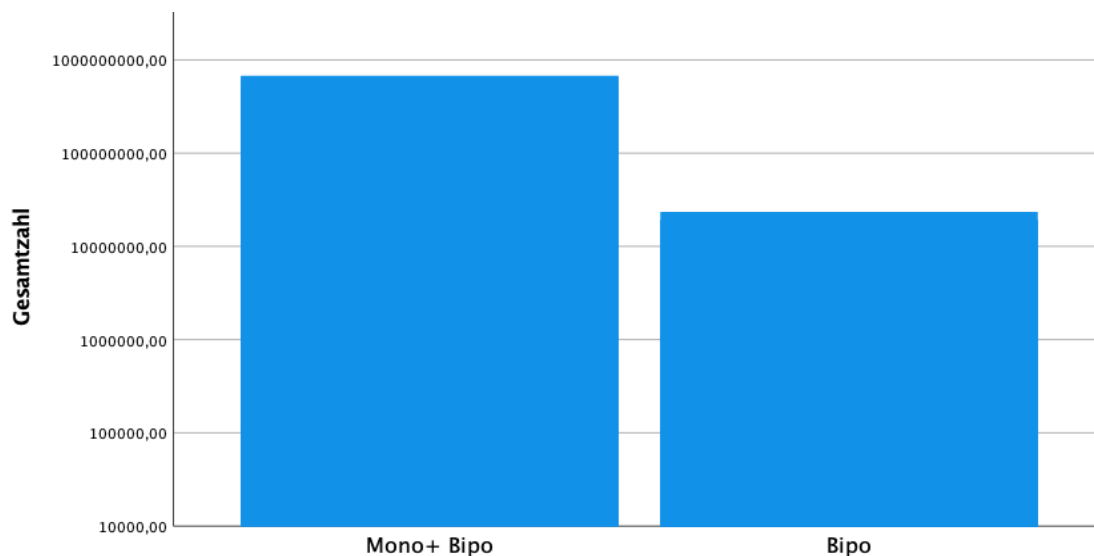


Abbildung 9: Balkendiagramm zur mittleren Gesamtzahl der monopolaren und bipolaren Nutzung und der bipolaren Nutzung

4.2 Konfirmatorische Statistik

4.2.1 Partikelzahlen im Vergleich von Monopolar und Bipolar

Zur Testung der Gesamtheit der Partikel der zweifachen Koagulation mit Monopolar und Bipolar im Vergleich zur einfachen Koagulation ausschließlich mit dem bipolaren Instrument wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Die Nullhypothese: „Die Verteilung der Gesamtzahl ist über die Kategorien BenutztMono identisch“ wurde mit einer Signifikanz von $< 0,01$ abgelehnt. Die Verteilung der Gesamtzahlen der beiden Kategorien unterscheidet sich somit signifikant. Dies ist auch in der Darstellung des Boxplots der beiden Kategorien ersichtlich. Vergleicht man die Mediane der beiden Kategorien, fällt auf, dass der Median bei der rein bipolaren Benutzung bei $1,45E+006$ liegt, im Gegensatz zum Median der zusätzlichen Benutzung des Monopolars, der bei $2,99E+008$ liegt. Außerdem ist die Spannweite, in der sich die Gesamtheit der Partikelzahlen bewegt, bei der zusätzlichen Nutzung des Monopolars deutlich größer als bei der reinen Benutzung von Bipolar. Die genauen Kennwerte der Boxplots sind in der untenstehenden Tabelle aufgeführt.

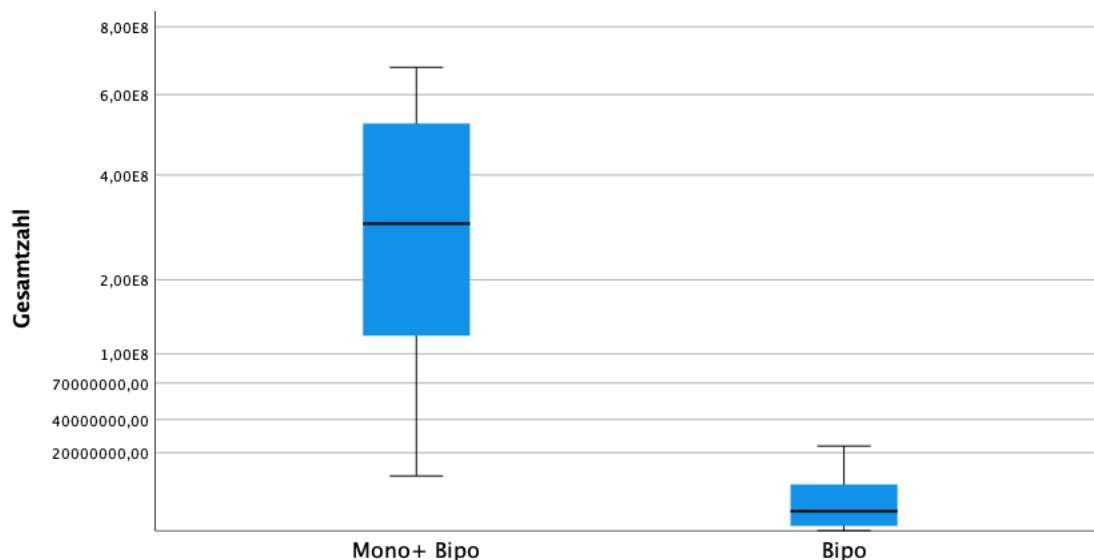


Abbildung 10: Boxplots zur Gesamtzahl der mono- und bipolaren Nutzung und der bipolaren Nutzung

| | | Gesamtzahl | | | | | |
|-------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| | | Mittelwert | Median | Maximum | Minimum | Perzentil 25 | Perzentil 75 |
| Monopolare Benutzung | Ja | 3,24E+008 | 2,99E+008 | 6,77E+008 | 1,01E+007 | 1,21E+008 | 5,26E+008 |
| | Nein | 4,89E+006 | 1,45E+006 | 2,35E+007 | 1,35E+004 | 1,46E+005 | 7,29E+006 |

Tabelle 9: Werte der Boxplots der Gesamtzahlen der beiden Gruppen (siehe Abbildung 10)

4.2.2 Partikelzahlen der unterschiedlichen Größen

Um zu prüfen, wie viele Partikel welcher Größe bei den unterschiedlichen Koagulationsinstrumenten entstehen, wurde die Anzahl der Partikel der verschiedenen Größen, die bei der Anwendung der gemeinsamen Nutzung von Mono- und Bipolar entstanden, mit denen bei der alleinigen Nutzung von Bipolar verglichen. Dazu wurde eine Varianzanalyse der logarithmierten Gesamtzahlen durchgeführt, welche einen paarweisen Vergleich in den Untergruppen der verschiedenen Partikelgrößen testete. Die Testung ergab, dass sich die Verteilung zwischen den beiden Kategorien signifikant in allen Partikelgrößen mit einer Signifikanz von $p < 0,000$ bzw. $0,009$ unterschied. Durch das multiple Vergleichen war eine Korrektur der p-Werte nötig. Dazu wurden die p-Werte mit der Bonferroni Korrektur adjustiert. Nach Adjustierung der p-Werte unterschied sich somit die Gesamtzahl der Partikel zwischen den beiden Kategorien in den kleinsten fünf Partikelgrößen. In der größten Partikelgröße von $10 \mu\text{m}$ war kein signifikanter Unterschied der Gesamtzahl der Partikel zu vermerken, da der korrigierte p-Wert mit $0,054$ knapp über dem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$ lag. Inwiefern die Verteilung bei den kleineren Partikelgrößen auseinanderging, wurde mit den aufgeführten Boxplots und der dazugehörigen deskriptiven Statistik untersucht.

| Abhängige Variable: Partikelanzahl_In | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|--|
| Partikelgröße | (I) BenutztMON O | (J) BenutztMON O | Mittelwert- differenz (I-J) | Std.- Fehler | Sig. ^b | 95%Konfi- denz- intervall für Differenz ^b |
| | Untergrenze | | | | | |
| 0,3 µm | mono+bipo | bipo | 5,091* | 0,811 | 0,000 | 3,491 |
| | bipo | mono+bipo | -5,091* | 0,811 | 0,000 | -6,690 |
| 0,5 µm | mono+bipo | bipo | 5,873* | 0,811 | 0,000 | 4,273 |
| | bipo | mono+bipo | -5,873* | 0,811 | 0,000 | -7,473 |
| 1 µm | mono+bipo | bipo | 6,070* | 0,811 | 0,000 | 4,471 |
| | bipo | mono+bipo | -6,070* | 0,811 | 0,000 | -7,670 |
| 3 µm | mono+bipo | bipo | 4,372* | 0,811 | 0,000 | 2,772 |
| | bipo | mono+bipo | -4,372* | 0,811 | 0,000 | -5,972 |
| 5 µm | mono+bipo | bipo | 3,496* | 0,811 | 0,000 | 1,897 |
| | bipo | mono+bipo | -3,496* | 0,811 | 0,000 | -5,096 |
| 10 µm | mono+bipo | bipo | 2,145* | 0,811 | 0,009 | 0,546 |
| | bipo | mono+bipo | -2,145* | 0,811 | 0,009 | -3,745 |

Tabelle 10: Paarweiser Vergleich der Anzahl der Partikel pro Größeneinheit zwischen der mono- und bipolaren Benutzung und der bipolaren Benutzung

In den aufgeführten Boxplots ist ersichtlich, dass der Median der Kategorie „BenutztMono ja“ bei den Partikelgrößen 0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm, 3 µm und 5 µm signifikant höher war als bei der alleinigen Nutzung von Bipolar. Bei der Größe von 10 µm ergab sich aus der Varianzanalyse keine signifikante Differenz der Anzahl der entstehenden Partikel zwischen den beiden Kategorien. Insgesamt war die Differenz der Mediane bei den kleineren Partikelgrößen höher als bei den größeren Partikeln. Je größer die Partikel wurden, desto mehr glichen sich die Mediane an, obwohl immer noch eine signifikante Differenz bestand. Zusätzlich ist den Boxplots zu entnehmen, dass die Streuung der Werte bei den kleinsten drei Partikelgrößen bei der zusätzlichen Benutzung des Monopolars deutlich geringer war als die bei der Benutzung des Bipolars. Eine besonders große Streuung der Werte ist bei der alleinigen Nutzung des Bipolars bei der Partikelgröße von 10 µm zu verzeichnen. In der aufgeführten Tabelle sind die den

Boxplots zu entnehmenden Werte noch einmal gelistet, um einen besseren Vergleich der Werte ziehen zu können.

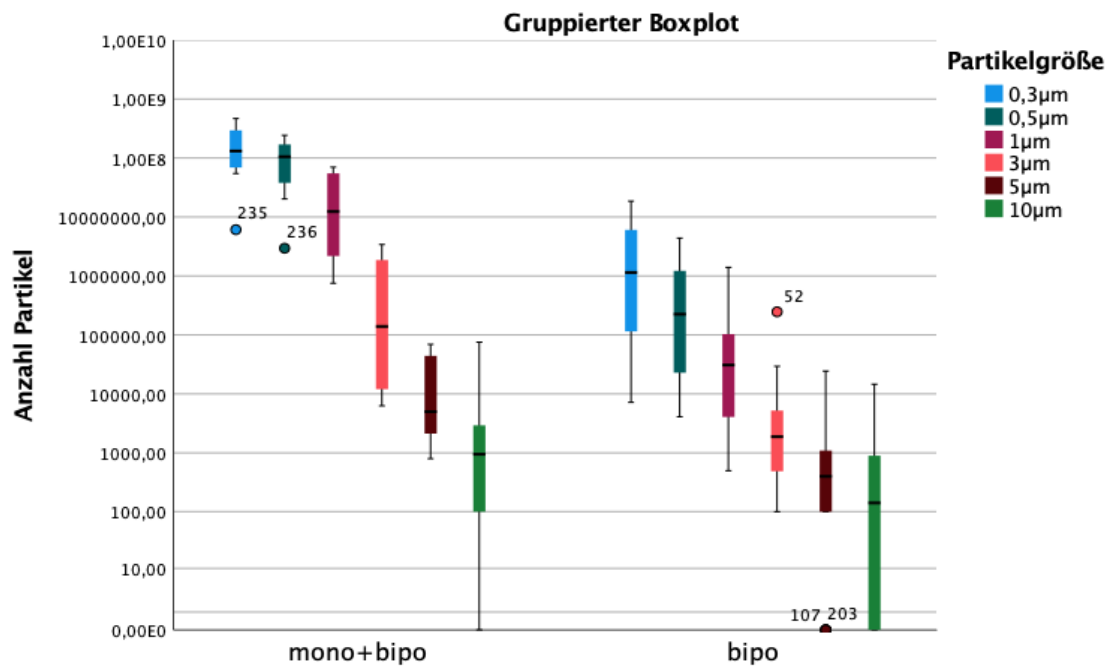


Abbildung 11: Boxplots zur Verteilung der Größen der Partikel bei der mono- und bipolaren Benutzung und der bipolaren Benutzung

| Partikelgröße | Monopolare und Bipolare Koagulation | | | | |
|---------------|-------------------------------------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| | Anzahl Partikel | | | | |
| | Median | Maximum | Minimum | Perzentil 25 | Perzentil 75 |
| 0,3µm | 1,34E+008 | 4,71E+008 | 6,11E+006 | 7,01E+007 | 3,02E+008 |
| 0,5µm | 1,06E+008 | 2,43E+008 | 2,96E+006 | 3,81E+007 | 1,71E+008 |
| 1µm | 1,24E+007 | 7,03E+007 | 7,52E+005 | 2,38E+006 | 5,53E+007 |
| 3µm | 1,44E+005 | 3,42E+006 | 6,30E+003 | 1,25E+004 | 1,88E+006 |
| 5µm | 5,05E+003 | 6,96E+004 | 8,00E+002 | 2,15E+003 | 4,43E+004 |
| 10µm | 9,50E+002 | 7,56E+004 | 0,00E+000 | 1,00E+002 | 3,00E+003 |

