

Aus der Klinik für Neurochirurgie
(Prof. Dr. med. V. Rohde)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Wundheilungsraten nach Roboter-assistierter
minimalinvasiver Pedikelschraubenosteosynthese im
Vergleich zu konventioneller fluoroskopisch-gestützter
Instrumentierung bei pyogener Spondylodiszitis.**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Awad Alaid
aus Yarmouk, Syrien

Göttingen 2018

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

Referent/in: PD Dr. med B. Schatlo

Ko-Referent/in:

Drittreferent/in:

Datum der mündlichen Prüfung:

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Wundheilungsraten nach Roboter-assistierter minimalinvasiver Pedikelschraubenosteosynthese im Vergleich zu konventioneller fluoroskopisch-gestützter Instrumentierung bei pyogener Spondylodiszitis" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den 12.08.2018

Awad Alaid

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden	4
2.1	Material und Methoden von Publikation I	4
2.2	Material und Methoden von Publikation II	6
2.3	Material und Methoden von Publikation III	6
3	Ergebnisse und Diskussion	8
3.1	Ergebnisse und Diskussion von Publikation I	8
3.2	Ergebnisse und Diskussion von Publikation II	11
3.3	Ergebnisse und Diskussion von Publikation III	12
4	Schlussfolgerung	14
5	Literaturverzeichnis	15
6	Publikationen	18
6.1	Publikation I	19
6.2	Publikation II	20
6.3	Publikation III	21

1 Einleitung

Spondylodiszitis

Die **Spondylodiszitis** ist eine Entzündung der Bandscheibe und der beiden angrenzenden Wirbelkörper, die meistens durch bakterielle Infektionen, aber auch durch entzündliche rheumatische Erkrankungen verursacht wird (Sobottke et al. 2008). Ihre Inzidenz wird auf 1 : 100 000 bis 250 000 Personenjahre geschätzt (Hadjipavlou et al. 2000). Es handelt sich somit um eine seltene Erkrankung. Aufgrund der unspezifischen Symptome kommt es häufig zu einer erheblichen Verzögerung vom Symptomeintritt bis zur Diagnosestellung. Die Standardtherapie ist die Gabe von Antibiotika, kombiniert mit einer Immobilisierung (Bettini et al. 2009). Bei progredienter Entzündung, drohender neurologischer Beeinträchtigung oder Instabilität kann eine Operation erforderlich werden (Valancius et al. 2013). Im Falle einer signifikanten Eiteransammlung im Spinalkanal (epiduraler Abszess) sollte diese chirurgisch ausgeräumt werden.

Die Stabilisierung der von der Entzündung betroffenen Segmente der Wirbelsäule ist im Allgemeinen solchen Fällen vorbehalten, bei denen bildgebend oder klinisch eine Instabilität vorliegt. Leitlinien auf Grundlage höherwertiger Evidenz existieren jedoch nicht (Guerado und Cervan 2012).

Chirurgische Technik und Komplikationen

Die Instrumentierung bei pyogener Spondylodiszitis (Mann et al. 2004 sowie Guerado und Cervan 2012) ermöglicht Heilung und Fusion des betroffenen Segments, während gleichzeitig durch längere Bettruhe verursachte Komplikationen reduziert werden (Shiban et al. 2014b). Trotz der etablierten Rolle der Chirurgie in der Behandlung der Diszitis sind ihre Komplikationen sowie die optimale chirurgische Vorgehensweise bisher kaum untersucht worden.

Die Wundheilungsstörung stellt eine der häufigsten Komplikationen in der chirurgischen Medizin dar (Mishriki 1990). Die Notwendigkeit der Nachbehandlung einer Wunde führt zur Verlängerung des Krankenhausaufenthalts und zu weiteren Komplikationen (Guo und DiPietro 2010). Wundheilungsstörungen werden unter anderem begünstigt durch fortgeschrittenes Alter, Diabetes, Niereninsuffizienz, Krebserkrankung, Besiedlung durch resistente Keime, Adipositas, Rauchen und Drogenabusus (Guo und DiPietro 2010).

Bei instrumentierten Wirbelsäuleneingriffen treten Wundheilungsstörungen mit einer Häufigkeit von bis zu etwa 15 % auf (Chen et al. 2009) und potenzieren sich bei Vorliegen der o. g. Risikofaktoren (Fujii et al. 2012).

Der Einsatz minimalinvasiver Techniken in der Wirbelsäulenchirurgie hat im Allgemeinen einen positiven Effekt auf die Rate der Wundheilungsstörungen. In einer Studie wurde eine Wundinfektionsrate von 7 % bei offenen Operationen ermittelt, während die Infektionsrate bei minimalinvasiver Technik lediglich 4,6 % betrug (McGirt et al. 2011). Die Rate von Wundheilungsstörungen bei Patienten, die aufgrund einer Spondylodiszitis operiert wurden, ist bisher noch nicht untersucht worden.

