

Intraoperative 3D imaging in intraarticular tibial plateau fractures - Does it help to improve the patients' outcomes?

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor Medicinae (Dr. med.)

an der Medizinischen Fakultät

der Universität Leipzig

eingereicht von

Firas Souleiman

geboren am 01.08.1991 in Leipzig

angefertigt am

Universitätsklinikum Leipzig,

Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie

(Direktor: Prof. Dr. med. Christoph- E. Heyde)

Betreuer

Prof. Dr. med. Pierre Hepp

Prof. Dr. med. Ulrich Spiegl

PD Dr. med. habil. Jan Dirk Theopold

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 24.11.2021

Bibliographische Beschreibung

1. Einführung **1**

- 1.1 Die proximale Tibiafraktur- Epidemiologie und Klassifikation 1
- 1.2 Operatives Vorgehen 2
- 1.3 Intraoperative Fraktur darstellende Verfahren 3
- 1.4 Nachbehandlung und Outcomemessung 4
- 1.5 Ziele der Arbeit 5

2. Publikationsmanuskript **6**

3. Zusammenfassung und Ausblick **16**

4. Literaturverzeichnis **20**

5. Anlagen **26**

- 5.1 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole 26
- 5.2 Abbildungsverzeichnis 26
- 5.3 Erklärung über den wissenschaftlichen Beitrag des Promovenden zur Arbeit 27
- 5.4 Erklärung über die eigenständige Anfertigung der Arbeit 28
- 5.5 Curriculum vitae 29
- 5.6 Danksagung 31

1. Einführung

1.1. Die proximale Tibiafraktur- Epidemiologie und Klassifikation

Mit einer jährlichen Inzidenz von 10,3/ 100.000 Einwohner bildet die proximale Tibiakopffraktur ungefähr 1% aller Frakturen ab.¹⁻³ Jüngere Männer sind häufig betroffen (Vgl. Moore 1987: mittleres Alter 44 Jahre, männlich 62%; Cochrane Database of Systematic Reviews 2015: mittleres Alter 42 Jahre, männlich 63 %).^{4,5} Die Vielfalt der auftretenden Frakturmorphologien ist groß, weshalb Systeme zur einheitlichen Klassifikation und Therapieplanung genutzt werden. Zur Beurteilung der knöchernen Verletzung dienen die Klassifikationen nach AO- und Schatzker.^{6,7} Entsprechend der AO- Klassifikation zeigen B3, C1, C2 und C3- Frakturen schwere Verletzungen der Gelenkfläche.


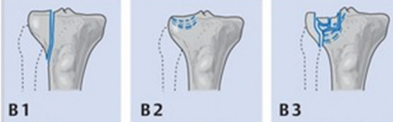

A- Frakturen	B- Frakturen	C- Frakturen
Ausrissfrakturen der Eminentia, extraartikuläre Frakturen	Partielle Gelenkfrakturen	Vollständige Gelenkfrakturen
 <p>A1 Ausrissfraktur der Eminentia</p> <p>A2 extraartikuläre einfache Fraktur</p> <p>A3 extraartikuläre Fraktur mit komplexer metaphysärer Frakturzone</p>	 <p>B1 einfacher Spaltbruch</p> <p>B2 Impressionsfraktur</p> <p>B3 Spalt-Impressions-Bruch</p>	 <p>C1 einfache artikuläre, einfache extraartikuläre Fraktur</p> <p>C2 einfache artikuläre, komplexe extraartikuläre Fraktur</p> <p>C3 komplexe artikuläre Fraktur</p>

Abbildung 1: Schematische Darstellung der AO- Klassifikation.⁶

Bildquelle: Lobenhoffer P, Galla M. Tibiakopffrakturen. In: Kohn D [Hrsg.]. Orthopädie und orthopädische Chirurgie – Knie. Stuttgart: Thieme; 2004⁸

Bei zusätzlichen Weichteilverletzungen wird die Klassifikation nach Moore bevorzugt genutzt.⁹ Mit stetiger Weiterentwicklung der präoperativen Bildgebung (CT und MRT) hat sich auch das dreidimensionale Verständnis bei der Versorgung proximaler Tibiafrakturen gewandelt. Neuere Klassifikationen wie die "Zehn-Segment- Klassifikation" zur besseren operativen Planung und Beurteilung der posterioren knöchernen Strukturen etablieren sich.¹⁰