Tabelle 11: Werte der Boxplots zur Verteilung der Partikelgrößen bei der mono- und bipolaren Koagulation

| Partikelgröße | Bipolare Koagulation | | | | |
|---------------|----------------------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| | Anzahl Partikel | | | | |
| | Median | Maximum | Minimum | Perzentil 25 | Perzentil 75 |
| 0,3µm | 1,15E+006 | 1,86E+007 | 7,20E+003 | 1,19E+005 | 6,08E+006 |
| 0,5µm | 2,31E+005 | 4,39E+006 | 4,10E+003 | 2,30E+004 | 1,23E+006 |
| 1µm | 3,18E+004 | 1,40E+006 | 5,00E+002 | 4,20E+003 | 1,05E+005 |
| 3µm | 1,90E+003 | 2,47E+005 | 1,00E+002 | 5,00E+002 | 5,25E+003 |
| 5µm | 4,00E+002 | 2,45E+004 | 0,00E+000 | 1,00E+002 | 1,10E+003 |
| 10µm | 1,50E+002 | 1,46E+004 | 0,00E+000 | 0,00E+000 | 9,00E+002 |

Tabelle 12: Werte der Boxplots zur Verteilung der Partikelgrößen bei der bipolaren Koagulation

Das unten aufgeführte Diagramm zeigt den Verlauf der Mittelwerte der Partikelzahl je Partikelgröße, dabei ist die obere Linie der gemeinsamen Nutzung von Mono- und Bipolar und die untere Linie der Bipolarnutzung zuzuordnen. Es zeigt sich, dass der Verlauf der Kurven über die verschiedenen Partikelgrößen ähnlich ist und sich zu den größeren Partikeln hin annähert. Dies stellt den zuvor beschriebenen Verlauf der Mediane nochmal mit einer anderen Kenngröße und auf eine andere Art und Weise dar.

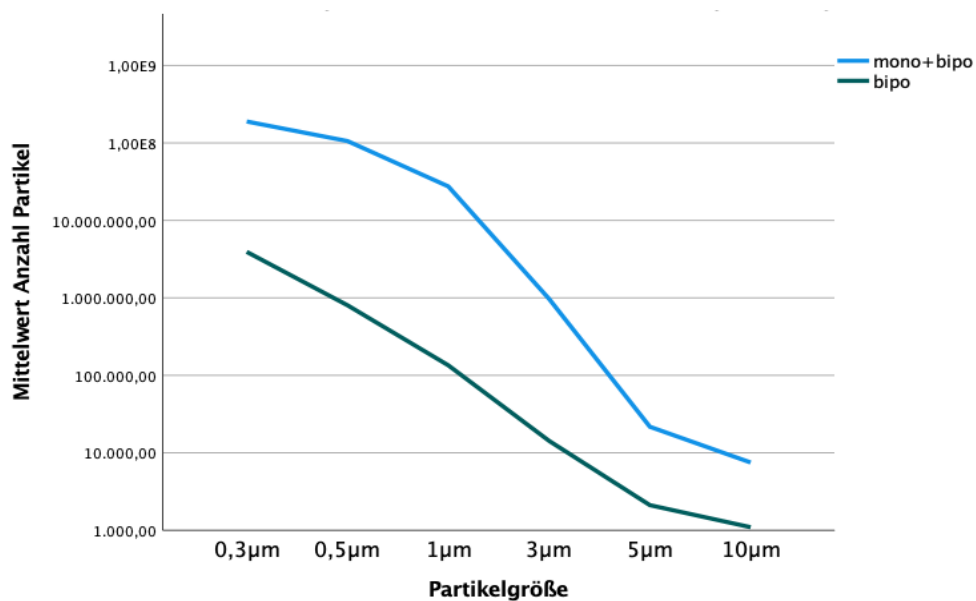


Abbildung 12: Liniendiagramm zum Mittelwert der Partikelzahl je Partikelgröße

| Koagulations- instrument | Partikelgröße | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 0,3 µm | 0,5 µm | 1 µm | 3 µm | 5 µm | 10µm |
| | Anzahl Partikel | Anzahl Partikel | Anzahl Partikel | Anzahl Partikel | Anzahl Partikel | Anzahl Partikel |
| | Mittel wert | Mittel wert | Mittel wert | Mittel wert | Mittel wert | Mittel wert |
| mono+bipo | 1,90E+008 | 1,06E+008 | 2,75E+007 | 9,72E+005 | 2,17E+004 | 7,51+E003 |
| bipo | 3,93E+006 | 8,04E+005 | 1,35E+005 | 1,43E+004 | 2,11E+003 | 1,10+E003 |

Tabelle 12: Mittelwert der Anzahl je Partikelgröße pro Koagulationstechnik

4.3 Explorative Analyse

4.3.1 Zusammenhang zwischen Partikelmenge und der Operationsdauer

Der Zusammenhang zwischen der Partikelmenge und der Länge der Operation wurde zunächst in einem Streudiagramm dargestellt. Es fiel auf, dass sich durch das Logarithmieren beider Faktoren die Einzelwerte zu einem klareren Verlauf formierten. Um ein Modell zu diesem Zusammenhang aufzustellen, wurde eine Regression mit einer Kurvenanpassung durchgeführt. Diese ergab, dass eine kubische Funktion den Verlauf der Werte am besten wiedergibt. So lag das Bestimmtheitsmaß für diese Funktion bei $R^2 = 0,623$. Dies weist darauf hin, dass 62,3 % der Varianz der Gesamtzahl durch die unabhängige Variable der Länge der Operation erklärt werden kann. Da zur Modellierung mit einer kubischen Funktion jedoch drei Parameterschätzungen nötig sind, wurde hier zur vereinfachten Darstellung und Berechnung die lineare Funktion gewählt. Diese weicht nur zu einem geringen Maße von dem Bestimmtheitsmaß der kubischen Funktion ab und bedarf nur einer Parameterschätzung. So kommt man mit der linearen Modulation von

$$y = 4,786 \times x + -5,314 \text{ auf } R^2 = 0,619.$$

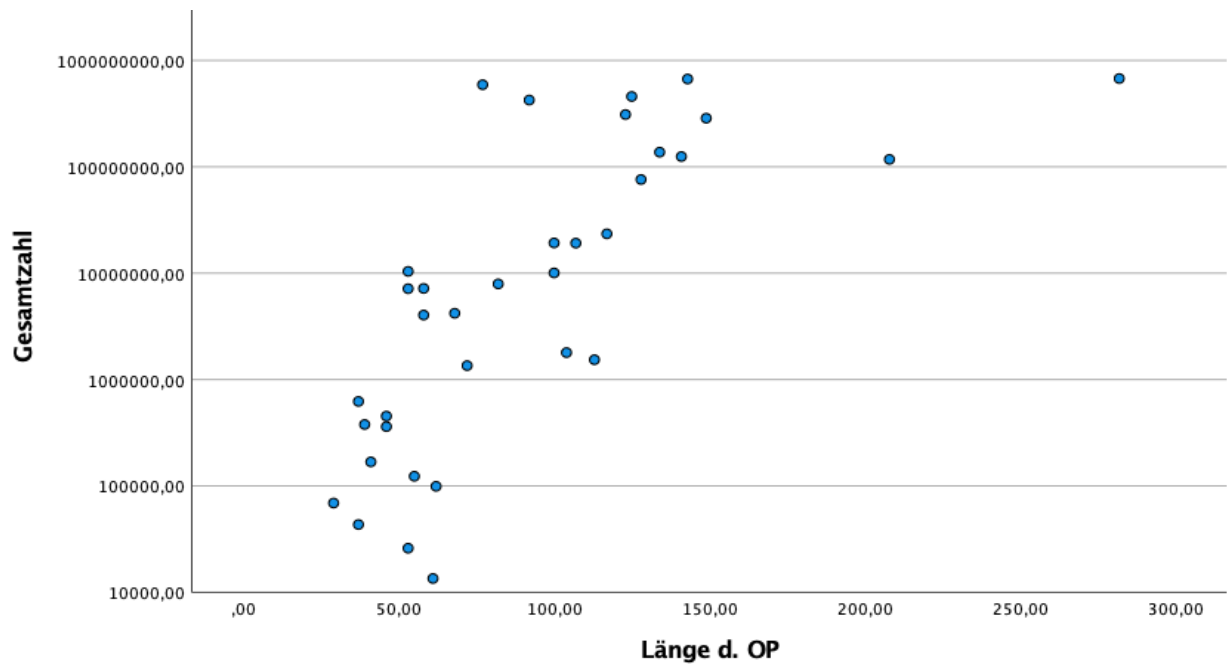


Abbildung 13: Streudiagramm zur Gesamtzahl der Partikel und der Länge der Operation

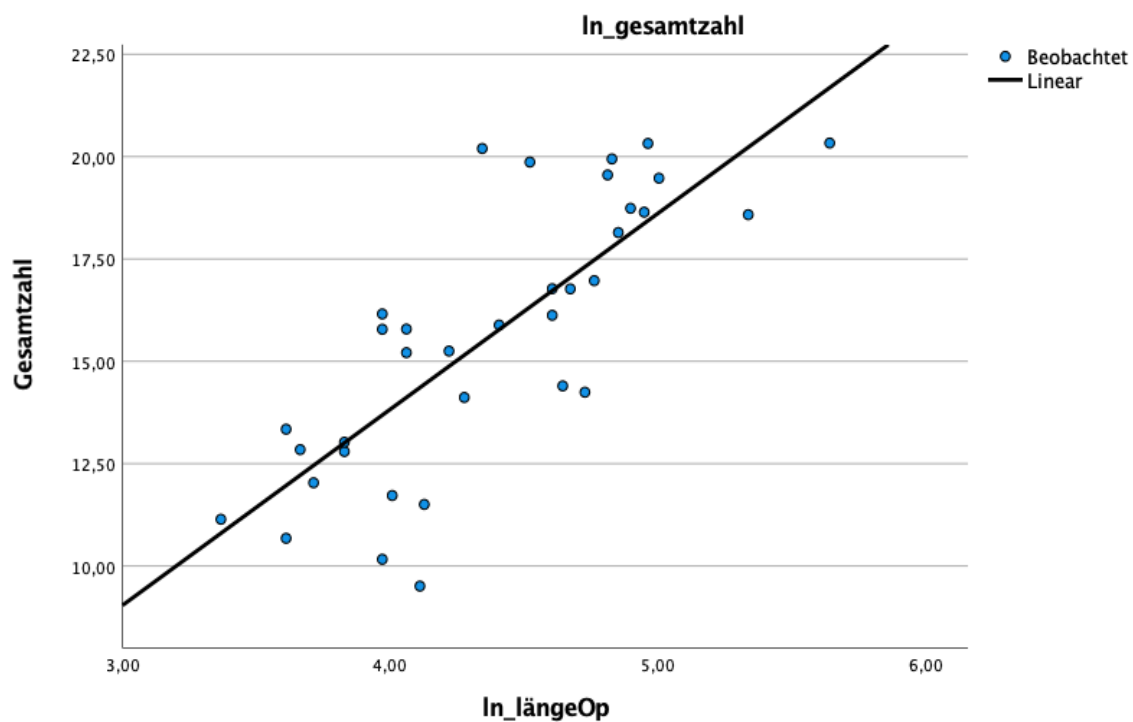


Abbildung 14: Streudiagramm zur logarithmierten Gesamtzahl der Partikel und Länge der Operation

| Abhängige Variable: ln_gesamtzahl | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------|-----|-----|-------|----------------------|-------|------|--------|
| Gleichung | Modellübersicht | | | | | Parameterschätzungen | | | |
| | R ² | F | df1 | df2 | Sig. | Konstante | b1 | b2 | b3 |
| Linear | 0,619 | 53,664 | 1 | 33 | 0,000 | -5,314 | 4,786 | | |
| Kubisch | 0,623 | 26,462 | 2 | 32 | 0,000 | -13,221 | 7,510 | 0,00 | -0,046 |

Die unabhängige Variable ist ln_längeOp.