Der Einsatz von Robotern zur Assistenz bei der Implantation von Pedikelschrauben führt zu einer mit der herkömmlichen offenen Instrumentierung vergleichbaren Erfolgsrate (Schatlo et al. 2014 und Kim et al. 2016). Zu den beschriebenen Vorteilen der Robotersysteme zählt unter anderem die Verringerung der Strahlenexposition (Roser et al. 2013). Chirurgen welche nicht mit minimalinvasiven Techniken vertraut sind, ermöglicht das Roboterassistenzsystem das perkutane Setzen von Pedikelschrauben. Hierbei werden statt eines großen Schnitts in der Mittellinie mehrere kleine Hautschnitte gesetzt (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: postoperative Fotos von Wunden nach Roboter-assistierter Operation (links) und nach konventioneller Operation (rechts)

Fragestellungen

Die Hauptstudie (Publikation I) wurde durchgeführt, um die Frage zu beantworten, ob die Nutzung minimalinvasiver Technik zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer Wundrevision nach instrumentierter Chirurgie für Spondylodiszitis führt.

In einer weiteren Arbeit (Publikation II) wurde die Genauigkeit eines Roboterassistenzsystems zur Wirbelsäulen-Instrumentierung bei Patienten mit metastatischen Wirbelsäulenerkrankungen untersucht. Anlass der Studie war die Vermutung, dass der mit osteolytischen Metastasen einhergehende Mangel an dichtem Knochen die Erkennungsgenauigkeit von Röntgenbild-basierten chirurgischen Assistenzsystemen negativ beeinflusst.

Publikation III schließlich beantwortet die Frage, ob die Nutzung des Robotersystems von der Erfahrung eines Operateurs mit diesem System abhängig ist. Hintergrund sind Erfahrungsberichte, nach denen die inkorrekte Nutzung des Systems zu schlechteren chirurgischen Ergebnissen führen kann (Stuer et al. 2011). Bislang war nur aus der Perspektive eines einzelnen Chirurgen berichtet worden, dass das Plateau der Lernkurve erst nach rund 30 Operationen erreicht war (Hu und Lieberman 2014).

2 Material und Methoden

2.1 Material und Methoden von Publikation I

In der Studie (Publikation I) wurden Daten von 206 Patienten berücksichtigt, welche bei pyogener Spondylodiszitis chirurgisch behandelt wurden.

Die Diagnose der Spondylodiszitis beruhte auf weitgehend konkordanten Labor- sowie klinischen und radiologischen Befunden (Sobottke et al. 2008). Klinische Befunde sind vertebrale Schmerzen oder eine neurologische Beeinträchtigung durch epidurale Kompression sowie Symptome einer Entzündungsreaktion. Die Computertomographie zeigt typischerweise erosive Veränderungen an den Endplatten. In der Magnetresonanztomographie zeigen sich sowohl eine Hyperintensität des Bandscheibenfaches in Tau-Inversions-Sequenzen sowie ein epiduraler oder paraspinaler Abszess. Laborchemisch liegen erhöhte Spiegel des C-reaktiven Proteins sowie erhöhte Leukozytenzahlen vor.

Einige Patienten wurden mit konventioneller Technik, andere mit Hilfe des Robotersystems (siehe Abbildung 2) operiert.

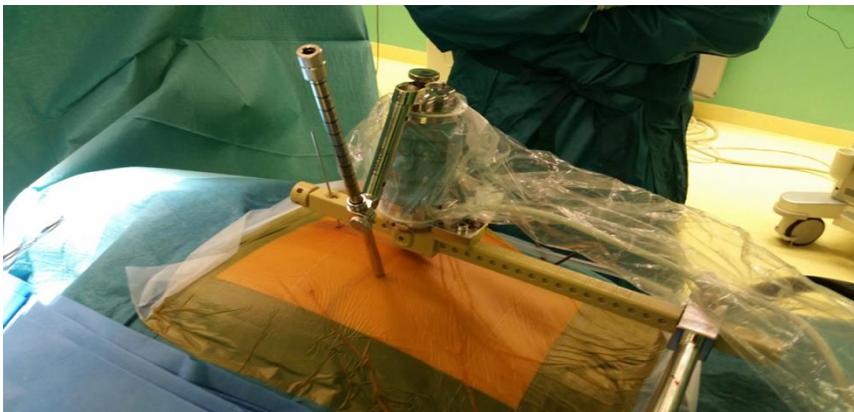


Abbildung 2: intraoperatives Bild des einsatzbereiten Roboters (blau) vor der Durchführung einer roboterassistierten Spondylodese.