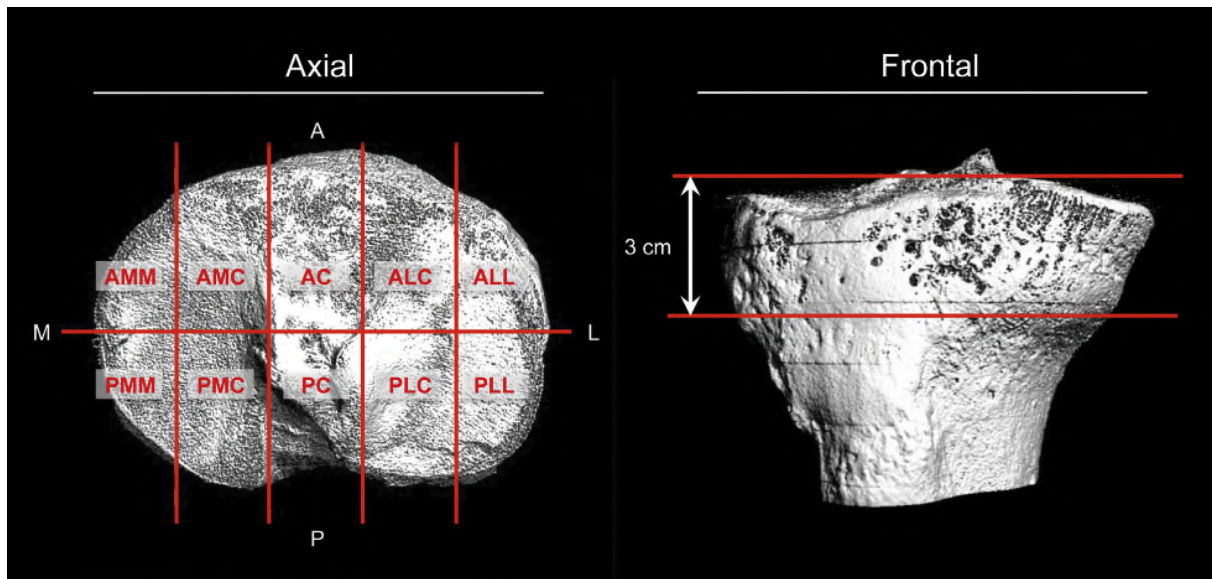


Abbildung 2: Dargestellt ist die Zehn-Segment-Klassifikation¹⁰.

AMM antero-medio-medial, AMC antero-medio-central, PMM postero-medio-medial, PMC postero-medio-central, AC antero-central, PC postero-central, ALL antero-latero-lateral, ALC antero-latero-central, PLL posterolatero-lateral, PLC postero-latero-central

Hochrasanztraumata sind in der Regel der ursächliche Unfallmechanismus dieser Fraktur, sodass eher jüngere Patienten von der Verletzung betroffen sind.^{7,11,12} Deziierter betrachtet zeigt sich eine zweigipflige Altersstruktur für männliche und weibliche Patienten. So haben Männer ein eher niedrigeres Alter bei ursächlichen Hochrasanztraumata und Frauen ein höheres Alter bei niedrig energetischen Traumata in Folge von Osteoporose.⁷

1.2. Operatives Vorgehen

Die bisherige Versorgung der gelenkbeteiligten proximalen Tibiafraktur zeigt hohe Arthroseraten von bis zu 44 % und hohe postoperative Revisionsraten von bis zu 45%.^{4,13} Diese Zahlen weisen auf die Schwere der Verletzung hin. In Anbetracht des beschriebenen eher jungen Alters bei noch berufstätigen Patienten, stellt die adäquate Versorgung ein sozioökonomisches Problem dar. Das Ziel der medizinischen Versorgung liegt in der Wiederherstellung und Konsolidierung der Gelenkfläche, da dies für die posttraumatische Arthrose ein entscheidender Faktor ist.^{14,15} Bei dislozierten Frakturen ist daher die chirurgische Versorgung der Goldstandard.^{9,16} Eine ideale, anatomische Wiederherstellung der Gelenkfläche ist bei Trümmerfrakturen nicht vollständig möglich. Daher werden Outcome relevante Gelenkstufen, welche tolerabel sind, diskutiert. Werte zwischen 1 bis 4 mm werden abgewogen.^{9,14,16-18} Neben der optimalen Wiederherstellung der Gelenkfläche hat der Chirurg insbesondere auf die anatomische Beinachse zu achten. So soll jede valgische Fehlstellung über