Tabelle 13: Modellübersicht der Regressionsanalyse der Gesamtzahl der Partikel zur Länge der Operation

4.3.2 Zusammenhang zwischen der Partikelzahl und Voroperationen

Der Zusammenhang zwischen der Gesamtzahl der Partikel und bestehenden Voroperationen wurde explorativ mit einem Mann-Whitney-U-Test geprüft. Die Nullhypothese: „Die Verteilung der Gesamtzahl ist über die Kategorien der Variable Voroperationen identisch“ wurde bei einer Signifikanz von 0,857 bei einem Signifikanzniveau $< 0,05$ beibehalten. Der Faktor einer bestehenden Voroperation hat somit keine Auswirkungen auf die Gesamtzahl der Partikel. In den dargestellten Boxplots ist das Ergebnis der Testung besser nachzuvollziehen. Der Median der Gesamtzahl liegt bei stattgehabten Voroperationen bei $7,66E+006$, ohne Voroperationen liegt dieser auf nahezu gleicher Höhe bei $4,50E+006$. Auch die Maxima der Gesamtzahl unterschieden sich in den beiden Kategorien nur minimal mit einer Differenz von $0,06E+008$. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Kennwerte der Boxplots aufgeschlüsselt.

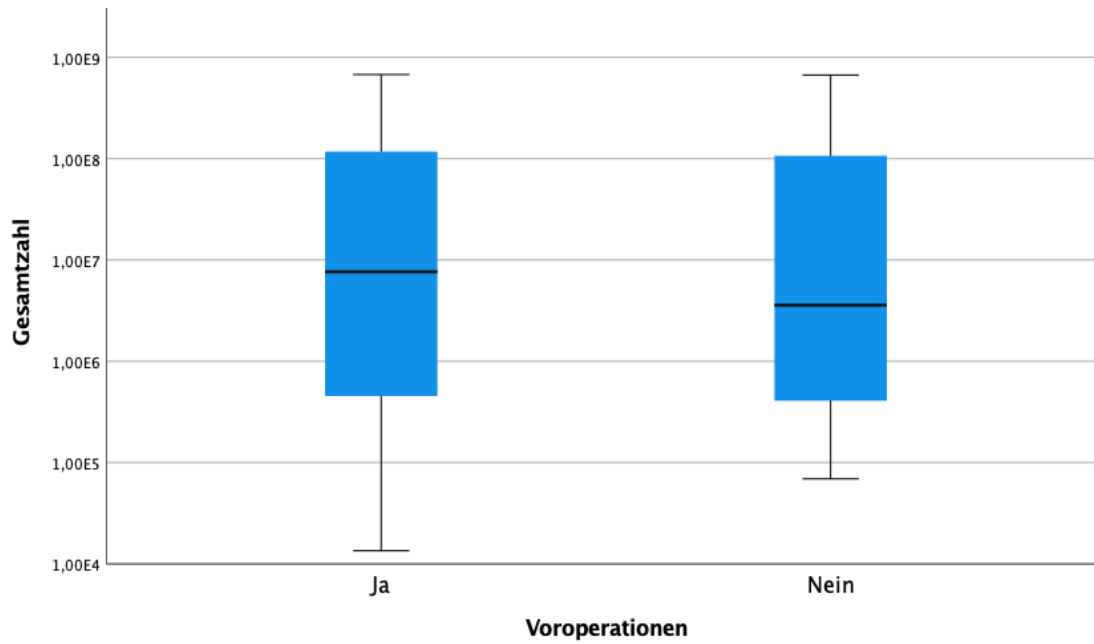


Abbildung 15: Boxplots der Gesamtzahl der Partikel zur Variable der Voroperationen

| | | Gesamtzahl | | | | |
|-----------------|------|------------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| | | Median | Maximum | Minimum | Perzentil 25 | Perzentil 75 |
| Vor-operationen | Ja | 7,66E+006 | 6,77E+008 | 1,35E+004 | 4,54E+005 | 1,18E+008 |
| | Nein | 4,50E+006 | 6,71E+008 | 6,91E+004 | 7,39E+005 | 3,06E+008 |

Tabelle 14: Werte der Boxplots der Gesamtzahl der Partikel zur Variable der Voroperationen

4.3.3 Zusammenhang zwischen der Länge der Operation und Voroperationen

Auch der Zusammenhang zwischen der Länge der Operation und bestehenden Voroperationen wurde explorativ mit dem Mann-Whitney-U-Test geprüft. Die Nullhypothese „Die Verteilung der Länge der Operation ist über die Kategorien von Voroperationen identisch“ wurde mit einer Signifikanz von 0,787 beibehalten. Dies bedeutet, dass eine vorherige Operation die Länge der Operation in diesem

Patientenkollektiv nicht beeinflusst. Der Median der Länge der Operation unterscheidet sich zwischen beiden Kategorien um ca. acht Minuten, bei einer Länge von 82 Minuten bei voroperierten Patientinnen und 74,5 Minuten bei nicht voroperierten Patienten. Die maximale Operationsdauer bei voroperierten Patientinnen liegt jedoch mit 282 Minuten fast doppelt so hoch wie bei nicht voroperierten Patientinnen. Die minimale Operationsdauer hingegen ist bei beiden Gruppen ungefähr gleich mit 37 und 29 Minuten.

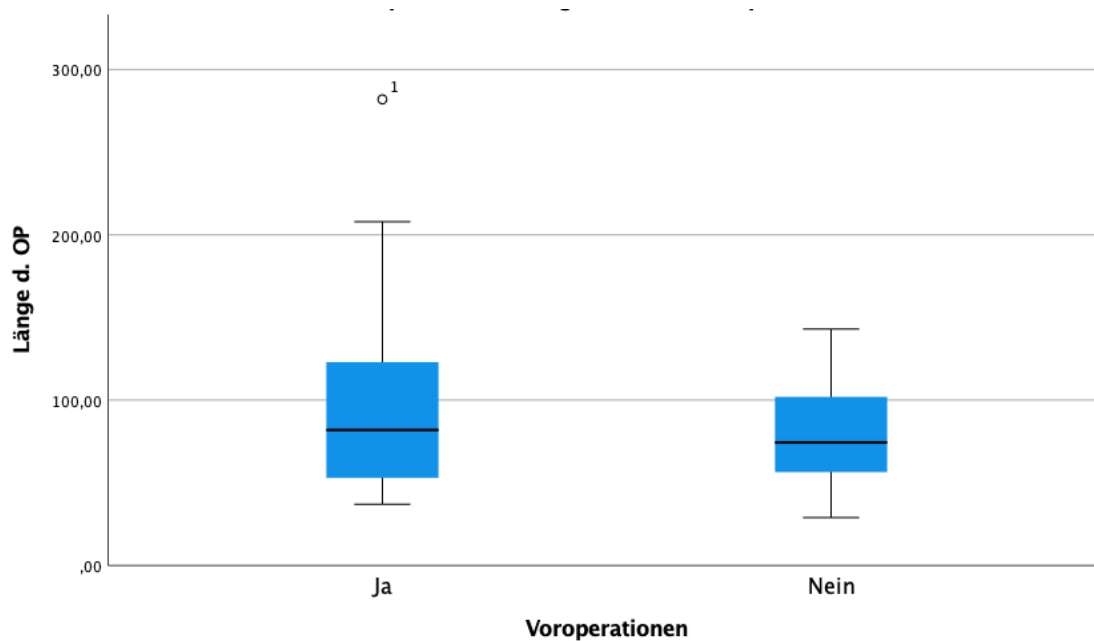


Abbildung 16: Boxplots zur Länge der Operation zur Variable der Voroperationen

| | | Länge d. OP | | | | |
|----------------|------|-------------|---------|---------|--------------|--------------|
| | | Median | Maximum | Minimum | Perzentil 25 | Perzentil 75 |
| Voroperationen | Ja | 82,00 | 282,00 | 37,00 | 53,00 | 123,00 |
| | Nein | 74,50 | 143,00 | 29,00 | 56,50 | 102,00 |

Tabelle 14: Werte der Boxplots zur Länge der Operation und der Variable der Voroperationen

5. Diskussion

In den letzten Jahrzehnten hat sich das Verfahren der Laparoskopie in der chirurgischen Gynäkologie etabliert und stetig weiterentwickelt. Die Einführung der elektrochirurgischen Instrumente war dabei für den Fortschritt essentiell und ermöglichte die Verbreitung laparoskopischer Verfahren. Die Laparoskopie birgt gegenüber einer offenen Operation ein geringeres Maß an Komplikationen, ist jedoch auch nicht frei von diesen. In den letzten Jahren wurde immer intensiver geforscht, um die Ursachen der Komplikationen während eines laparoskopischen Eingriffes besser zu verstehen und in Folge zu minimieren. Mit besonderem Fokus auf elektrische Koagulationsverfahren wurden ab 1995 verschiedene experimentelle Studien *in vitro* sowie *in vivo* durchgeführt, die die entstehenden Dämpfe und deren Partikel, die durch die Wärmeeinwirkung entstehenden Gewebeschäden und die Gefahren für das Operationspersonal analysierten (Devassy et al., 2015). Viele der zuvor durchgeführten Studien maßen die Partikelkonzentrationen im Operationssaal während des Eingriffes und legten den Fokus auf die Wirkung auf das Operationspersonal. Zusätzlich liegen multiple Studien vor, die die Koagulationsdämpfe oder die Thermalschäden am Gewebe durch die Koagulation verschiedener Instrumente *in vitro* analysierten. In dieser Studie wurden im Gegensatz zu den bisher durchgeführten Studien nach bestem Wissen erstmalig die Partikelanzahl sowie deren Größen *in vivo* während einer laparoskopischen gynäkologischen Operation mit den Instrumenten des Monopolars, des Bipolars und des Ultracision gemessen. Die erhobenen Daten sollen dazu dienen, den Gebrauch dieser Instrumente zum Wohle der Patientinnen und des Operationspersonals zu optimieren, indem diese Instrumente anhand der entstehenden Partikel verglichen werden.

5.1 Partikelentstehung bei verschiedenen Koagulationsinstrumenten

Vergleicht man die erhobenen Partikelzahlen der bipolaren Koagulation mit der zweifachen bipolaren und monopolaren Koagulation, fällt auf, dass die Gesamtzahl der Partikel deutlich steigt, sobald das monopolare Gerät benutzt wird. Dies stellt sich auch signifikant im Mann-Whitney-U-Test dar. Die mittlere Gesamtzahl der Partikel liegt so bei der alleinigen Benutzung von Bipolar bei $4,89 \times 10^6$ und bei der gemeinsamen

Nutzung von Monopolar und Bipolar bei $3,24 \times 10^8$. Besonders die Maxima und Minima der beiden Kategorien gehen stark auseinander, so besteht eine Differenz der Maxima von $6,54 \times 10^8$. Die bisherige Datenlage bestätigt die Beobachtung, dass der vom monopolaren Instrument ausgehende Dampf deutlich konzentrierter ist als der des bipolaren Instruments. Weld et al. beschrieben, dass der Dampf des Monopolar 82-mal konzentrierter war als der des Bipolar und sogar 721-mal konzentrierter war als der des Ultracision (Weld et al., 2007). Bei näherer Betrachtung ist besonders der starke Anstieg der Partikelzahlen der Größen $0,3 \mu\text{m}$, $0,5 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$ und $5 \mu\text{m}$ bei der zusätzlichen Benutzung von Monopolar zu beobachten. Mit der signifikanten Differenz der kleineren Partikelgrößen zwischen den beiden Gruppen konnte bewiesen werden, dass sich die in vitro gezeigte Verteilung der Partikelgrößen von Monopolar und Bipolar in vivo wiederfindet (Farrugia, 2009). So zeigten Farrugia et al. anhand von uterinen Gewebsblöcken, dass während der monopolaren Koagulation der Median der entstehenden Partikel kleiner war als während der bipolaren Koagulation (Farrugia, 2009). Auch Weld et al. zeigten in ihrer in vitro durchgeführten Studie, dass vom monopolaren Gerät insgesamt eine höhere Zahl an Partikeln ausging und dies besonders im Bereich der kleinen Partikel. Bei der Nutzung des bipolaren Geräts hingegen wiesen sie eine geringe Zahl an kleinen Partikeln und eine hohe Zahl an größeren Partikeln nach, genaue Größen wurden dabei jedoch nicht genannt (Weld et al., 2007). Vergleicht man diese Beobachtungen mit den in vivo gemessenen Daten, lassen sich Parallelen ziehen. Betrachtet man die Differenz zwischen den Gesamtzahlen der beiden Kategorien, nimmt diese mit der zunehmenden Partikelgröße im Verlauf ab (Abbildung 12). Dies bestätigt, dass bei der Koagulation mit dem bipolaren Gerät mehr Partikel der größeren Größe anfallen, hingegen die Zahl der vom Monopolar ausgehenden Partikel mit zunehmender Partikelgröße abnimmt. Setzt man diese Untersuchungen in Kontext mit aktuellen Beobachtungen aus anderen Studien, die die Partikelzahl im Operationssaal maßen, ist hinzuzufügen, dass die Partikel der Größe $0,5 \mu\text{m}$ und $5 \mu\text{m}$ zu Beginn stark stiegen und nach ca. 10 Minuten sanken. Die Partikelzahl der Größe $0,3 \mu\text{m}$ hingegen stieg in den Beobachtungen von Li et al. erst nach 10 Minuten (Li et al., 2020). Der zeitliche Verlauf der Anstiege konnte in der vorliegenden Studie nicht nachverfolgt werden. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Benutzung des Bipolars und der gemessenen Gesamtzahl bestand. Die vorliegende Studienkohorte beinhaltete auch vier Operationen, in denen das Ultracision benutzt wurde. Da die Größe dieser Untergruppe eine statistische Auswertung begrenzte, kann