Es wurden zwei Operationstechniken angewendet: Bei Anwendung der konventionellen Technik wurde ein langer Hautschnitt entlang der Mittellinie nebst anatomischer Exposition der dorsalen Elemente unter lateraler Röntgenkontrolle durchgeführt. Alternativ wurde minimalinvasiv unter Verwendung kleiner Hautschnitte mittels Roboterassistenz operiert. Dabei fand das „Mazor Spine Assist surgical assistance system“ (Caesarea, Israel) Verwendung (Kantelhardt et al. 2011). Es wurden die Variablen

- Geschlecht,
- Alter,
- Body-Mass-Index,
- Operationstechnik,
- erhöhte Zahl weißer Blutkörperchen ($> 11.000/\mu\text{l}$),
- erhöhtes C-reaktives Protein ($> 50 \text{ mg/l}$),
- Diabetes mellitus,
- Tumorerkrankungen,
- chronische Niereninsuffizienz,
- peripher arterielle Verschlusskrankheit,
- Besiedlung mit Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA),
- Operationszeit und
- Strahlenexposition

erfasst. Des Weiteren wurden die Dauer der antibiotischen Behandlung (in Wochen) sowie die Notwendigkeit einer Revisionsoperation zwischen der konventionellen und der Roboter-Gruppe notiert.

Statistische Analyse

Gruppenvergleiche wurden unter Verwendung des Chi^2 -Tests durchgeführt. Kontinuierliche Variablen wurden bei Normalverteilung mittels eines t-Tests, ansonsten

mittels Mann-Whitney-U-Test verglichen. Das Signifikanzniveau wurde als $p < 0,05$ definiert. Ergebnisse wurden mittels uni- und multivariabler logistischer Regression dargestellt. Die gesamte Analyse wurde mit Hilfe statistischer Software (Stata Version 13.1, College Station, Texas) durchgeführt.

2.2 Material und Methoden von Publikation II

N=70 Patienten mit metastatischer Wirbelsäulenerkrankung, die sich einer Instrumentierung unterzogen, wurden in diesen retrospektiven Matched-Cohort-Vergleich aufgenommen (Publikation II). Die Entscheidung, ob Roboter-unterstützte oder konventionelle röntgenbasierte Pedikelschrauben-Platzierung verwendet wurde, wurde nach Verfügbarkeit des Robotersystems im Operationssaal getroffen. Bei Patienten, die mit Roboterassistenz operiert wurden, wurden nach präoperativer Planung und intraoperativer Registrierung Pedikelschrauben implantiert. In der „konventionellen Gruppe“ wurden anatomische Landmarken sowie anteroposteriore und laterale Fluoroskopie für die Platzierung der Pedikelschrauben verwendet. Der primäre Outcome-Parameter war die Genauigkeit der Schraubenplatzierung auf der Gertzbein-Robbins-Skala (Gertzbein und Robbins 1976). Die Grade A und B (Überschreitung der Außenwand der Corticalis des Pedikels um < 2 mm) wurden hierbei als klinisch akzeptabel, alle anderen Grade als Fehllage eingestuft (Schatlo et al. 2014).

2.3 Material und Methoden von Publikation III

Für diese retrospektive Studie haben wir die Daten von 258 konsekutiven Fällen untersucht, die mit Hilfe des Robotersystems thorakal oder lumbal mit Pedikelschrauben operiert wurden. Das Datum der Operation und der Name des Chirurgen wurden dokumentiert. Der primäre Outcome-Parameter war die Schraubengenauigkeit. Postoperative Computertomographie-Scans (CT-Scans) mit axialen, koronaren und sagittalen Rekonstruktionen wurden bei allen Patienten durchgeführt. Die Genauigkeit der Schraubenplatzierung wurde anhand der zuvor

beschriebenen Messung des Ausmaßes der Überschreitung der Außenwand der Corticalis des Pedikels bewertet.

Die Erfahrung der Chirurgen wurde durch die Zahl der Operationen in Schritten von je $n=5$ für Gruppenvergleiche eingeteilt. Nicht-parametrische Tests (Mann-Whitney-U) wurden verwendet, um die Rate der fehlliegenden Schrauben auf jeder Erfahrungsstufe mit der Grundlinie (Operationen 1–5) mit einem Signifikanzniveau von $p<0,05$ zu vergleichen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ergebnisse und Diskussion von Publikation I

Bei rund einem von sieben Patienten musste aufgrund einer Wundheilungsstörung (siehe Abbildung 3) eine chirurgische Wundrevision erfolgen. In etwa der Hälfte der Operationen wurde das Robotersystem angewendet (98 Fälle, 47,6 %). Die verbleibenden Fälle wurden mit der konventionellen Technik operiert.



Abbildung 3: zwei Beispiele für eine revisionsbedürftige Wundheilungsstörung nach minimal invasiver Spondylodese (links) und einem Mittellinienschnitt bei der offenen Technik (rechts).

Insgesamt war die Rate der erforderlichen chirurgischen Wundrevisionen mit 20% in der konventionellen Gruppe höher als in der Roboter-assistierten Gruppe (8%). Dieser Unterschied erwies sich als signifikant. Der einzige unabhängige Prädiktor der Wundheilung nach multivariater Analyse blieb die Anwendung minimalinvasiver Technik mit einer Odds Ratio von 0,35. Dieses Ergebnis stützt die Annahme, dass die Nutzung minimalinvasiver Methoden eine der wichtigsten chirurgischen Maßnahmen darstellt, um die Wundheilung günstig zu beeinflussen.