5° und jede varische Beinachse vermieden werden.¹⁶ Weiterhin sollte bei der Reposition jeglicher Schaden der umgebenden Weichteilstrukturen vermieden werden.^{5,19}

Nach optimaler Reposition muss eine adäquate Fixierung gewährleistet werden, da Frakturen des Kniegelenks als gewichtstragende Einheit erhöhten Gefahren einer Nachsinterung ausgesetzt sind. Die Implantat- Forschungen der letzten Jahre haben einen deutlichen Stabilitätsvorteil zugunsten winkelstabiler Implantate gezeigt.^{20,21} Derzeit werden bei der gelenkbeteiligten proximalen Tibiafraktur, additiv zu einer winkelstabilen Platte, subchondrale Schrauben implantiert, um ein Nachsintern der Gelenkfläche zu verhindern. Je nach Frakturlokalisation ist der Einsatz von Doppelplattenosteosynthesen zu beobachten.⁴

1.3. Intraoperative Fraktur darstellende Verfahren

Um das Therapieziel einer geringen Gelenkstufe zu erreichen, ist eine exakte, intraoperative Bildgebung zwingend notwendig. Die konventionelle Fluoroskopie ist hierbei die anerkannte Standard- Bildgebung.^{1,2} Bei Typ B und C Frakturen nach AO stellt die besondere Anatomie des Tibiaplateaus eine besondere chirurgische Herausforderung dar. Der laterale Anteil ist konvex und flach. Der mediale Anteil ist konkav. Beide Anteile haben unterschiedliche Neigungen.^{22,23} Diese besondere Anatomie sorgt für Überlappungen in der lateralen Fluoroskopie.^{22,23} Dadurch lassen sich kleine Gelenkstufen nicht adäquat erkennen und versorgen. Deshalb haben sich in den letzten Jahren neuere Fraktur darstellende Verfahren wie die Frakturoskopie und der intraoperative 3D- Scan bei der chirurgischen Versorgung etabliert.²⁴⁻³¹ Bei der Frakturoskopie wird die Reposition der Fraktur unter Zuhilfenahme der Arthroskopie durchgeführt.^{31,32} Eine hochauflösende Kamera, welche in das flüssigkeitsgefüllte Gelenk eingeführt wird, kann hochauflösend die knöchernen Strukturen in Echtzeit darstellen. Beim intraoperativen 3D- Scan ist der "Kegelstrahl", der sogenannte "Cone Beam", die Grundlage der Bildgebung.³³ Im Unterschied dazu wird beim klinischen CT ein "Fächerstrahl", der sogenannte "Fan Beam", verwendet. "Cone Beam" Scanner haben ein großes Sichtfeld ("Field of view", FOV) in einer Rotation, was die Strahlenbelastung senkt, jedoch anfälliger für Artefakte ist (sogenanntes "Scattering" und "Beam Hardening").^{34,35} Um die Bildqualität zu objektivieren und zwischen unterschiedlichen 3D-Scannern zu vergleichen, haben sich Punktesysteme etabliert.^{36,37} Der erste "Cone Beam" Scanner konnte in den 80er Jahren aufgrund neu entwickelter Flachdetektoren, welche die Bildinformationen aufnehmen, verwendet werden. Seitdem finden 3D- Scanner, aus Überzeugung die chirurgischen Resultate zu verbessern, in vielen anatomischen Regionen ihre Anwendung.^{26-29,38-41}



Abbildung 3: Beispiel eines 3D- Scan- Gerätes (Ziehm Vision RFD 3D, Fa. Ziehm, Nürnberg, Germany)
Bildquelle: Produktwebseite Ziehm Imaging

1.4. Nachbehandlung und Outcomemessung

Eine Osteosynthese muss solange die nötige Stabilität verleihen, bis die knöcherne Konsolidierung nach einer Fraktur abgeschlossen ist. In der Regel liegt diese Zeit bei ungefähr 6 Wochen. Diese ist allerdings interindividuell sehr variabel. Weshalb es bei manchen Patienten zu verzögerter Frakturheilung oder Pseudarthrosen kommt, ist trotz neuer Forschungserkenntnisse noch immer nicht abschließend geklärt.^{42,43} Bei der gelenkbeteiligten Tibiakopffraktur sind je nach zu verrichtender Arbeit mediane Zeiten bis zur vollständigen beruflichen Wiedereingliederung von 120 Tagen beschrieben.⁴⁴ Dies zeigt den Anspruch, welchen diese Fraktur an die postoperative Nachbehandlung hat. Die Behandlungskonzepte reichen von thermischen Maßnahmen, über passive Bewegungen mittels "continuous passive motion" (CPM)- Schiene, aktiver Aktivierung der Quadrizepsmuskulatur bis hin zur Immobilisation von bis zu 6 Wochen.¹² In den letzten Jahren wurden die Konzepte der Operateure jedoch aggressiver hin zur frühzeitigen Mobilisierung mit Anti- Schwerkraft-Laufbändern und Steigerung der Belastung.^{12,45} Die genaue Belastungssituation bleibt jedoch in Diskussion und ist sicherlich aufgrund von unterschiedlichen Rückkopplungsmechanismen individuell. Neue Konzepte des Frakturmonitorings könnten durchschlagende Erfolge bringen.⁴⁶