bezüglich der Partikelentstehung keine valide Aussage getroffen werden. Es ist jedoch von großer Bedeutung, dieses Instrument trotzdem in diesem Zusammenhang zu nennen, da der Gebrauch laut der aktuellen Literatur Vorteile gegenüber den anderen Instrumenten bietet. Instrumente, die über Ultraschall koagulieren oder schneiden, erhitzen das Gewebe deutlich weniger als das bipolare oder das monopolare Gerät. Aufgrund dessen ist der temperaturabhängige Schaden des Gewebes bei den ultraschallgesteuerten Geräten deutlich geringer (Devassy et al., 2015). Diesbezüglich wurden in einer Studie Hysterektomien in einer Gruppe mit Ultracision durchgeführt und in der Vergleichsgruppe mit dem monopolaren Instrument. Es zeigte sich, dass das Ausmaß der Gewebsschädigung bei der Anwendung des Ultracision deutlich geringer als bei der des Monopolars ausfiel (Choi et al., 2018). Dies spiegelt sich in den Untersuchungen von Litta et al. wider, welche ergaben, dass Patientinnen, bei denen die Myomenukleation ausschließlich mit Ultracision durchgeführt wurde, an geringerem postoperativen Schmerz litten als Patientinnen bei denen dieser Eingriff mit elektrochirurgischen Instrumenten ausgeübt wurde (Litta et al., 2010). Allgemein könnte sich die geringe Gewebsschädigung durch den Gebrauch des Ultracision vorteilhaft auf ein geringeres Risiko der Adhäsionsentstehung auswirken. Außerdem stellt sich eine reduzierte Gewebsschädigung auch als vorteilhaft für die histopathologische Auswertung heraus, da beispielsweise die Histologie laparoskopisch entfernter Lymphknoten durch den geringeren Schaden des Gewebes besser beurteilt werden kann (Holub et al., 2002). Zusätzlich konnte in laparoskopisch durchgeführten Myomenukleationen gezeigt werden, dass die Länge der Operation bei der Benutzung des Ultracision signifikant kürzer ausfiel als bei der Benutzung elektrochirurgischer Instrumente (Litta et al., 2010). Überträgt man diese Erkenntnis auf den vorliegenden Sachverhalt, würde sich dies hypothetisch positiv auf die Menge der Partikelentstehung auswirken, da diese in unserer Untersuchung linear mit der Länge der Operation korrelierte. Eine in vivo Studie gynäkologischer Laparoskopien bewies diesbezüglich, dass die Sicht während der Anwendung des Ultracision aufgrund einer geringeren Entstehung der Koagulationsdämpfe als besser empfunden wurde als während der Benutzung des Monopolars (Choi et al., 2018). Es kritisch anzumerken, dass es bei den ultraschallgesteuerten Geräten individuelle Unterschiede zwischen den verschiedenen Geräten der unterschiedlichen Hersteller gibt. In einer in vitro Studie konnte so gezeigt werden, dass der entstehende Partikeldampf des Sonicision von Covidien 1/5 des Volumens dessen beträgt, der beim Harmonic von Ethicon entsteht (Kim et al., 2012).

Insgesamt konnte die vorliegende Untersuchung der Partikelgrößen und deren Verteilung bezüglich der Benutzung verschiedener Koagulationsinstrumente zeigen, dass die in vitro bzw. im Operationssaal gemessenen Werte und Beobachtungen nun auch in vivo bestätigt werden konnten. Die Nutzung des monopolaren Geräts geht mit einer signifikant erhöhten Partikelzahl in den Größen 0,3 μm , 0,5 μm , 1 μm und 5 μm einher. Die Untersuchung lässt jedoch noch keinen Schluss darüber zu, um welche Partikel es sich handelt. Zudem liegen in dieser Studie keine Daten zum alleinigen monopolaren Gebrauch vor. Daher ist es an dieser Stelle nicht möglich, eine absolute Aussage über jene Partikelzahlen zu treffen, die ausschließlich vom monopolaren Gerät ausgehen. Es ist jedoch im Hinblick auf den aktuellen Stand der Wissenschaft zu schlussfolgern, dass vom monopolaren Gerät eine deutlich höhere Partikelzahl ausgeht, als von anderen Koagulationsinstrumenten und dies besonders im Bereich der kleineren Partikelgrößen von 0,3 – 5 μm (Weld et al., 2007). Im Hinblick auf den geringeren Gewebsschaden und die besseren Sichtverhältnisse ist der Gebrauch des bipolaren Instruments in Kombination mit dem Ultracision dem monopolaren Instrument vorzuziehen (Devassy et al., 2015).

5.2 Einflussfaktoren auf die Entstehung der Partikel

Die Höhe der Partikelzahl, die bei einer laparoskopischen Operation entsteht, ist abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren. Zunächst ist diesbezüglich die Wahl des Koagulationsinstruments zu nennen (Devassy et al., 2015). So wurde im vorherigen Abschnitt erläutert, dass das bipolare und ultraschallgesteuerte Instrument dem monopolaren Gerät aufgrund einer geringeren Gewebsschädigung vorzuziehen ist. Der Einfluss des Koagulationsinstruments auf die Partikelentstehung wurde in der vorliegenden Studie näher untersucht. Da ausschließlich das Bipolar isoliert genutzt wurde, analysierten wir so den Einfluss, den die Häufigkeit der Benutzung dieses Instruments auf die Höhe der entstehenden Partikel hatte. Es ergab sich daraus, dass ca. 59 % der Verteilung der Partikelzahlen durch die Benutzung des bipolaren Instruments alleine erklärt werden konnten. Dies weist darauf hin, dass weitere Faktoren die Höhe der Partikelzahl beeinflussen. In explorativen Analysen aller Operationen wurden dazu die Faktoren der Länge der Operation und der Faktor einer Voroperation untersucht. Es konnte entgegen den Ergebnissen von Li et al. gezeigt werden, dass die Gesamtzahl der

Partikel linear mit der Länge der Operation zusammenhängt (Li et al., 2020). Andersherum betrachtet könnte sich die Operationsdauer auch durch die Höhe der Partikelzahl verlängern, da daraus eine eingeschränkte Sicht resultiert, die den Prozess des Operierens verlangsamt (Kim et al., 2012). Bezüglich des Faktors der Voroperationen konnte keine erhöhte Partikelzahl während der Operation einer voroperierten Person nachgewiesen werden, obwohl dies hinsichtlich vorheriger Beobachtungen wahrscheinlich gewesen wäre. Krielen et al. berichteten beispielsweise in einer aktuellen retrospektiven Studie darüber, dass bei 13,2 % der PatientInnen, die initial sowohl laparoskopisch als auch offen chirurgisch operiert wurden, Komplikationen in Folgeoperationen auftraten (Krielen et al., 2020). Auch anhand der Beobachtungen aus einer großen prospektiven Studie, welche die Adhäsionsentstehung von 1000 laparoskopischen Eingriffen umfasste, wird deutlich, dass die Inzidenz von Adhäsionen deutlich mit der Anzahl der Voroperationen steigt (Dubuisson et al., 2010). Aufgrund dieser Erkenntnisse wäre in der vorliegenden Studie mit einer erhöhten Partikelzahl zu rechnen gewesen, da die Adhäsionen zu Beginn der Operation zunächst mit einem elektrischen oder ultraschallgesteuerten Instrument gelöst werden müssen. In dem Zusammenhang wurde auch die Auswirkung auf die Länge der Operation statistisch geprüft. Es ergaben sich jedoch keine Zusammenhänge zwischen dem Faktor der Voroperation und einer verlängerten Operationsdauer. Die fehlende Evidenz für die beiden genannten Zusammenhänge in der vorliegenden Studie könnte durch eine zu kleine Studienkohorte bedingt sein. Ein weiterer nennenswerter Faktor, der für einen erhöhten Schaden des Gewebes und damit eine erhöhten Partikelzahl ursächlich ist, ist der Modus des Koagulationsinstruments. Devassy et al. merkten so an, dass mit einer erhöhten Stromstärke ein größerer thermaler Schaden verursacht wurde (Devassy et al., 2015). Auch Huschak et al. wiesen darauf hin, dass die Wirkung auf das Gewebe von der Stromdichte, der Einwirkdauer, der Stromform und der Art des Gewebes abhing (Huschak et al., 2009). In der vorliegenden Studie wurde die Häufigkeit der Benutzung des Instruments, nicht jedoch die jeweilige Dauer der Anwendung dokumentiert. Aufgrund dessen konnte diesbezüglich keine Schlussfolgerung gezogen werden. Rückblickend auf die bisherigen Untersuchungen weiterer Studien wird daher eine Anwendung von 5 Sekunden mit einer anschließenden 5 Sekunden langen Pause empfohlen, bevor erneut koaguliert bzw. geschnitten wird. Bei dieser Art der Anwendung wird die Schädigung des Gewebes durch die erhöhte Temperatur verringert (Devassy et al., 2015). Die Entstehung der Partikelzahl ist bezogen auf die Art der Anwendung stark

abhängig vom jeweiligen Operateur oder der Operateurin, so operieren Erfahrene schneller und können somit die Partikelzahl geringer halten (Mais et al., 2017). Bei unseren Untersuchungen hat ein Operateur alle Operationen durchgeführt, sodass das Ergebnis in diesem Punkt nicht verfälscht wurde. Zuletzt hängt das Ausmaß der Partikelentstehung auch von der individuellen Anatomie der PatientInnen sowie dem jeweiligen Gewebe ab. Ein höherer Anteil an Fett im Gewebe geht dabei mit einer erhöhten Dampfentstehung einher (Devassy et al., 2015). Abschließend kann zusammengefasst werden, dass die Menge der entstehenden Partikel durch bevorzugte Wahl des Bipolars oder Ultracision in einer schonenden Volteinstellung mit nicht kontinuierlicher Anwendung reduziert werden kann (Shabbir & Dargan, 2014). Eine Kombination der beiden Geräte in einem Instrument erwies sich dabei als effizienter, da das Gerät nicht gewechselt werden muss, um die verschiedenen Eigenschaften der Geräte nutzen zu können (Milsom et al., 2012). Damit wird die Operationszeit verkürzt, welches zu einer geringeren Partikelentstehung und damit einhergehenden Komplikationen führen könnte.

5.3 Analyse der Partikel und deren Gefahren

In der vorliegenden Untersuchung wurde aus dem Koagulationsdampf die Partikelgröße und Menge in Bezug auf verschiedene elektrische Koagulationsinstrumente untersucht. Der Koagulationsdampf wurde jedoch nicht auf die Zusammensetzung der Partikel analysiert. Multiple Studien zuvor brachten verschiedene Ergebnisse hervor, anhand derer man auf die Art der Partikel in unserer Untersuchung schließen kann. Eine Schweizer Studie untersuchte den Koagulationsdampf von 31 laparoskopisch durchgeführten Kolorektalresektionen, welcher in vivo über die Trokare gesammelt wurde (Gianella et al., 2014). Daraus ergab sich, dass bei 27 Operationen Methan, Ethan, Ethylen, Wasser und Sevofluran in den gesammelten Dämpfen nachgewiesen wurde. Dabei kann bei Methan, Ethan und Ethylen von einer nichttoxischen Wirkung auf den Körper ausgegangen werden. Sechs Proben wurden auf Kohlenstoffmonoxid und Fluorwasserstoff getestet und diese Stoffe wurden auch in allen getesteten Proben nachgewiesen (Gianella et al., 2014). Beide Stoffe haben eine stark toxische Wirkung auf den menschlichen Körper, so wirkt Kohlenstoffmonoxid bei Inhalation und Fluorwasserstoff sowohl bei Inhalation, Haut- bzw. Schleimhautkontakt als auch bei der