Welches der zur Anwendung minimalinvasiver Techniken notwendige Hilfsmittel – Roboter, Navigation oder Fluoroskopie – hier überlegen wäre, kann hingegen anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht beantwortet werden.

Die Gesamtdauer der Antibiotika-Behandlung war mit ca. 10 Wochen in beiden Gruppen vergleichbar. Darüber hinaus bestand auch hinsichtlich des Implantatversagens kein relevanter Unterschied. Als mögliche Nachteile der Roboter-Technologie sind die anfängliche Lernkurve und längere Operationszeiten zu nennen (Schatlo et al. 2015, Publikation III).

Zusammenfassend können minimalinvasive Techniken dabei helfen, die Häufigkeit von Wundrevisionen zu senken (McGirt et al. 2011, O'Toole et al. 2009). In der vorliegenden Serie wurde eine minimalinvasive Pedikelschraubenfixierung unter Verwendung eines Robotersystems (Schatlo et al. 2014) durchgeführt, was einen möglichen zusätzlichen Nutzen der Anwendung minimalinvasiver Technik bei Patienten mit Spondylodiszitis suggeriert.

Demographische Variablen

Mit steigendem Alter steigt das Risiko chirurgischer Infektionen (Ferraz et al. 1992). Dies wird auf eine Abnahme des Stoffwechsels, geschwächte Immunabwehr und eine Verzögerung der Epithelialisierung zurückgeführt. Ein Wundverschluss dauert bei älteren Menschen etwa zwei Tage länger als bei jüngeren Personen (Holt et al. 1992). In der vorliegenden Arbeit erwies sich in der univariaten Analyse ein Alter von mehr als 70 Jahren als Prädiktor für eine Wundheilungsstörung (Odds Ratio 2,9).

Nebenerkrankungen

Fettleibigkeit ist ein bekannter Risikofaktor für chirurgische Infektionen (Pierpont et al. 2014). Pathophysiologisch erklärt sich dies mitunter durch eine Fehlregulation der Zytokinsekretion (de Heredia et al. 2012) und eine Beeinträchtigung der zellulären Immunreaktion (O'Shea et al. 2010). Die Wundheilung bei fettleibigen Patienten, die sich einer komplexen Wirbelsäulenchirurgie für pyogene Spondylodiszitis unterziehen, muss daher besonders aufmerksam beobachtet werden. Die Odds Ratio für eine

Wundheilungsstörung bei Adipositas lag bei 2,5, verfehlte aber in der Analyse das Signifikanzniveau. Obwohl die Studie zu den größten chirurgischen Serien bei Spondylodiszitis zählt, bedarf es möglicherweise noch höherer Fallzahlen, um diesbezügliche Effekte genauer zu beurteilen. In Ermangelung einer prospektiven Studie zu diesem Thema bleiben die vorliegenden Daten die einzige Informationsquelle über Wundheilungsstörungen in diesem Patientengut.

Es ist bekannt, dass bei spinaler Instrumentierung ein Diabetes-Patient mit einem Risiko von 30 % an postoperativen Infektionen erkrankt – im Gegensatz zu einem Risiko von 11 % bei Patienten ohne Diabetes (Chen et al. 2009). Ein Drittel der untersuchten Patienten litt an Diabetes. Entgegen unseren Erwartungen (Olsen et al. 2008) zeigte sich kein signifikanter Einfluss von Diabetes auf die Notwendigkeit einer Wundrevision. Der einzige grundlegende Unterschied zwischen dieser und der vorliegenden Studie ist die Präsenz einer aktiven Infektion und damit eine bereits immunkompromittierte Vergleichs-Population ohne Diabetes. Diabetes spielt somit zwar in der Begünstigung der Infektsituation der Bandscheibe eine Rolle, nicht aber als negativer Prädiktor für eine Wundheilungsstörung bei Spondylodiszitis.

Selbst wenn sie zu einer erhöhten Zahl von Wiederaufnahmen für orthopädische Indikationen beitragen (Miric et al. 2014), beeinflussten chronische Nierenerkrankungen und periphere Gefäßkrankheiten in der vorliegenden Studie nicht die Revisionsrate. Diese Daten legen nahe, dass keine der beiden Krankheiten die Entscheidung für oder gegen eine operative Behandlung von Spondylodiszitis beeinflussen sollte.

Durchleuchtungszeiten

Einer der potenziellen Nachteile minimalinvasiver Techniken ist es, dass sie die Strahlenbelastung erhöhen können. Deshalb haben wir in dieser Studie Strahlungsparameter berücksichtigt. Navigationstechniken können zu einer Reduktion der Strahlenbelastung für das Operationspersonal führen (Villard et al. 2014). Die vorliegende Studie zeigte ebenfalls eine verminderte Strahlungsdauer für den Patienten bei der Verwendung des Roboters mit einem Mittelwert von 123 Sekunden im Vergleich zu einem Mittelwert von 157 Sekunden in der konventionellen Gruppe ($p = 0,014$). In der Literatur werden Vergleichswerte von bis zu 147 Sekunden pro instrumentiertem

Niveau angegeben (Kim et al. 2008). Die reduzierte Strahlenbelastung bei der Verwendung von Roboterassistenz war bekannt (Roser et al. 2013). Das zunehmende Bewusstsein für strahlungsassoziierte gesundheitliche Gefahren für medizinische Fachkräfte kann ein zusätzliches Argument dafür sein, navigationsbasierte Verfahren zu nutzen – in diesem Fall die Roboterführung (Hadelsberg und Harel 2016).