Für die Messung des Outcome nach Kniegelenksverletzungen stehen unterschiedliche Scores zur Verfügung. Die bekanntesten und validiertesten sind der "Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)", Lysholm Score, Oxford Knee Score und die Tegner Activity Scale.⁴⁷⁻⁵²

Beim KOOS- Score handelt es sich um einen Patientenfragebogen und damit ein einfaches Hilfsmittel, welcher die großen Komplexe 1) Schmerz, 2) Symptome, 3) Tätigkeiten des Alltags, 4) Funktionsfähigkeit im Sport und in der Freizeit und 5) Lebensqualität im Zusammenhang mit dem betroffenen Knie in einem Punktesystem bis 100 zusammenfasst. Für jeden der 5 Komplexe kann eine Teilpunktzahl vergeben werden.⁴⁹

Der Lysholm- Score ist ebenfalls ein Fragebogen, welcher die subjektive Kniegelenksfunktion des Patienten mit einer Punktzahl bis 100 erfasst.⁴⁷ Die Anzahl der Fragen ist geringer und es lassen sich keine kategorialen Einzelscores erheben. Sowohl der KOOS-, als auch der Lysholm-Score erheben subjektive Parameter, was als Schwäche zu erwähnen ist.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Studien wurde sich für den KOOS- und Lysholm- Score in dieser Publikation entschieden.

1.5. Ziele der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, den Effekt des intraoperativen 3D- Scan bei der Versorgung komplexer gelenkbeteiligender Tibiakopffrakturen (Typ B3, C1, C2, C3 nach AO) zu analysieren.

Die vorliegende Arbeit ist die erste retrospektive Fall-Kontroll-Studie, welche die klinischen Ergebnisse nach Versorgung mit der 2D- Fluoroskopie (2D Gruppe) und einem additiven 3D Scan (3D Gruppe) vergleicht. In einem Matching- Prozess sollen die Patienten jeder Gruppe gepaart und mit einem minimalen postoperativen Zeitraum von 12 Monaten nachuntersucht werden. Durch den Vergleich der Outcome- Scores beider Gruppen und statistischen Analysen soll heraus gefunden werden, ob die Anwendung des intraoperativen 3D Scans die klinischen Ergebnisse bei der Versorgung komplexer proximale Tibiafrakturen verbessert. Das sekundäre Studienziel besteht in dem Vergleich der Revisionsraten beider Gruppen. Die Sekundärhypothese ist, dass der 3D- Scan postoperative Revisionen verhindern kann.

2. Publikationsmanuskript

Intraoperative 3D imaging in intraarticular tibial plateau fractures - Does it help to improve the patients' outcomes?

Firas Souleiman*, Ralf Henkelmann*, Jan Theopold, Johannes Fakler, Ulrich Spiegl†, Pierre Hepp†

* Firas Souleiman and Ralf Henkelmann contributed equally to this article

† Pierre Hepp and Ulrich Spiegl are equally contributing senior authors

Das Publikationsmanuskript wurde vom Editorial Office des „Journals of Orthopaedic Surgery and Research“ (5- year Impact Factor: 2.145) angenommen und ist zum Zeitpunkt der Einreichung der vorgelegten Dissertationsschrift publiziert.

DOI: 10.1186/s13018-021-02424-3

RESEARCH ARTICLE

Open Access



Intraoperative 3D imaging in intraarticular tibial plateau fractures - Does it help to improve the patients' outcomes?

F. Souleiman^{*†} , R. Henkelmann[†], J. Theopold, J. Fakler, U. Spiegl[†] and P. Hepp[†]

Abstract

Background: In tibial plateau fractures (TPF) the restoration of an anatomical joint surface as well as an exact subchondral screw position for postoperative stability is crucial for the outcome. The aim of this study was to determine whether the additional use of an intraoperative 3D imaging intensifier (3D) might help to improve the outcome of complex TPF.