Nahrungsaufnahme irritativ bis lebensgefährlich (Gianella et al., 2014). Wird dieser Dampf in den Operationssaal abgelassen, können diese Stoffe negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Operationspersonals haben. In dieser Untersuchung lag die in der Luft vorliegende Konzentration jedoch unter der Maximalarbeitskonzentration (MAK). In einer weiteren Studie wurde bei 20 transperitonealen laparoskopischen Nephrektomien das Gas des Peritoneums 30 Minuten nachdem der erste Dampf entstand, entnommen und untersucht (Choi et al., 2014). Daraus ergab sich, dass das entnommene Gas 18 verschiedene organische Stoffe beinhaltete, von denen fünf kanzerogen und dreizehn nicht kanzerogen waren. Die nachgewiesenen kanzerogenen Stoffe waren: Ethanol, 1,2-dichlorethan, Benzol, Ethylbenzol und Styrol. Dabei lagen alle Stoffe in hohen, nicht mehr tolerierbaren Konzentrationen vor (Choi et al., 2014). Weitere, aufgrund des erhöhten Vorkommens nennenswerte chemische Bestandteile aus bisherigen Untersuchungen waren Cyanwasserstoff, Nitrile, Fettsäuren und Phenole (Fan et al., 2009). Die Wirkung, die die chemischen Bestandteile über die intraoperative Resorption des Gewebes auf den Patienten oder die Patientin hat, ist dabei nicht genauer erforscht, es lässt sich jedoch ein erhöhtes gesundheitliches Risiko vermuten. Postoperative Blutuntersuchungen wiesen so beispielsweise eine erhöhte Kohlenstoffmonoxidkonzentration auf, welches darauf schließen lässt, dass die entstehenden Stoffe intraoperativ resorbiert wurden (Fan et al., 2009). Anhand eines Bakterienstamms, der dem Koagulationsdampf elektrochirurgischer Instrumente ausgesetzt wurde, konnte zusätzlich eine mutagene Wirkung festgestellt werden (Fan et al., 2009). Des Weiteren lassen sich organische Bestandteile wie Bakterien und Viren feststellen. Die Wirkung auf das Operationspersonal konnte zu einem großen Teil anhand von offen chirurgischen Operationen erforscht werden. Für das Operationspersonal bei laparoskopischen Operationen kann der aus dem Peritoneum entlassene Dampf jedoch auch gesundheitliche Schäden haben. Die im Operationssaal verwendeten „OP-Masken“ filtern Partikel ab einer Größe von 4 μm (Fan et al., 2009). Aus unseren sowie vorherigen Untersuchungen gingen jedoch Partikel kleinerer Größen hervor. Die Inhalation von Partikeln, deren Größe kleiner als 2 μm ist, erreicht die Bronchiolen und kann dort eine inflammatorische Wirkung haben (Liu et al., 2019). Partikel kleiner als 1 μm können sogar bis in die Alveolen vordringen und dort potenziell in den Blutkreislauf gelangen. Dabei ist die Inhalation von Partikeln kleiner als 0,1 μm , die bei der Koagulation von einem Gramm Gewebe entstehen, mit dem Rauchen von sechs ungefilterten Zigaretten in 15 Minuten vergleichbar (Barrett & Garber, 2003). Anhand dieses Vergleichs ist das

Ausmaß der Schädigung vereinfacht nachzuvollziehen. Die Metastudie von Liu et al. unterstrich, dass die intraoperativ entstehenden Dämpfe bei langjähriger Exposition des Operationspersonals zu einem im Gegensatz zur Normalbevölkerung erhöhten Vorkommen von respiratorischen Beschwerden führte. Dabei wurde von Pneumonien, Sinusitiden, Bronchitiden, Asthma, der Entstehung von Emphysem und auch Lungenkrebs berichtet (Liu et al., 2019). In diesem Zusammenhang könnte nun jeder chemische Bestandteil der vorherigen Studien mit seinen toxischen Wirkungen genannt werden. Da dies den Umfang dieser Arbeit übersteigen würde, werden die direkt hervorgerufenen Beschwerden an dieser Stelle zusammengefasst. Die direkte Exposition mit dem Koagulationsdampf kann zu Irritationen der Schleimhäute der Augen, der Nase, der Atemwege und auch der Haut führen. Dies kann sich in Form von Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel, Niesen und auch einer Dermatitis äußern (Liu et al., 2019). Im Rahmen der gynäkologischen Operationen ist auch das Infektionsrisiko mit HPV durch die Inhalation des Koagulationsdampfes zu nennen. Das potentielle Risiko, an einer HPV-Infektion entlang der Atemwege zu erkranken, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Weyandt et al. schätzten das Risiko der HPV-Übertragung anhand eines experimentellen Versuchs als sehr gering ein, da sie keinen Nachweis von HPV in denen im Operationssaal platzierten Petrischalen finden konnten (Weyandt et al., 2011). Eine aktuelle Pilotstudie aus Deutschland konnte diese Beobachtungen jedoch widerlegen. Sie analysierte den entstehenden Koagulationsdampf von elektrochirurgischen Schlingenexzisionen bei hochgradigen plattenepithelialen-intraepithelialen Läsionen (HSIL) und konnte die gleichen HPV-Subtypen nachweisen, wie im entnommenen Gewebe (Neumann et al., 2018). Des Weiteren wurde in vivo und in vitro nachgewiesen, dass im „surgical smoke“ HP-Viren enthalten waren und dies ein hohes gesundheitliches Risiko für das Operationspersonal darstellt (Yan et al., 2022).

5.4 Adhäsionsbildung bei unterschiedlichen elektrochirurgischen Instrumenten

Die Adhäsionsbildung nach chirurgischen Eingriffen ist ein lang bekanntes Problem. Durch das Verfahren der Laparoskopie konnte die Bildung von Adhäsionen schon deutlich reduziert werden. Dennoch kommt es in einigen Fällen zur postoperativen Bildung von Adhäsionen, die bei einem Teil der PatientInnen auch symptomatisch werden (Krielen et al., 2020). Besonders in der Gynäkologie kann sich die

Adhäsionsbildung bei Frauen im gebärfähigen Alter negativ auf die Fertilität auswirken. In der Literatur lassen sich aktuell wenige Studien finden, die diesen Sachverhalt näher erforschten. Die experimentelle Studie von Hirota et al. untersuchte anhand laparoskopischer Resektionen der Corni uteri von Schweinen die postoperative Adhäsionsbildung bei der Verwendung verschiedener Koagulationsinstrumente. Sie konnten zeigen, dass bei der reinen Verwendung des Bipolars in keinem Fall Adhäsionen gebildet wurden, hingegen bei der Verwendung des Monopolars in allen Fällen Adhäsionen auftraten. Das ultraschallgesteuerte Skalpell positionierte sich zwischen den beiden Extremen und so konnten bei der Hälfte der Fälle Adhäsionen nachgewiesen werden (Hirota et al., 2005). Das Ergebnis des monopolaren Instruments passte zu den vorherigen Untersuchungen, da es durch die höchste Temperatureinwirkung auf das Gewebe den größten Gewebsschaden verursachte (Devassy et al., 2015). Dies spiegelt sich auch in unseren Beobachtungen wider, die zeigten, dass die Partikelzahl bei der Benutzung des Monopolars signifikant stieg. Entgegen der Erkenntnisse, dass das Ultracision gewebsschonend arbeitet, zeichnete es sich in den Untersuchungen von Hirota et al. durch eine eher erhöhte Adhäsionsbildung aus (Hirota et al., 2005). Im Vergleich zum automatischen Stapler und den Schlaufenligaturen (Loops) wies die Anwendung des Bipolars auch bessere Ergebnisse hinsichtlich der Bildung von Adhäsionen auf (Hirota et al., 2005). In dieser Studie zeigte sich so, dass das bipolare Instrument verglichen mit den oben genannten Instrumenten die besten Ergebnisse für die PatientInnen erbrachte. Da es nicht möglich ist, mit dem Bipolar zu schneiden, wird häufig das Monopolar oder Ultracision zusätzlich verwendet. Im Hinblick auf ein möglichst geringes Risiko der Adhäsionsbildung ist dabei das Ultracision vorzuziehen (Hirota et al., 2005). Generell konnte bezüglich des Risikos der Adhäsionsentstehung bei der prospektiven Untersuchung von 1000 laparoskopischen Operationen festgestellt werden, dass in 21,1 % Adhäsionen gefunden werden konnten, bei einem Anteil von 63,6 % an voroperierten PatientInnen (Dubuisson et al., 2010). Dabei steigt das Risiko anscheinend deutlich mit jeder abdominalen Voroperation. So stieg das Risiko der Adhäsionsentstehung bei einer Voroperation um 6,29 %, bei zwei Voroperationen um 8,29 %, bei 3 Voroperationen um 16,9 % und bei mehr als 3 Voroperationen um 74 %. Dies unterstreicht, dass jeder Eingriff das Risiko der Entstehung von Adhäsionen erhöht. Die Ergebnisse dieser Studie können durch die Beobachtungen von Krielen et al. in einen klinischen Zusammenhang gebracht werden. So suchten 18,2 % der offen chirurgisch operierten PatientInnen innerhalb von fünf Jahren das Krankenhaus aufgrund von

adhäsionsbedingten Beschwerden auf. Bei den laparoskopisch operierten PatientInnen war die Rate der Konsultationen aufgrund von adhäsionsbedingter Beschwerden mit 16 % geringer (Krielen et al., 2020). Die Differenz zwischen den laparoskopischen Operationen im Gegensatz zu den offen chirurgisch durchgeführten Operationen ist gering und damit wird deutlich, dass das laparoskopische Verfahren verbesserungswürdig bezüglich der postoperativen Adhäsionsbildung ist.

5.5 Präventionsmaßnahmen der Adhäsionsentstehung und der Gesundheitsgefährdung des Personals

Die Entstehung von Partikeln bei der Benutzung von elektrochirurgischen und ultraschallgesteuerten Instrumenten ist nicht komplett zu vermeiden. Da die entstehenden Dämpfe mit den enthaltenen Partikeln negative Auswirkungen auf die Gesundheit der PatientInnen und des Operationspersonals haben können, ist es wichtig die Zahl an Partikeln zu minimieren. Mit unseren Untersuchungen und dem aktuellen Stand der Literatur konnte gezeigt werden, dass eine Möglichkeit, die Partikelzahl zu reduzieren, darin besteht, das monopolare Gerät zu meiden und anstelle dessen das bipolare und ultraschallgesteuerte Gerät zu benutzen. Sowohl die Partikelzahl als auch der direkte Schaden am Gewebe sowie das Risiko der Adhäsionsentstehung fällt bei dem bipolaren Gerät geringer aus als beim monopolaren Gerät (Devassy et al., 2015)(Hirota et al., 2005). Zudem ist es von großer Importanz, die Entstehung der kleineren Partikel zu vermeiden, da diese gesundheitsschädlicher sind (Okoshi et al., 2015). Außerdem ist durch die Regulation des Stroms und des Modus eine geringere Zahl an Partikeln zu erreichen (Devassy et al., 2015). Eine weitere präventive Maßnahme, um die Partikelzahl intraabdominell, aber auch im Operationsaal zu mindern, ist eine konstante Absaugung der entstehenden Gase. Dies könnte sich positiv auf die Gesundheit der PatientInnen auswirken, da so weniger Partikel resorbiert werden können oder postoperativ im Abdomen verbleiben. Es könnte so die Entstehung von Adhäsionen mindern. Eine Absaugung intraabdominal sowie ein dreischichtiges Lüftungssystem im Operationssaal, welches einen Filter für große Partikel, einen Filter für kleinere Partikel und einen geruchsneutralisierenden Filter hat, kann die Risiken des Operationspersonals für inhalative sowie irritative Erkrankungen senken (Shabbir & Dargan, 2014). Zusätzlich

kann das Risiko für das Operationspersonal durch eine adäquate Maske reduziert werden. Die bisher verwendeten Masken filtern Partikel erst ab einer Größe von 4 – 5 µm je nach Literatur (Fan et al., 2009)(Ball, 2001) . In Anbetracht der Tatsache, dass wir in unseren Untersuchungen sowie viele weitere Untersuchungen auch Partikel kleinerer Größe detektiert haben, ist der Schutz durch eine solche Maske nicht gewährleistet. Der Gebrauch von FFP2- bzw. FFP3-Masken ist dementsprechend zu empfehlen (Ball, 2001). Um die Adhäsionsbildung zu mindern, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Prophylaxe. Dabei erwiesen sich vor allem antiadhäsive Gele in mehreren randomisierten Studien bezüglich intrauteriner Verwachsungen als effektiv (Di Spiezio Sardo et al., 2016). Sie wirkten sich vorteilhaft auf die postoperative Gesundheit der PatientInnen aus, indem die Zahl der erneuten Interventionen aufgrund von Adhäsionen sank (Di Spiezio Sardo et al., 2016). Besonders reduzierten das vernetzte Hyaluronsäuregel und Carboxymethylcellulose die Bildung von De-novo-Adhäsionen (Di Spiezio Sardo et al., 2016). Eine Adhäsionsprophylaxe in Form einer antibiotischen oder hormonellen Therapie ist separat betrachtet schwierig zu beurteilen, da diese Form der Prophylaxe in vielen Studien mit anderen Formen zusammen genutzt wird (Di Spiezio Sardo et al., 2016).

5.6 Einfluss der Koagulationstechnik in der gynäkologischen Onkologie

Die laparoskopische Operationstechnik hat sich in der Gynäkologie seit Jahren sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie von benignen und malignen Tumoren etabliert. Bei der laparoskopischen Entfernung von Malignomen gibt es seit der LACC-Studie, in der schlechtere Überlebens- und Rezidivraten bei der laparoskopischen als bei der offenen Entfernung des Zervixkarzinoms festgestellt wurden, kontroverse Diskussionen über die Qualität der laparoskopischen Therapie (Ramirez et al., 2018). Diese Kontroverse hält bis heute an. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sollen zu dieser aktuellen Diskussion beitragen, sodass die Koagulationsinstrumente als Einflussfaktor für die Resultate der LACC-Studie analysiert werden können. In der LACC-Studie zeigten Ramirez et al., dass die lokale Rezidivrate beim minimalinvasiven Vorgehen signifikant höher war als beim offen chirurgischen Vorgehen (Ramirez et al., 2018). Dies könnte in Zusammenhang mit der Entstehung des „surgical smokes“ stehen.