Resistente Bakterien

Chirurgische Wundinfektionen mit multiresistenten Bakterien stellen aufgrund der begrenzten Auswahl an wirksamen Antibiotika ein ernstes chirurgisches Problem dar (Gurusamy et al. 2013). Bisher hat sich nur eine Studie explizit mit den Herausforderungen beschäftigt, die von multiresistenten Keimen bei der pyogenen Spondylodiszitis ausgehen (Shiban et al. 2014a). Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) sind die Pathogene in zwei Drittel aller multiresistenten Fälle von Spondylodiszitis in der oben erwähnten deutschen Studienpopulation (Shiban et al. 2014b). Obwohl die Wahl der Antibiotika und der Keimablagerung schwierige Probleme bleiben, zeigte zumindest die univariate Analyse, dass das Vorliegen von MRSA die Wundheilung nach der Instrumentierung für Spondylodiszitis möglicherweise negativ beeinflusst.

3.2 Ergebnisse und Diskussion von Publikation II

Bei Patienten die aufgrund von Wirbelsäulen-Metastasen operiert wurden, wurde die Genauigkeit der robotergestützten und konventionell platzierten Pedikelschrauben verglichen. Die Analyse zeigte keinen Unterschied in der Schraubengenauigkeit zwischen den Gruppen (χ^2 , 2-tailed Fisher's exact test, $p = 0,89$). Eine Schraubenfehlage in der konventionellen Gruppe führte in einem Fall zu einer zweiten Operation, in der Robotergruppe waren hingegen keine Revisionen erforderlich. Es gab keinen Unterschied hinsichtlich Wundinfektionen oder der Dauer des Eingriffs. Dies ist von besonderer Bedeutung, da der Registrierungsprozess, der im Mittelpunkt des Bilderkennungs- und Segmentierungssystems des Robotergeräts steht, auf den

Konturen von Wirbeln beruht. Diese Konturen werden durch laterale und anteroposteriore Röntgenaufnahmen während der Operation mit der präoperativen Bildgebung verglichen. Theoretisch hätte die durch Tumorzersetzung reduzierte Knochensubstanz die Registrierung beeinträchtigen können. Trotz dieser Einschränkung führte der Einsatz der Roboter-Technologie jedoch zu vergleichbaren Ergebnissen wie die konventionelle Platzierung von Pedikelschrauben.

3.3 Ergebnisse und Diskussion von Publikation III

13 Chirurgen operierten 258 Patienten während des Beobachtungszeitraums und platzierten mit Hilfe des Robotersystems 1.265 Schrauben. Hiervon überragten 48 den Pedikel um ≥ 3 mm, was einer Fehllagenquote von 3,8 % entspricht.

Die Fehlerrate in den ersten fünf Operationen betrug 2,4 % (6/245). Die Rate der Fehllagen stieg auf 6,3 % zwischen elf und 15 Operationen (10/158, $p = 0,20$) und erreichte eine Signifikanz zwischen 16 und 20 Operationen mit einer Rate von 7,1 % (8/112; $p = 0,03$). In den darauffolgenden Eingriffen sank sie stetig ab.

Eine mögliche Erklärung findet sich in lernpsychologischen Konzepten (Kruger und Dunning 1999): Es gibt einen kritischen Schritt in allen Lernprozessen: ein Übergang von einer verminderten Aufsicht (sich seiner Inkompetenz unbewusst) hin zu einem erhöhten Selbstvertrauen eines Chirurgen (sich seiner noch mangelnden Kompetenz nicht mehr bewusst), der diese neue Technik übernimmt, bevor er sie kompetent beherrscht (Kruger und Dunning 1999). Daher es ist sinnvoll, dass von mit der Technik noch nicht vertrauter Chirurgen unter kollegiale Supervision operieren, zumindest während der ersten 25 Operationen. Nach dieser Lernphase kann davon ausgegangen werden, dass das Plateau der Lernkurve erreicht ist.