Methods: We performed a retrospective case-control study of a level 1 trauma center. Patients with AO/OTA 41 B3 and C-TPF operated on using a 3D imaging intensifier between November 2015 and December 2018 (3D group) were included. The outcomes of this patients were compared to patients operated without 3D imaging between January 2005 to December 2014 (2D group). The comparison of the groups was performed by matched pair analysis. The functional outcome of both groups was measured by KOOS and Lysholm Score after a follow-up period of at least 12 months. Operation time, infections and postoperative revisions were registered.

Results: In total, 18 patients were included in the 3D group (mean age: 51.0± 16.4 years; 12 females) and an equal number of matching partners from the 2D group (mean age: 50.3± 15.2 years; 11 females) were found (p=0.82; p=0.79). We found 9x B3, 2x C1, 1x C2, 6x C3 fractures according to AO/OTA for each group (p=1.00) with comparable ASA score (p=0.27). The mean operation time was 127.9± 45.9 min and 116.1± 45.7 min for the 3D and 2D group (p=0.28). The mean follow-up time was 20.9± 10.7 months for the 3D and 55.5± 34.7 months for the 2D group (p< 0.001). For the 3D group a mean Lysholm overall score of 67.4± 26.8 and KOOS overall score of 72.6± 23.5 could be assessed. In contrast, a mean Lysholm overall score of 62.0± 21.4 and KOOS overall score of 65.8± 21.6 could be measured in the 2D group (p=0.39; p=0.31). Thereby, functional outcome of the 3D group showed a significant higher KOOS Sport/Rec sub score of 54.7± 35.0 in comparison to the 2D group with 26.7± 31.6 (p= 0.01). Postoperative revisions had to be performed in 27.8% of cases in both groups (p=1.00). Due to the 3D imaging an intraoperative revision was performed in 33.3% (6/18).

Conclusion: In our study we could show that re-reduction of the fracture or implant re-positioning were performed in relevant numbers based on the 3D imaging. This was associated with a midterm clinical benefit in regard to better KOOS Sport/Rec scores.

(Continued on next page)

* Correspondence: firmasouleiman@medizin.uni-leipzig.de

[†]Firas Souleiman and Ralf Henkelmann contributed equally to this article.

[†]Pierre Hepp and Ulrich Spiegl are equally contributing senior authors

Affiliation: Department of Orthopedics, Trauma and Plastic Surgery, University Hospital Leipzig, Liebigstraße 20, 04103 Leipzig, Germany



© The Author(s). 2021 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

(Continued from previous page)

Trial registration: AZ 488 /20-ek

Keywords: Tibial plateau fracture, 3D imaging, 2D imaging, fluoroscopy, ORIF, Outcome, revision rate, infection

Background

Tibial plateau fractures constitute about 1% of all fractures occurring at an incidence of 10.3 per 100,000 annually [1–3]. Arthrosis rates of up to 44 % and rates of revision operations of 25.3 to 45.0% have been described [4, 5]. In addition to fracture severity, the reduction quality is crucial for the development of a posttraumatic arthrosis [6, 7]. For dislocated fractures, surgical therapy is the gold standard [8, 9]. For intraoperative analysis of fracture reduction, conventional fluoroscopy is generally applied. Due to the convexity as well as the flat lateral tibial plateau and the concave medial tibial plateau with respective different dorsal slopes, overlaps occur in the lateral fluoroscopy [10, 11]. Complex fracture morphologies are difficult to assess and small joint steps cannot be assessed with sufficient certainty. Postoperative CT imaging is therefore recommended to verify the surgical outcome [12]. If there is a material malposition or an insufficient reduction of the articular surface, a revision operation is necessary. Intraoperative 3D imaging can provide additional information during the operation, which could prevent revision surgeries [13, 14]. There are few studies that support its use in the treatment of intraarticular tibial plateau fractures. Thereby, intraoperative revision rates of up to 26.5% in the treatment of proximal tibial fractures are shown [15–18]. To the authors' knowledge, there is no study comparing the functional outcome after treatment of tibial plateau fractures using intraoperative 3D imaging versus conventional fluoroscopic evaluation using two planes (2D). The aim of this study was to determine whether the additional use of an intraoperative 3D imaging intensifier might help to improve the clinical outcome after surgical treatment of complex tibial plateau fractures. Secondary it was hypothesized, that the rate of postoperative revision surgeries can be reduced.