In vorherigen Untersuchungen zeigte sich ein fünfprozentiger Anteil an Gewebefragmenten, Viren und Bakterien im „surgical smoke“ (Liu et al., 2019). Durch die Koagulation des Gewebes werden so Tumorzellen sowie Viren und Bakterien freigesetzt. Yan et al. wiesen diesbezüglich aktuell noch einmal in vivo und in vitro nach, dass im „surgical smoke“ HP-Viren enthalten waren (Yan et al., 2022). Da nahezu alle Zervixkarzinome aufgrund einer HPV-Infektion entstehen, ist davon auszugehen, dass die Versprengung der HP-Viren durch den Einsatz elektrochirurgischer Instrumente für eine erhöhte Rezidivrate mitverantwortlich sind. Diesbezüglich ist hervorzuheben, dass durch den Gebrauch des monopolaren Instrumentes die höchsten Partikelzahlen entstehen, welches die Entstehung von lokalen Rezidiven wahrscheinlicher macht. Außerdem können durch die Anlage des Pneumoperitoneums die im „surgical smoke“ enthaltenen Zellen und Viren das umliegende Gewebe besser infiltrieren. Die gleichzeitige Ansäuerung des Peritoneums vereinfacht zusätzlich deren Implantierung. Unsere Untersuchungen konnten auch zeigen, dass die durchgeführten Hysterektomien die längste Operationsdauer unter unseren untersuchten Operationen aufwiesen. Die Länge der Operation gilt als Risikofaktor für die Entstehung von Port-Site-Metastasen (Gao et al., 2020). Der von uns dargestellte lineare Anstieg der Partikelzahlen mit der Operationsdauer passt so gut zu diesen Beobachtungen. Ein weiterer Faktor, der als negativer Einflussfaktor diskutiert wird, ist der Gebrauch eines Manipulators während der Hysterektomie. Durch das Einführen kann das Tumorgewebe oder das Gewebe des Uterus selbst beschädigt werden, sodass sich Tumorzellen einerseits lösen können und andererseits das Uterusgewebe durch kleine Rupturen anfälliger für Zellinfiltration wird (Padilla-Iserte et al., 2021). Es wird zudem vermutet, dass sich gelöste Tumorzellen über die Tuben retrograd bis ins Peritoneum verteilen und dort zu pathologischen Veränderungen führen können (Shinohara et al., 2017). Außerdem sind als häufig auftretende Komplikationen während der laparoskopischen radikalen Hysterektomie die Verletzung des Ureters beziehungsweise die postoperative Ausbildung von ureterovaginalen Fisteln zu nennen (Ramirez et al., 2018). Diese werden durch den thermischen Schaden der Koagulationsinstrumente ausgelöst. Diesbezüglich ist die Verwendung des monopolaren Geräts besonders zu diskutieren, da dieses den größten thermischen Schaden am Gewebe verursacht. Insgesamt lässt sich der hypothetische Einfluss der Koagulationsinstrumente auf die Resultate der LACC-Studie nur zu einem gewissen Maße anhand unserer Studienergebnisse erklären. Der Verzicht auf das monopolare Gerät würde die Entstehung des „surgical smokes“ und somit die

Wahrscheinlichkeit, dass Tumorzellen oder HP-Viren sich im umliegenden Gewebe oder Peritoneums implantieren, verringern. Eine Adjustierung des intraperitonealen Insufflationsdrucks auf unter 15 mmHg und das Erhalten des natürlichen Milieus würden einer intraoperativen Infiltration zusätzlich entgegensteuern. Um die häufige Komplikation der ureterovaginalen Fisteln zu dezimieren, ist der Gebrauch des Bipolars oder Ultracision anstelle des Monopolars zu empfehlen.

5.7 Beantwortung der Fragestellungen

1. Wie viele Partikel entstehen bei der Anwendung der verschiedenen Koagulationsinstrumente?

In unseren Untersuchungen konnte die absolute Zahl der Partikel nur für das Bipolar festgestellt werden und lag dabei im Mittel bei $4,89 \times 10^6$ pro Operation. Eine absolute Anzahl an Partikeln bei Verwendung des Monopolars konnte nicht ermittelt werden. Die mittlere Anzahl an Partikeln stieg jedoch um $3,19 \times 10^8$, wenn das monopolare Instrument zusätzlich zum bipolaren benutzt wurde. Für die Anzahl der Partikel, die vom Ultracision ausgingen, kann leider keine valide Aussage getroffen werden, da die Studienkohorte zu klein war.

2. Welche Partikelgrößen entstehen bei der Anwendung der verschiedenen Koagulationsinstrumente?

Während der Operation maßen wir Partikel der Größe 0,3 μm , 0,5 μm , 1 μm , 3 μm , 5 μm und 10 μm . Während aller Operationen konnten alle Partikelgrößen nachgewiesen werden. Dabei ergab sich ein signifikanter Unterschied der Partikelzahl bei der zusätzlichen Benutzung des Monopolars in den Größen 0,3 μm , 0,5 μm , 1 μm , 3 μm und 5 μm . Es ließ sich darstellen, dass vom Monopolar mehr Partikel der kleineren Größen und vom Bipolar mehr Partikel der größeren Größe ausgingen.

3. Steigt die Anzahl der Partikel und die Länge der Operation bei voroperierten Patientinnen?

Nach unseren Untersuchungen ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Partikelzahl und der Länge der Operation von voroperierten Patientinnen zu nicht voroperierten Patientinnen.

5.8 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie konnten die in vitro erhobenen Untersuchungen zur Partikelentstehung bei der Benutzung verschiedener elektrochirurgischer Instrumente erstmalig während laparoskopischer Operationen in der Gynäkologie bestätigen. Dabei wurde der signifikante Anstieg der Partikelzahlen besonders in den Größen 0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm, 3 µm und 5 µm bei der zusätzlichen Nutzung des monopolen Instruments deutlich. Da besonders die kleinen Partikel die Sicht der OperateurInnen behindern und zudem ein erhöhtes gesundheitliches Risiko für das Operationspersonal und die PatientInnen darstellen, sollte die Benutzung des monopolen Instruments kritisch überdacht werden. In unseren Untersuchungen konnten wir zeigen, dass bei der alleinigen Anwendung des Bipolars eine geringere Menge an größeren Partikeln entsteht, welches vorteilhaft für OperateurInnen, PatientInnen und Operationspersonal ist. Da unser Studienkollektiv der Operationen, in denen das Ultracision angewandt wurde, zu gering war, um signifikante Ergebnisse zu erbringen, wurde zum Vergleich des Ultracision zu den elektrochirurgischen Instrumenten auf den aktuellen Stand der Literatur zurückgegriffen. Die aktuelle Studienlage verweist immer häufiger auf die Relevanz des Ultracision als Alternative zum monopolen Gerät. Sowohl die Anwendung des bipolaren Instruments als auch des Ultracision ist schonender für das Gewebe. Aufgrund dieser Erkenntnisse und vor dem Hintergrund unserer Ergebnisse sind diese beiden Instrumente der Anwendung des Monopolars vorzuziehen. In unserer Studie konnten ausschließlich die Größe und Menge der Partikel und deren Verteilung bei Benutzung des Bipolars alleine und in Kombination mit dem Monopolar analysiert werden. Um die absolute Menge an Partikeln und deren Größenverteilung des Monopolars feststellen zu können, wären weitere in vivo Untersuchungen von Operationen nötig, in denen das Monopolar als einziges Gerät genutzt wird. Außerdem

wären zur Ergänzung des aktuellen Stands der Literatur in vivo Untersuchungen des Ultracision nötig, die die Überlegenheit gegenüber den Instrumenten in vivo bestätigen. Zusätzlich wäre es sinnvoll, bei einem Versuchsaufbau wie in unserer Studie die entstehenden Partikel der Instrumente nicht nur zu zählen und zu messen, sondern auch die Art des Partikels zu analysieren. Einerseits könnten so die Instrumente bezüglich derer gesundheitlichen Risiken eingeschätzt werden. Andererseits könnte in Kombination mit Probeentnahmen von Adhäsionen bei Reinterventionen oder mit Fragebögen nach der klinischen Symptomatik die Adhäsionsbildung besser verstanden werden. Solche Ansätze könnten dazu beitragen, die postoperative Adhäsionsentstehung zukünftig zu minimieren. Durch unsere Untersuchung war es außerdem möglich, einen Beitrag zur aktuellen Diskussion über die operative Therapie des Zervixkarzinoms zu leisten. Da die genauen Ursachen für die schlechteren Überlebens- und Rezidivraten der laparoskopischen Vorgehensweise im Gegensatz zum offen chirurgischen Vorgehen bisher noch nicht geklärt sind, war es möglich, unsere Untersuchungsergebnisse in den aktuellen Stand der Wissenschaft einzubetten. Vor dem Hintergrund der aktuellen Studienergebnisse, dass HPV im „surgical smoke“ enthalten ist, ist die Entstehung von Rezidiven und Port-Site-Metastasen durch den Gebrauch der elektrochirurgischen Instrumente wahrscheinlich. Um die Relevanz des „surgical smokes“ endgültig zu klären, wäre die Analyse der Partikel in vivo während gynäkologischer onkologischer Operationen, mit besonderer Rücksicht auf Humane Papillomaviren, sinnvoll. Da der Gebrauch des Monopolars am meisten Partikel hervorbrachte und auch den größten thermischen Schaden verursachte, wäre der Verzicht auf dieses Instrument zu empfehlen. Möglicherweise lässt sich so die Rezidivrate verringern und die Komplikation der ureterovaginalen Fistelbildung minimieren. Es bedarf zukünftiger Studien, die diese Hypothese prüfen. Insgesamt konnten wir mit unserer Studie einen Beitrag zur Verbesserung der laparoskopischen Eingriffe leisten, indem wir erstmalig quantitativ die durch die Koagulationsinstrumente entstehenden Partikel maßen. Die reinen Ergebnisse liefern keinen direkten Hinweis auf die Entstehung von Adhäsionen oder den Einfluss auf die Rezidiv- beziehungsweise Überlebensrate des laparoskopisch operierten Zervixkarzinoms. Sie bestätigten jedoch bestehende Hypothesen und brachten neue Hypothesen hervor. So bestehen noch elaborierende Ansätze zur Weiterentwicklung des Verfahrens und der Instrumente, um die Komplikationsrisiken für die PatientInnen weiter zu senken.

6. Zusammenfassung

Hintergrund

Die Bildung von Adhäsionen ist eine langbekannte Folge von chirurgischen Eingriffen, die durch das Etablieren der Laparoskopie in den letzten Jahrzehnten reduziert werden konnte. Dennoch erhöht die Bildung von Verwachsungen, vor allem bei Frauen im gebärfähigen Alter, das Risiko für Komplikationen und eine verminderte Fertilität. Die Anwendung elektrochirurgischer Instrumente trägt dabei auch potentiell zur Entstehung von Adhäsionen bei. Außerdem stellen die Koagulationsdämpfe aufgrund der Versprengung von Tumorzellen und Viren ein potenzielles Risiko für die erhöhte Rezidivrate bei der Operation von malignen Erkrankungen dar.

Material und Methoden

In dieser Studie wurden erstmalig die Partikel, die während der Koagulation entstehen, in vivo während laparoskopischer Eingriffe in der Gynäkologie quantifiziert. Dazu wurden während 40 Laparoskopien die Partikel des Koagulationsdampfs mit einem Lasermessgerät in den Größen 0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm, 3 µm, 5 µm und 10 µm gezählt. Simultan wurde die Häufigkeit der Anwendung der Koagulationsinstrumente dokumentiert.

Ergebnisse

Es wurde ein signifikanter Unterschied in der Partikelanzahl zwischen der Verwendung von monopolaren und bipolaren Instrumenten festgestellt. Die Verwendung des Monopolars führte zu einer signifikant höheren Anzahl kleiner Partikel. Es bestand zudem eine lineare Korrelation zwischen der Häufigkeit der Nutzung bipolarer Instrumente und der Gesamtpartikelzahl sowie zwischen der Gesamtpartikelzahl und der Operationsdauer. Es konnte keine signifikante Korrelation zwischen der Länge der Operation und der Gesamtpartikelzahl und der Variable der Voroperation gezeigt werden.

Fazit

Es konnte erstmalig in vivo während gynäkologischer Laparoskopien bestätigt werden, dass bei der Benutzung des monopolaren Instruments signifikant mehr Partikel der kleinen Größe entstehen. Da diese eine besonders hohe gesundheitliche Gefährdung für

das Operationspersonal sowie PatientInnen darstellen, ist ein restriktiver Einsatz zu empfehlen. Außerdem ist auf eine ausreichende Absaugung und einen ausreichenden Schutz durch geeignete Masken zu achten. Dies gilt insbesondere bei dem laparoskopischen Vorgehen bei malignen Erkrankungen, um das Risiko der Rezidive durch Versprengung der Tumorzellen und Viren zu mindern und das Operationspersonal vor der Inhalation dieser Partikel zu schützen.