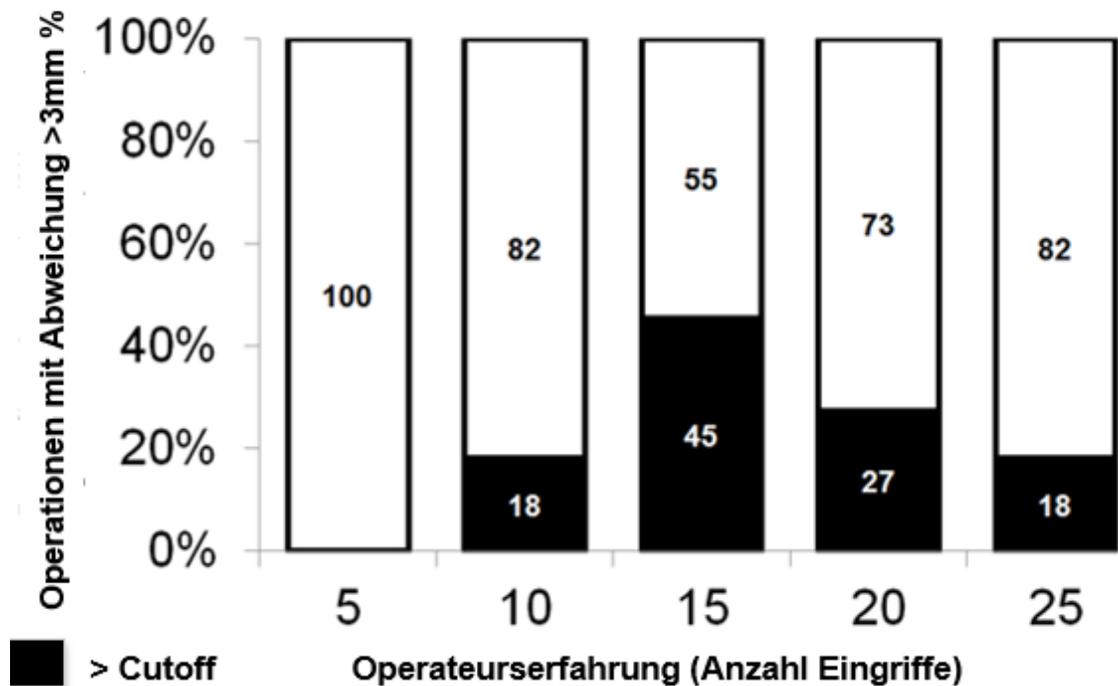


Abbildung 4: Lernkurve bei Operationen mit dem Robotersystem der Firma Mazor. Auf der y-Achse ist der Anteil der Eingriffe mit mindestens einer Fehllage in Prozent aufgetragen. Auf der x-Achse ist die Zahl der durchgeführten Eingriffe aufgetragen. Der weiße Balkenanteil beinhaltet die Eingriffe, bei denen alle Schrauben nicht bzw. nur gering von der beabsichtigten Trajektorie abweichen. Eine Ziffer von „82“ im zweiten weißen Balken von links reflektiert somit, dass bei 82% der Eingriffe (nach 10 Eingriffen der Chirurgen) keine Schraubenfehllage (mit Abweichung >3 mm) aufgetreten ist. Es zeigte sich, dass die Zahl der Operationen mit relevanter Schraubenfehllage zwischen 10 und 20 Operationen am höchsten war und anschließend abebbt.

4 Schlussfolgerung

Die diskutierten Arbeiten lassen folgende Schlussfolgerungen zu: 1. Die Nutzung minimalinvasiver Techniken – im Falle dieser Arbeit mittels Roboter-Assistenz – ist bei der pyogenen Spondylodiszitis mit einer geringeren Rate von Wundheilungsproblemen vergesellschaftet. 2. Die intraoperative Strahlenbelastung ist ebenfalls geringer als bei der Nutzung konventioneller röntgengestützter Verfahren. 3. Die robotergestützte Platzierung von Pedikelschrauben in der thorakalen Wirbelsäule kann auch bei metastatischem Befall als sicher eingestuft werden. Basierend auf dieser retrospektiven Analyse sind die Genauigkeit, die Strahlungszeit und die postoperativen Infektionsraten vergleichbar mit denen der konventionellen Technik. 4. Das Plateau der Lernkurve für die Nutzung von robotischen Assistenzsystemen in der instrumentierten Wirbelsäulenchirurgie ist nach ca. 25 Fällen erreicht. Diese Zahl Operationen kann als Anhaltswert für Chirurgen dienen, die keine vorherige Erfahrung mit der neuen Technik haben.