Methods

We performed a retrospective case control study at a level 1 trauma center. This study was conducted following approval from the local ethics committee and was performed in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The consent to participate in the study was given by the patients.

All patients who were surgically treated for tibial plateau fractures were identified by querying the hospitals' databases using the International Classification of Disease (ICD) code. We have formed two separate groups according to our predefined inclusion and exclusion criteria (Table 1).

Study group (3D): Patients who underwent open reduction and internal fixation between December 2015 and December 2018 using 2D and 3D imaging intensifier (Ziehm Vision RFD 3D, Fa. Ziehm Imaging, Nuernberg, Germany).

Control group (2D): Patients who were operated between 2005 and 2014 only by 2D fluoroscopy without 3D imaging.

We retrospectively evaluated the intraoperative revision rate, reasons for revision and operation time of both groups. Additionally, a minimum 12-month postoperative functional outcome was measured by using the KOOS and Lysholm Score [19–21]. Complications, postoperative revision surgeries and infections were analyzed.

Operation procedure: After fracture reduction, including reconstruction of the articular surface and placement of subchondral screws, 2D fluoroscopy was performed in the lateral and anterior-posterior plane. In contrast to the 2D group, an intraoperative 3D scan was now performed in the 3D study group. Whenever possible, as little osteosynthesis material as possible was placed close to the joint surface in order to keep possible artifacts to a minimum for the 3D scan. The decision for repositioning the screws and/or redo the reduction maneuver was made by the attending surgeon. Particularly intraoperative revision reasons were an intra-articular screw position or a joint step of more than 2mm.

In order to analyze the effect of intraoperative 3D imaging we compared the outcomes of the study group (3D group) to the historical collective (2D group).

We characterized our two groups by means of descriptive statistics: Mean \pm standard deviation (SD) for continuous and number (%) for categorical variables.

Both groups were compared by a one to one matching of the patients. The matching criteria were age \pm 5 years, exact fracture classification by AO/OTA, gender and American Society of Anesthesiologists- Score (ASA). If no matching partner was found, the ASA score was changed by one unit (n=4). If even then no suitable partner was found, gender (n=1) or gender and ASA (n=2) was adapted. During the matching process, attention was also paid to the follow-up time. The matching patient with the next possible follow-up time to the matching partner was selected. Further analyses were performed by using the Mann-Whitney-U test for non-parametric data (two-tailed test, p-value < 0.05). The software SPSS (V.25, Fa. IBM, New York, USA) was used for the calculations and graphical presentations of the results.

Table 1 Inclusion and exclusion criteria

Inclusion criteria	Exclusion criteria
Acute complex closed intraarticular proximal tibial fracture Type B3, C1, C2, C3 to AO/OTA [19]	Open fractures Fractures of type A, B1 and B2 to AO/OTA
Age \geq 18 years	Polytraumatized patients (Injury Severity Score >16)
Use of intraoperative 3D and 2D imaging intensifier	Foreign residents
Follow-up \geq 12 months	Conservative treatment
Capable of consent	Pathologic fractures

Results

A total of 22 patients with AO/OTA B3 and C tibial plateau fracture were found according to our inclusion criteria. Four patients were excluded due to different circumstances: no follow-up could be determined for two patients, one patient died before the 1-year follow-up and one patient suffered a polytrauma. Finally, 18 patients were included in our 3D study group, of which 12 were women (Table 2). The mean age was 51.0 ± 16.4 years (range 23–85 years). We had 9x B3, 2x C1, 1x C2 and 6x C3 fractures according to AO/OTA. The mean ASA score was 1.44 ± 0.51 . The mean operation time was recorded with 128 ± 46 min. The mean follow-up time was 20.9 ± 10.7 months with the outcome scores shown in Table 3. Postoperative revisions had to be performed in 27.8% of cases. In one case a superficial wound revision was necessary due to a wound healing disorder, in one case we observed a deep surgical site infection with removal of the material and implantation of an unicondylar knee prosthesis in the follow-up. One patient required a varus osteotomy due to posttraumatic valgus malalignment and one patient required a renewed reposition because of loss of reduction (Table 4).

Due to the 3D imaging an intraoperative new reduction or new placement of the implants had to be performed in 33.3% (6/18).

In one case, the intraoperative 3D imaging showed insufficient quality to adequately control the fracture reduction and implant positioning. All other 17 cases (94.4%) showed good quality according to the surgical reports.