7. Summary

Background

Adhesion formation is a long-established consequence of surgical procedures, which has been reduced by the establishment of laparoscopy in recent decades. Nevertheless, the formation of adhesions, especially in women of childbearing age, increases the risk of complications and decreased fertility. The development of adhesions is multifactorial. In this regard, the use of electrosurgical instruments also potentially contributes to the development of adhesions through direct damage to the tissue and the coagulation vapor produced, from toxic and carcinogenic particles. In addition, coagulation vapours, due to the dispersion of tumor cells and viruses, pose a potential risk for the increased recurrence rate in the therapy of malignant diseases.

Methods

In this study, particles were quantified *in vivo* during the use of electrosurgical instruments during laparoscopic gynecologic procedures. Therefore, during 40 laparoscopies, particles of coagulation fume were counted with a laser measuring device in sizes 0,3 μm , 0,5 μm , 1 μm , 3 μm , 5 μm , and 10 μm . Simultaneously, the frequency of use of the coagulation instruments was documented to analyse possible correlation.

Results

A significant difference in the number of particles was found between the use of monopolar and bipolar instruments. The use of the monopolar led to a significantly higher number of small particles. There was also a linear correlation between the frequency of use of bipolar instruments and the total number of particles as well as between the total number of particles and the duration of surgery. No significant correlation could be shown between the length of the operation, the total particle count and the variable of the previous operation.

Conclusion

It could be confirmed for the first time *in vivo* during gynaecological laparoscopies that significantly more particles of small size are generated when using the monopolar instrument. Since these are an extremely high health threat for both the surgical staff and the patients, a restrictive use of the instrument is recommended. In addition, adequate

suction and protection using suitable masks should be ensured. This applies especially to laparoscopic procedures for malignant diseases, to reduce the risk of recurrence due to the dispersion of tumor cells and viruses, and to protect the surgical staff from inhalation of these particles.

8. Abbildungszeichnis

Abbildung 1: Bogen für Messparameter

Abbildung 2: Skizze des Versuchsaufbaus

Abbildung 3: Anschluss des Schlauchs an den Trokar

Abbildung 4: Connection des resterilisierbaren Schlauchs an den antistatischen Schlauch

Abbildung 5: Anschluss des antistatischen Schlauchs an einen Schenkel des Y- Stücks

Abbildung 6: Balkendiagramm zum Mittelwert der Gesamtpartikelzahl pro Operation

Abbildung 7: Streudiagramm zur Gesamtpartikelzahl je Häufigkeit der bipolaren Koagulation

Abbildung 8: Streudiagramm zur logarithmierten Gesamtzahl und bipolaren Koagulation

Abbildung 9: Balkendiagramm zur mittleren Gesamtzahl der monopolen und bipolaren Nutzung und der bipolaren Nutzung

Abbildung 10: Boxplots zur Gesamtzahl der Mono- und bipolaren Nutzung und der bipolaren Nutzung

Abbildung 11: Boxplots zur Verteilung der Größen der Partikel bei der mono und bipolaren Benutzung und der bipolaren Benutzung

Abbildung 12: Liniendiagramm zum Mittelwert der Partikelzahl je Partikelgröße

Abbildung 13: Streudiagramm zur Gesamtzahl der Partikel und der Länge der Operation

Abbildung 14: Streudiagramm zur logarithmierten Gesamtzahl der Partikel und Länge der Operation

Abbildung 15: Boxplots der Gesamtzahl der Partikel zur Variable der Voroperationen

Abbildung 16: Boxplots zur Länge der Operation zur Variable der Voroperationen

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Häufigkeit der Benutzung des bipolaren Instruments

Tabelle 2: Häufigkeit der Benutzung des monopolen Instruments

Tabelle 3: Häufigkeiten der Indikationen der Operationen

Tabelle 4: Benutzung der Koagulationsinstrumente pro Operation

Tabelle 5: Häufigkeiten der Voroperationen

Tabelle 6: Aufschlüsselung der Voroperationen

Tabelle 7: Mittelwert der Operationslänge

Tabelle 8: Mittlere Gesamtpartikelzahl, Länge der Operation und genutzte Koagulationsinstrumente pro Operation

Tabelle 8: Regressionsmodell zur logarithmierten Gesamtzahl und bipolaren Koagulation

Tabelle 9: Aufschlüsselung der Werte der Boxplots der Gesamtzahlen der beiden Gruppen

Tabelle 10: Paarweiser Vergleich der Anzahl der Partikel pro Größeneinheit zwischen der mono- und bipolaren Benutzung und der bipolaren Benutzung

Tabelle 11: Werte der Boxplots zur Verteilung der Partikelgrößen bei der mono- und bipolaren Koagulation

Tabelle 12: Mittelwert der Anzahl je Partikelgröße pro Koagulationstechnik

Tabelle 13: Modellübersicht der Regressionsanalyse der Gesamtzahl der Partikel zur Länge der Operation

10. Literaturverzeichnis

- Arung, W. (2011). Pathophysiology and prevention of postoperative peritoneal adhesions. *World Journal of Gastroenterology*, *17*(41), 4545. <https://doi.org/10.3748/wjg.v17.i41.4545>
- Ball, K. (2001). Update for nurse anesthetists. Patr 1. The hazards of surgical smoke. *AANA Journal*, *69*(2), 125–132, quiz 133–142.
- Barrett, W. L., & Garber, S. M. (2003). Surgical smoke: A review of the literature. Is this just a lot of hot air? *Surgical Endoscopy*, *17*(6), 979–987. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-8584-5>
- Becker, S., & De Wilde, R. L. (2016). Complications in gynecological minimal-access oncosurgery. *Best Practice & Research. Clinical Obstetrics & Gynaecology*, *35*, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2016.02.004>
- Brill, A. I. (2011). Electrosurgery: Principles and practice to reduce risk and maximize efficacy. *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America*, *38*(4), 687–702. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2011.09.005>
- Brüggmann, D., Tchartchian, G., Wallwiener, M., Münstedt, K., Tinneberg, H.-R., & Hackethal, A. (2010). Intra-abdominal Adhesions. *Deutsches Aerzteblatt Online*. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0769>
- Chi, D. S., Abu-Rustum, N. R., Sonoda, Y., Awtrey, C., Hummer, A., Venkatraman, E. S., Franklin, C. C., Hamilton, F., Gemignani, M. L., & Barakat, R. R. (2004). Ten-year experience with laparoscopy on a

gynecologic oncology service: Analysis of risk factors for complications and conversion to laparotomy. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 191(4), 1138–1145. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2004.05.004>

- Chiva, L., Zanagnolo, V., Querleu, D., Martin-Calvo, N., Arévalo-Serrano, J., Căpîlna, M. E., Fagotti, A., Kucukmetin, A., Mom, C., Chakalova, G., Aliyev, S., Malzoni, M., Narducci, F., Arencibia, O., Raspagliesi, F., Toptas, T., Cibula, D., Kaidarova, D., Meydanli, M. M., ... SUCCOR study Group. (2020). SUCCOR study: An international European cohort observational study comparing minimally invasive surgery versus open abdominal radical hysterectomy in patients with stage IB1 cervical cancer. *International Journal of Gynecological Cancer: Official Journal of the International Gynecological Cancer Society*, 30(9), 1269–1277. <https://doi.org/10.1136/ijgc-2020-001506>
- Choi, C., Do, I.-G., & Song, T. (2018). Ultrasonic versus monopolar energy-based surgical devices in terms of surgical smoke and lateral thermal damage (ULMOST): A randomized controlled trial. *Surgical Endoscopy*, 32(11), 4415–4421. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6183-3>
- Choi, S. H., Kwon, T. G., Chung, S. K., & Kim, T.-H. (2014). Surgical smoke may be a biohazard to surgeons performing laparoscopic

- surgery. *Surgical Endoscopy*, 28(8), 2374–2380.
<https://doi.org/10.1007/s00464-014-3472-3>
- Devassy, R., Gopalakrishnan, S., & De Wilde, R. L. (2015). Surgical Efficacy Among Laparoscopic Ultrasonic Dissectors: Are We Advancing Safely? A Review of Literature. *The Journal of Obstetrics and Gynecology of India*, 65(5), 293–300.
<https://doi.org/10.1007/s13224-015-0774-x>
- Di Spiezio Sardo, A., Calagna, G., Scognamiglio, M., O'Donovan, P., Campo, R., & De Wilde, R. L. (2016). Prevention of intrauterine post-surgical adhesions in hysteroscopy. A systematic review. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 203, 182–192. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2016.05.050>
- Di Zerega, G. S. (2000). *Peritoneal Surgery*. Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1194-5>
- Dubuisson, J., Botchorishvili, R., Perrette, S., Bourdel, N., Jardon, K., Rabischong, B., Canis, M., & Mage, G. (2010). Incidence of intraabdominal adhesions in a continuous series of 1000 laparoscopic procedures. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 203(2), 111.e1-111.e3. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2010.03.031>
- Dural, O., Yasa, C., Bastu, E., Ugurlucan, F. G., Yilmaz, G., Yuksel, B., Akhan, S. E., & Buyru, F. (2017). Laparoscopic Outcomes of Adnexal Surgery in Older Children and Adolescents. *Journal of Pediatric and*

Adolescent Gynecology, 30(1), 128–131.

<https://doi.org/10.1016/j.jpag.2016.09.004>

Fan, J. K.-M., Chan, F. S.-Y., & Chu, K.-M. (2009). Surgical smoke. *Asian Journal of Surgery*, 32(4), 253–257. [https://doi.org/10.1016/S1015-9584\(09\)60403-6](https://doi.org/10.1016/S1015-9584(09)60403-6)

Farag, S., Padilla, P. F., Smith, K. A., Sprague, M. L., & Zimberg, S. E. (2018). Management, Prevention, and Sequelae of Adhesions in Women Undergoing Laparoscopic Gynecologic Surgery: A Systematic Review. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 25(7), 1194–1216. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2017.12.010>

Farrugia, M. (2009). Particulate Matter Generated During Monopolar and Bipolar Hysteroscopic Human Uterine Tissue Vaporization. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 16(4), 7. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2009.04.006>

Gao, Q., Guo, L., & Wang, B. (2020). The Pathogenesis and Prevention of Port-Site Metastasis in Gynecologic Oncology. *Cancer Management and Research*, 12, 9655–9663. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S270881>

Gianella, M., Hahnloser, D., Rey, J. M., & Sigrist, M. W. (2014). Quantitative Chemical Analysis of Surgical Smoke Generated During Laparoscopic Surgery With a Vessel-Sealing Device. *Surgical*

Innovation, 21(2), 170–179.

<https://doi.org/10.1177/1553350613492025>

Hanly, E. J., Aurora, A. A., Shih, S. P., Fuentes, J. M., Marohn, M. R., De Maio, A., & Talamini, M. A. (2007). Peritoneal acidosis mediates immunoprotection in laparoscopic surgery. *Surgery*, 142(3), 357–364.

<https://doi.org/10.1016/j.surg.2007.02.017>

Herrmann, A., Torres-de la Roche, L., Krentel, H., Cezar, C., de Wilde, M., Devassy, R., & De Wilde, R. (2020). Adhesions after laparoscopic myomectomy: Incidence, risk factors, complications, and prevention.

Gynecology and Minimally Invasive Therapy, 9(4), 190.

https://doi.org/10.4103/GMIT.GMIT_87_20

Hirota, Y., Tsukada, K., Nishio, E., Yoshida, M., Tada, S., & Udagawa, Y. (2005). Postoperative adhesion formation after laparoscopic uterine

horn resection in a porcine model: Comparison of five instruments.

Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part

A, 15(6), 581–585. <https://doi.org/10.1089/lap.2005.15.581>

Holub, Z., Jabor, A., Kliment, L., Lukac, J., & Voracek, J. (2002).

Laparoscopic lymph node dissection using ultrasonically activated

shears: Comparison with electrosurgery. *Journal of*

Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A, 12(3),

175–180. <https://doi.org/10.1089/10926420260188065>

Huschak, G., Steen, M., & Kaisers, U. X. (2009). [Principles and risks of electrosurgery]. *Anesthesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie: AINS*, 44(1), 10–13. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1128179>

International Agency for Research on Cancer. (2023).

Aufgerufen am 14.08.2023, von <https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars>. August 2023.

Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen.

(2017) Aufgerufen 21.05.2023 von, https://iqtig.org/downloads/berichte/2017/IQTIG_Qualitaetsreport-2017_2018_09_21.pdf

Karjalainen, M., Kontunen, A., Saari, S., Rönkkö, T., Leikkala, J., Roine, A., & Oksala, N. (2018). The characterization of surgical smoke from various tissues and its implications for occupational safety. *PLOS ONE*, 13(4), e0195274. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195274>

Kavic, S. M., & Kavic, S. M. (2002). *Adhesions and Adhesiolysis: The Role of Laparoscopy*. 11.