5 Literaturverzeichnis

- Bettini N, Girardo M, Dema E, Cervellati S (2009): Evaluation of conservative treatment of non specific spondylodiscitis. *Eur Spine J* 18 (1), 143–150
- Chen S, Anderson MV, Cheng WK, Wongworawat MD (2009): Diabetes associated with increased surgical site infections in spinal arthrodesis. *Clin Orthop Relat Res* 467, 1670–1673
- de Heredia FP, Gomez-Martinez S, Marcos A (2012): Obesity, inflammation and the immune system. *Proc Nutr Soc* 71, 332–338
- Ferraz EM, Bacelar TS, Aguiar JL, Ferraz AA, Pagnossin G, Batista JE (1992): Wound infection rates in clean surgery: a potentially misleading risk classification. *Infect Control Hosp Epidemiol* 13, 457-462
- Fujii T, Tabe Y, Yajima R, Tsutsumi S, Asao T, Kuwano H (2011): Relationship between C-reactive protein levels and wound infections in elective colorectal surgery: C-reactive protein as a predictor for incisional SSI. *Hepatology* 58, 752-755
- Gertzbein SD, Robbins SE (1990) : Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine (Phila Pa 1976)* 15, 11–14
- Guerado E, Cervan AM (2012): Surgical treatment of spondylodiscitis. An update. *Int Orthop* 36, 413-420
- Guo S, DiPietro LA (2010): Factors affecting wound healing. *J Dent Res* 89 (3), 219-229
- Gurusamy KS, Koti R, Wilson P, Davidson BR (2013): Antibiotic prophylaxis for the prevention of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) related complications in surgical patients. *Cochrane Database Syst Rev* 8, CD010268
- Hadelsberg UP, Harel R (2016): Hazards of Ionizing Radiation and its Impact on Spine Surgery. *World Neurosurg* 92, 353-359
- Hadjipavlou AG, Mader JT, Necessary JT, Muffoletto AJ (2000): Hematogenous pyogenic spinal infections and their surgical management. *Spine (Phila Pa 1976)* 25, 1668-1679
- Holt DR, Kirk SJ, Regan MC, Hurson M, Lindblad WJ, Barbul A (1992): Effect of age on wound healing in healthy human beings. *Surgery* 112, 293-297; discussion 297-298

Hu X, Lieberman IH (2014): What is the learning curve for robotic-assisted pedicle screw placement in spine surgery. *Clin Orthop Relat Res* 472, 1839–1844

Kantelhardt SR, Martinez R, Baerwinkel S, Burger R, Giese A, Rohde V (2011): Perioperative course and accuracy of screw positioning in conventional, open robotic-guided and percutaneous robotic-guided, pedicle screw placement. *Eur Spine J* 20, 860-868

Kim CW, Lee YP, Taylor W, Oygar A, Kim WK (2008): Use of navigation-assisted fluoroscopy to decrease radiation exposure during minimally invasive spine surgery. *Spine J* 8, 584-590

Kim HJ, Jung WI, Chang BS, Lee CK, Kang KT, Yeom JS (2016): A prospective, randomized, controlled trial of robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery. *Int J Med Robot* 13(3),e1779

Kruger J, Dunning D (1999): Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *J Pers Soc Psychol* 77, 1121–1134

Mann S, Schutze M, Sola S, Piek J (2004): Nonspecific pyogenic spondylodiscitis: clinical manifestations, surgical treatment, and outcome in 24 patients. *Neurosurg Focus* 17, E3

McGirt MJ, Parker SL, Lerner J, Engelhart L, Knight T, Wang MY (2011): Comparative analysis of perioperative surgical site infection after minimally invasive versus open posterior/transforaminal lumbar interbody fusion: analysis of hospital billing and discharge data from 5170 patients. *J Neurosurg Spine* 14, 771-778

Miric A, Inacio MC, Namba RS (2014): The effect of chronic kidney disease on total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 29,1225-1230

Mishriki (1990): Factors affecting the incidence of postoperative wound infection. *J Hosp Infect* 16(3), 223-230

O'Shea D, Cawood TJ, O'Farrelly C, Lynch L (2010): Natural killer cells in obesity: impaired function and increased susceptibility to the effects of cigarette smoke. *PLoS One* 5, e8660

O'Toole JE, Eichholz KM, Fessler RG (2009): Surgical site infection rates after minimally invasive spinal surgery. *J Neurosurg Spine* 11, 471-476

Olsen MA, Nepple JJ, Riew KD, Lenke LG, Bridwell KH, Mayfield J, Fraser VJ (2008): Risk factors for surgical site infection following orthopaedic spinal operations. *J Bone Joint Surg Am* 90, 62-69

Pierpont YN, Dinh TP, Salas RE, Johnson EL, Wright TG, Robson MC, Payne WG (2014): Obesity and surgical wound healing: a current review. ISRN Obes 638936

Roser F, Tatagiba M, Maier G (2013): Spinal robotics: current applications and future perspectives. Neurosurgery 72 Suppl 1, 12-18

Schatlo B, Martinez R, Alaid A, von Eckardstein K, Akhavan-Sigari R, Hahn A, Stockhammer F, Rohde F (2015): Unskilled unawareness and the learning curve in robotic spine surgery. Acta Neurochir (Wien) 157, 1819-1823

Schatlo B, Molliqaj G, Cuvinciuc V, Kotowski M, Schaller K, Tessitore E (2014): Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-guided pedicle screw insertion for degenerative diseases of the lumbar spine: a matched cohort comparison. J Neurosurg Spine 20, 636-643

Shiban E, Janssen I, Wostrack M, Krieg SM, Horanin M, Stoffel M, Meyer B, Ringel F (2014a): Spondylodiscitis by drug-multiresistant bacteria: a single-center experience of 25 cases. Spine J 14, 2826-2834

Shiban E, Janssen I, Wostrack M, Krieg SM, Ringel F, Meyer B, Stoffel M (2014b): A retrospective study of 113 consecutive cases of surgically treated spondylodiscitis patients. A single-center experience. Acta Neurochir (Wien) 156, 1189-1196