According to the matching criteria, 18 patients of the 2D control group could be matched in a ratio one to one (2D group: mean age: 50.3 ± 15.2 years; 11 females). Due to the matching both groups are comparable in terms of age, gender and ASA score ($p > 0.05$). The mean follow-up time of the 2D group was 55.5 ± 34.7 months ($p < 0.001$). The functional outcome scores of the 3D study and 2D control group are shown in Table 3. Especially the KOOS Sport/Rec sub score showed significantly higher results for the 3D group. The rate of postoperative revisions of the 2D group was 27.8%. An

infection has been observed in one case. The duration of the operations was 116 ± 46 min ($p = 0.28$).

If postoperative CT control imaging was performed in the 2D control group due to pain, one case showed intra-articular screw position and two cases showed joint steps > 2 mm without any operative revision. In the 3D study group no postoperative intraarticular implants or joint steps > 2 mm were detected.

Discussion

The hypothesis of the study that the additional use of intraoperative 3D imaging results in a relevant number of intraoperative revisions (33.0%), potentially leading to a significantly improved outcome (KOOS Sport/Rec) could be approved. In the first analysis, this did not lead to a reduction in postoperative revisions. This might be due to the fact that in the 2D control group, relevant joint steps and suboptimal material position were tolerated in the presence of mild clinical symptoms (22.2%).

The patients in both groups were about 50 years old and are comparable based on the matching process except for the duration of the follow-up time. Based on previous studies, the duration of follow-up should be evaluated subordinately, as previous studies could show that the outcome of the TPF is stable in the medium-term period of up to ten years after trauma [22, 23].

The outcome between 3D group and 2D group are comparable with respect to Lysholm, KOOS Symptoms, KOOS Pain and KOOS ADL. The sub scores of KOOS Sport/Rec showed significantly better results in 3D group and a trend to higher KOOS Quality of Life scores ($p = 0.059$). These subscales reflect complaints of the knee joint under higher loads, stress and more demanding movements. It is therefore conceivable that the optimized joint reduction after 3D imaging is not of high relevance for everyday activities and pain, but is particularly evident under physical stress. In the KOOS subscales for everyday movements, symptoms, and pain no significant differences could be shown between the both groups.

The majority of fractures in this study were severe joint injuries, B3 and C3 fractures according to AO/OTA. This explains lower scores compared to other studies [22, 24]. However, Jansen et al. who included patients with similar injury severity (C1-3 fractures according to AO/OTA) reported comparable results to our study (Lysholm 66.2; KOOS overall 67.8) [25]. Additionally, better results can be expected in patients with type B1, B2, and C1 fractures compared to B3 and C3 fractures [22, 26, 27].

A major advantage of this study should be not only to record the outcome of patients operated with 3D imaging in a minimum follow-up of 12 months, but also the comparison with patients operated without this technique. We decided to use matching as a method of

Table 2 Comparison of 3D study group and matched 2D control group: Age, Gender, Trauma mechanism, ASA- Score, AO/OTA, Operation time, intraoperative Revision

Case	Age	Gender	Trauma mechanism	AO/OTA	ASA	Operation time (min)	Intraoperative Revision	
							YES/ NO	Type of Revision
1	65	f	fall	C3	2	151	YES	Joint step > 2mm, renewed reposition
^m 1	60	f	fall	C3	2	121		
2	60	m	accident at work (machine)	C3	2	214	NO	Anterior fragment <2mm, no consequent
^m 2	63	m	fall	C3	2	167		
3	43	m	motorcycle	C3	1	151	NO	-
^m 3	42	m	accident at work	C3	1	142		
4	60	m	fall down stairs	B3	2	86	NO	-
^m 4	58	m	skiing	B3	2	115		
5	61	f	biking	C1	1	191	NO	-
^m 5	56	m	biking	C1	1	111		
6	52	f	biking	B3	2	94	NO	-
^m 6	47	f	biking	B3	2	71		
7	37	m	biking	C3	1	184	YES	Joint step >2mm, cortical bone chip, reposition
^m 7	34	m	fall down from ladder	C3	1	243		
8	68	f	fall	C2	2	131	YES	Anterior joint step 3-4mm, renewed reposition
^m 8	66	f	fall	C2	2	77		
9	65	f	skiing	B3	2	64	NO	-
^m 9	70	f	fall	B3	2	86		
10	51	f	skiing	B3	1	47	NO	-
^m 10	54	f	fall	B3	2	119		
11	36	f	skiing	C3	1	132	NO	-
^m 11	37	m	biking	C3	2	135		
12	56	f	biking	B3	1	134	YES	Joint step >2mm lateral, renewed reposition,
^m 12	54	f	motorcycle	B3	2	76		
13	23	m	motorcycle	B3	2	155	YES	Negative dorsal slope, joint step >2mm, reposition
^m 13	27	m	fall	B3	1	141		
14	85	f	fall	B3	2	81	NO	Anterolateral joint step < 2mm, no consequence
^m 14	80	f	fall	B3	2	75		
15	38	f	biking	C3	1	95	NO	-
^m 15	43	f	biking	C3	2	104		
16	29	f	biking	B3	1	90	NO	Joint step < 2mm, no consequence
^m 16	33	f	fall	B3	1	77		
17	30	m	biking	C1	1	143	NO	Lateral joint step < 2mm, no consequence
^m 17	26	f	traffic accident	C1	2	170		
18	59	F	skiing	B3	1	159	YES	Joint step > 2mm, renewed reposition
^m 18	57	f	biking	B3	1	63		