Kim, F. J., Seht, D., Pompeo, A., & Molina, W. R. (2012). Comparison of surgical plume among laparoscopic ultrasonic dissectors using a real-time digital quantitative technology. *Surgical Endoscopy*, 26(12), 3408–3412. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2351-z>

- Klotz, Markus. (2021). Produktflyer „Partikelzähler Abakus® mobile air“
.pdf.
- Krielen, P., Stommel, M. W. J., Pargmae, P., Bouvy, N. D., Bakkum, E. A.,
Ellis, H., Parker, M. C., Griffiths, E. A., van Goor, H., & ten Broek,
R. P. G. (2020). Adhesion-related readmissions after open and
laparoscopic surgery: A retrospective cohort study (SCAR update).
The Lancet, 395(10217), 33–41. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32636-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32636-4)
- Kuan, K. G., Wee, M., Trochsler, M., Mees, S. T., & Maddern, G. (2015).
Electrosurgery: What do young surgeons need to know? *ANZ Journal
of Surgery*, 85(9), 603–606. <https://doi.org/10.1111/ans.13239>
- Leclercq, R. M., Van Barneveld, K. W., Schreinemacher, M. H., Assies, R.,
Twellaar, M., Bouvy, N. D., & Muris, J. W. (2015). Postoperative
abdominal adhesions and bowel obstruction. A survey among Dutch
general practitioners. *European Journal of General Practice*, 21(3),
176–182. <https://doi.org/10.3109/13814788.2015.1055466>
- Li, C.-I., Pai, J.-Y., & Chen, C.-H. (2020). Characterization of smoke
generated during the use of surgical knife in laparotomy surgeries.
Journal of the Air & Waste Management Association, 70(3), 324–332.
<https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1717675>
- Li, Z., Chen, C., Liu, P., Duan, H., Liu, M., Xu, Y., Li, P., Zhang, W., Jiang,
H., Bin, X., & Lang, J. (2021). Comparison of oncological outcomes

and major complications between laparoscopic radical hysterectomy and abdominal radical hysterectomy for stage IB1 cervical cancer with a tumour size less than 2 cm. *European Journal of Surgical Oncology: The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*, 47(8), 2125–2133.
<https://doi.org/10.1016/j.ejso.2021.03.238>

Litta, P., Fantinato, S., Calonaci, F., Cosmi, E., Filippeschi, M., Zerbetto, I., Petraglia, F., & Florio, P. (2010). A randomized controlled study comparing harmonic versus electrosurgery in laparoscopic myomectomy. *Fertility and Sterility*, 94(5), 1882–1886.
<https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2009.08.049>

Liu, Y., Song, Y., Hu, X., Yan, L., & Zhu, X. (2019). Awareness of surgical smoke hazards and enhancement of surgical smoke prevention among the gynecologists. *Journal of Cancer*, 10(12), 2788–2799.
<https://doi.org/10.7150/jca.31464>

Luijendijk, R. W., de Lange, D. C. D., Wauters, C. C. A. P., Hop, W. C. J., Duron, J. J., Pailler, J. L., Camprodon, B. R., Holmdahl, L., van Geldorp, H. J., & Jeekel, J. (1996). Foreign Material in Postoperative Adhesions: *Annals of Surgery*, 223(3), 242–248.
<https://doi.org/10.1097/00000658-199603000-00003>

Mais, V., Peiretti, M., & Minerba, L. (2017). The Improvement of Laparoscopic Surgical Skills Obtained by Gynecologists after Ten

- Years of Clinical Training Can Reduce Peritoneal Adhesion Formation during Laparoscopic Myomectomy: A Retrospective Cohort Study. *BioMed Research International*, 2017, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2017/9068647>
- Mandic, A., Golubovic, A., & Majdevac, I. (2013). Laparoscopy in gynecologic oncology: A review of literature. *Vojnosanitetski Pregled*, 70(9), 861–865. <https://doi.org/10.2298/VSP1309861M>
- Melamed, A., Margul, D. J., Chen, L., Keating, N. L., Del Carmen, M. G., Yang, J., Seagle, B.-L. L., Alexander, A., Barber, E. L., Rice, L. W., Wright, J. D., Kocherginsky, M., Shahabi, S., & Rauh-Hain, J. A. (2018). Survival after Minimally Invasive Radical Hysterectomy for Early-Stage Cervical Cancer. *The New England Journal of Medicine*, 379(20), 1905–1914. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1804923>
- Milsom, J., Trencheva, K., Monette, S., Pavor, R., Shukla, P., Ma, J., & Sonoda, T. (2012). Evaluation of the safety, efficacy, and versatility of a new surgical energy device (THUNDERBEAT) in comparison with Harmonic ACE, LigaSure V, and EnSeal devices in a porcine model. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*, 22(4), 378–386. <https://doi.org/10.1089/lap.2011.0420>
- Moris, D., Chakedis, J., Rahnemai-Azar, A. A., Wilson, A., Hennessy, M. M., Athanasiou, A., Beal, E. W., Argyrou, C., Felekouras, E., &

- Pawlik, T. M. (2017). Postoperative Abdominal Adhesions: Clinical Significance and Advances in Prevention and Management. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 21(10), 1713–1722. <https://doi.org/10.1007/s11605-017-3488-9>
- Myllärniemi, H. (1966). *Adhesion and Granuloma Formation After Abdominal Operations*. 45(3), 325–328.
- Neumann, K., Cavalari, M., Rody, A., Friemert, L., & Beyer, D. A. (2018). Is surgical plume developing during routine LEEPs contaminated with high-risk HPV? A pilot series of experiments. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 297(2), 421–424. <https://doi.org/10.1007/s00404-017-4615-2>
- Okoshi, K., Kobayashi, K., Kinoshita, K., Tomizawa, Y., Hasegawa, S., & Sakai, Y. (2015). Health risks associated with exposure to surgical smoke for surgeons and operation room personnel. *Surgery Today*, 45(8), 957–965. <https://doi.org/10.1007/s00595-014-1085-z>
- Padilla-Iserte, P., Lago, V., Tauste, C., Díaz-Feijoo, B., Gil-Moreno, A., Oliver, R., Coronado, P., Martín-Salamanca, M. B., Pantoja-Garrido, M., Marcos-Sanmartin, J., Gilabert-Estellés, J., Lorenzo, C., Cazorla, E., Roldán-Rivas, F., Rodríguez-Hernández, J. R., Sánchez, L., Muruzábal, J. C., Hervas, D., Domingo, S., & Spanish Society of Gynecology and Obstetrics Spanish Investigational Network Gynecologic Oncology Group. (2021). Impact of uterine manipulator

on oncological outcome in endometrial cancer surgery. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 224(1), 65.e1-65.e11.
<https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.07.025>

Ramirez, P. T., Frumovitz, M., Pareja, R., Lopez, A., Vieira, M., Ribeiro, R., Buda, A., Yan, X., Shuzhong, Y., Chetty, N., Isla, D., Tamura, M., Zhu, T., Robledo, K. P., Gebiski, V., Asher, R., Behan, V., Nicklin, J. L., Coleman, R. L., & Obermair, A. (2018). Minimally Invasive versus Abdominal Radical Hysterectomy for Cervical Cancer. *The New England Journal of Medicine*, 379(20), 1895–1904.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa1806395>

Ramirez, P. T., Wolf, J. K., & Levenback, C. (2003). Laparoscopic port-site metastases: Etiology and prevention. *Gynecologic Oncology*, 91(1), 179–189. [https://doi.org/10.1016/S0090-8258\(03\)00507-9](https://doi.org/10.1016/S0090-8258(03)00507-9)

Raźnikiewicz, A., Korlacki, W., & Grabowski, A. (2020). The role of laparoscopy in paediatric and adolescent gynaecology. *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*, 15(3), 424–436.
<https://doi.org/10.5114/wiitm.2020.97817>

Shabbir, A., & Dargan, D. (2014). Advancement and benefit of energy sealing in minimally invasive surgery: Advancement and benefit of energy sealing. *Asian Journal of Endoscopic Surgery*, 7(2), 95–101.
<https://doi.org/10.1111/ases.12101>

- Shinohara, S., Sakamoto, I., Numata, M., Ikegami, A., & Teramoto, K. (2017). Risk of spilling cancer cells during total laparoscopic hysterectomy in low-risk endometrial cancer. *Gynecology and Minimally Invasive Therapy*, 6(3), 113–115. <https://doi.org/10.1016/j.gmit.2016.10.002>
- Small, W., Bacon, M. A., Bajaj, A., Chuang, L. T., Fisher, B. J., Harkenrider, M. M., Jhingran, A., Kitchener, H. C., Mileskin, L. R., Viswanathan, A. N., & Gaffney, D. K. (2017). Cervical cancer: A global health crisis. *Cancer*, 123(13), 2404–2412. <https://doi.org/10.1002/cncr.30667>
- Ten Broek, R. P. G., Issa, Y., van Santbrink, E. J. P., Bouvy, N. D., Kruitwagen, R. F. P. M., Jeekel, J., Bakkum, E. A., Rovers, M. M., & van Goor, H. (2013). Burden of adhesions in abdominal and pelvic surgery: Systematic review and met-analysis. *BMJ*, 347(oct03 1), f5588–f5588. <https://doi.org/10.1136/bmj.f5588>
- Torres-De La Roche, L. A., Campo, R., Devassy, R., Di Spiezio Sardo, A., Hooker, A., Koninckx, P., Urman, B., Wallwiener, M., & De Wilde, R. L. (2019). Adhesions and Anti-Adhesion Systems Highlights. *Facts, Views & Vision in ObGyn*, 11(2), 137–149.
- Tseng, H.-S., Liu, S.-P., Uang, S.-N., Yang, L.-R., Lee, S.-C., Liu, Y.-J., & Chen, D.-R. (2014). Cancer risk of incremental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in electrocautery smoke for mastectomy

personnel. *World Journal of Surgical Oncology*, 12(1), 31.
<https://doi.org/10.1186/1477-7819-12-31>

Universitätsklinikum Heidelberg. Aufgerufen am 09.05.2021, von
<https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/verfahren/ultracision-200263>

Van Goor, H. (2007). Consequences and complications of peritoneal adhesions. *Colorectal Disease*, 9(s2), 25–34.
<https://doi.org/10.1111/j.1463-1318.2007.01358.x>

Vasilevska, D., Vasilevska, D., Semczuk, A., & Rudaitis, V. (2022). Retrospective Comparison of Laparoscopic versus Open Radical Hysterectomy for Early-Stage Cervical Cancer in a Single Tertiary Care Institution from Lithuania between 2009 and 2019. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 58(4), 553.
<https://doi.org/10.3390/medicina58040553>

Vilos, G. A., & Rajakumar, C. (2013). Electrosurgical generators and monopolar and bipolar electrosurgery. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 20(3), 279–287.
<https://doi.org/10.1016/j.jmig.2013.02.013>

Weld, K. J., Dryer, S., Ames, C. D., Cho, K., Hogan, C., Lee, M., Biswas, P., & Landman, J. (2007). Analysis of surgical smoke produced by various energy-based instruments and effect on laparoscopic

visibility. *Journal of Endourology*, 21(3), 347–351.
<https://doi.org/10.1089/end.2006.9994>

Weyandt, G. H., Tollmann, F., Kristen, P., & Weissbrich, B. (2011). Low risk of contamination with human papilloma virus during treatment of condylomata acuminata with multilayer argon plasma coagulation and CO₂ laser ablation. *Archives of Dermatological Research*, 303(2), 141–144. <https://doi.org/10.1007/s00403-010-1119-3>

Wong, Y. T., Shah, P. C., Birkett, D. H., & Brams, D. M. (2004). Carbon dioxide pneumoperitoneum causes severe peritoneal acidosis, unaltered by heating, humidification, or bicarbonate in a porcine model. *Surgical Endoscopy*, 18(10), 1498–1503.
<https://doi.org/10.1007/s00464-003-9290-7>

Yan, L., Liu, Y., Zhang, J., Chen, X., Li, J., & Zhu, X. (2022). In vivo and in vitro study of the potential hazards of surgical smoke during cervical cancer treatment with an ultrasonic scalpel. *Gynecologic Oncology*, 164(3), 587–595.
<https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2022.01.006>

11. Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort/Datum

Unterschrift

12. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meine aufrichtige Dankbarkeit den nachstehenden Personen entgegenbringen, deren Mithilfe bei der Anfertigung der Promotion unabdingbar war: Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. Meinhold-Heerlein, meinem Doktorvater, für die Überlassung eines Promotionsthemas und der wissenschaftlichen Betreuung dieser Arbeit. Zudem möchte ich mich ganz besonders bei Dr. Di-Favero für die stets engagierte und herzliche Betreuung dieser Arbeit und meines Werdegangs bedanken. Ein großer Dank gilt auch Dr. El- Safadi für die Ideengebung, die zuverlässige Betreuung in Lich, vielen Denkanstößen und die Bereitstellung von Quellen und Dokumenten.

Auch meiner Familie möchte ich einen herzlichen Dank aussprechen, die mich stets ermutigt haben, meine akademischen Ziele zu verfolgen, und die mir bedingungslose Unterstützung gewährt haben. Ihre Unterstützung hat einen grundlegenden Beitrag zu meinem akademischen Werdegang geleistet.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin, Franziska Olker, deren uneingeschränkte Unterstützung ich in privaten Zwecken, sowie zu akademischen Zwecken, ab dem ersten Semester genoss.

Mein abschließender Dank gilt meinem Partner, der mich mein ganzes Studium eng begleitete und tagtäglich unterstützte. Seine stetige Ermutigung und Hingabe haben einen entscheidenden Beitrag zu meinem akademischen Erfolg geleistet und einen gemeinsamen Werdegang ermöglicht.