Sobottke R, Seifert H, Fatkenheuer G, Schmidt M, Gossmann A, Eysel P (2008): Current diagnosis and treatment of spondylodiscitis. Dtsch Arztebl Int 105, 181-187

Stuer C, Ringel F, Stoffel M, Reinke A, Behr M, Meyer B (2011): Robotic technology in spine surgery: current applications and future developments. Acta Neurochir Suppl 109, 241-245

Valancius K, Hansen ES, Hoy K, Helmig P, Niedermann B, Bunger C (2013): Failure modes in conservative and surgical management of infectious spondylodiscitis. Eur Spine J 22, 1837-1844

Villard J, Ryang YM, Demetriades AK, Reinke A, Behr M, Preuss A, et al (2014): Radiation exposure to the surgeon and the patient during posterior lumbar spinal instrumentation: a prospective randomized comparison of navigated versus non-navigated freehand techniques. Spine 39, 1004-1009

6 Publikationen

Publikation I:

Alaid A, von Eckardstein K, Smoll NR, Solomiichuk V, Rohde V, Martinez R, Schatlo B. (2018): Robot guidance for percutaneous minimally invasive placement of pedicle screws for pyogenic spondylodiscitis is associated with lower rates of wound breakdown compared to conventional fluoroscopy-guided instrumentation. *Neurosurg Rev.* 2, 489-496

Publikation II:

Solomiichuk V, Fleischhammer J, Molliqaj G, Warda J, Alaid A, von Eckardstein K, Schaller K, Tessitore E, Rohde V, Schatlo B (2017): Robotic versus fluoroscopy-guided pedicle screw insertion for metastatic spinal disease: a matched-cohort comparison.. *Neurosurg Focus.* 42(5),E13

Publikation III:

Schatlo B, Martinez R, Alaid A, von Eckardstein K, Akhavan-Sigari R, Hahn A, Stockhammer F, Rohde V. (2015) : Unskilled unawareness and the learning curve in robotic spine surgery..*Acta Neurochir (Wien).* 157(10):1819-23

6.1 Publikation I

Robot guidance for percutaneous minimally invasive placement of pedicle screws for pyogenic spondylodiscitis is associated with lower rates of wound breakdown compared to conventional fluoroscopy-guided instrumentation.

DOI: 10.1007/s10143-017-0877-1.

Der Status der Publikation:

Die Arbeit ist in der Zeitschrift *Neurosurgical Review* im Juli 2017 erschienen. Der *Journal Impact Factor* (2015) ist 1,79.

Die Namen der Koautoren:

Awad Alaid, Kajetan von Eckardstein, Nicolas Roydon Smoll, Vladimir Solomiichuk, Veit Rohde, Ramon Martinez und Bawarjan Schatlo

Eigenanteil an dem Gesamtprojekt:

Awad Alaid: Datenkollektion, Datenanalyse, Abfassung des Manuskripts.

6.2 Publikation II

Robotic versus fluoroscopy-guided pedicle screw insertion for metastatic spinal disease: a matched-cohort comparison.

DOI: 10.3171/2017.3.FOCUS1710

Der Status der Publikation:

Die Arbeit ist in der Zeitschrift *Neurosurgical Focus* im Mai 2017 erschienen. Der *Journal Impact Factor* (2015) ist 2,08.

Die Namen der Koautoren:

Vladimir Solomiichuk, Julius Fleischhammer, Granit Molliqaj , Jawad Warda, Awad Alaid, Kajetan von Eckardstein, Karl Schaller, Enrico Tessitore, Veit Rohde und Bawarjan Schatlo.

Eigenanteil an dem Gesamtprojekt:

Awad Alaid: Datenkollektion

6.3 Publikation III

Unskilled unawareness and the learning curve in robotic spine surgery.

DOI: 10.1007/s00701-015-2535-0

Der Status der Publikation:

Die Arbeit ist in der Zeitschrift *Acta neurochirurgica* im Oktober 2015 erschienen. Der *Journal Impact Factor* (2015) ist 1,2.

Die Namen der Koautoren:

Bawarjan Schatlo, Ramon Martinez, Awad Alaid, Kajetan von Eckardstein, Reza Akhavan-Sigari, Anina Hahn, Florian Stockhammer und Veit Rohde.

Der Anteil der Koautoren an dem Gesamtprojekt:

Awad Alaid: Datenkollektion

Danksagung

Einen besonderen Dank möchte ich Herrn Priv.-Doz. Dr. Schatlo aussprechen. Mein Dank gilt dabei seiner vorbildlichen fachlichen Betreuung in der nun vier Jahre währenden Zusammenarbeit. Mit seiner unermüdlichen Unterstützung hat er wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Des Weiteren danke ich Herrn Prof. Dr. Rohde, Direktor der Klinik für Neurochirurgie, für seine uneingeschränkte Hilfe sowie das kritische Durchsehen dieser Arbeit.