ASA American Society of Anesthesiologists- Score; ^m Matching partner from 2D control group

Table 3 Comparison of 3D study group and matched 2D control group: Follow UP time, Outcome parameters by Lysholm and KOOS sub scores, Postoperative revision

Case	Follow-up (months)	Lysholm	Symptoms	Pain	ADL	Sport/Rec	QOL	Postoperative Revision/ time after prim. surgery
1	40	99	96.4	97.2	100.0	85.0	100.0	-
^m 1	42	99	85.7	94.4	97.1	55.0	75.0	-
2	36	48	75.0	66.7	64.7	65.0	43.8	SSI, 1 month: spacer, 6 months: unicondylar KTEP
^m 2	38	69	96.4	88.9	88.2	0.0	75.0	Screw intraarticular without operative consequence
3	34	69	46.4	86.1	85.3	60.0	50.0	-
^m 3	35	58	50.0	58.3	72.1	10.0	18.8	14 months: Arthrolysis and material removal / intraop. screw intraarticular
4	31	87	100.0	80.6	82.4	60.0	31.3	-
^m 4	31	86	100.0	80.6	97.1	90.0	62.5	17 months: Arthrolysis and material removal
5	36	99	92.9	100.0	100.0	85.0	87.5	5 months: superficial wound revision, 19 months: arthrolysis, material removal
^m 5	32	57	64.3	69.4	55.9	0.0	25.0	17 months: Arthrolysis and material removal
6	32	37	57.1	52.8	64.7	25.0	31.3	7 months: arthrolysis, material removal due to pain
^m 6	97	24	14.3	2.8	10.3	0.0	0.0	15 months: Arthrolysis and material removal// intraop. joint step > 2mm
7	25	34	39.3	33.3	41.2	15.0	18.8	-
^m 7	24	46	46.4	66.7	67.7	0.0	25.0	13 months: Arthrolysis and material removal// intraop. joint step > 2mm
8	17	79	100.0	100.0	100.0	55.0	100.0	-
^m 8	133	33	64.3	58.3	60.3	0.0	18.3	Valgus gonarthrosis: after 20 months: Bicondylar KTEP
9	15	90	96.4	97.2	100.0	100.0	93.8	-
^m 9	25	73	96.4	75.0	86.8	0.0	31.3	Postop CT: screw too long without operative consequence
10	15	71	71.4	97.2	98.5	80.0	43.8	-
^m 10	130	60	53.6	83.3	77.9	90.0	6.3	Eight times revision: osteomyelitis/ infect; after 20 months hemiprothesis
11	12	28	28.1	63.9	63.2	5.0	25.0	posttraumatic valgus malalignment, varus osteotomy after 11 months
^m 11	82	74	92.9	86.1	95.6	45.0	12.5	posttraumatic valgus malalignment
12	12	36	50.0	61.1	77.9	0.0	31.3	9 months: valgus deformity, loss of reduction-> reposition
^m 12	39	31	28.6	36.1	42.7	20.0	31.3	17 months: Arthrolysis and material removal (valgus deformity)
13	12	88	67.9	83.3	94.1	95.0	81.3	-
^m 13	42	64	82.1	83.3	92.7	0.0	37.5	-
14	12	95	100.0	100.0	95.6	95.0	100.0	-
^m 14	35	100	100.0	100.0	100.0	40.0	100.0	-
15	12	62	71.4	63.9	66.2	45.0	62.5	-

Table 3 Comparison of 3D study group and matched 2D control group: Follow UP time, Outcome parameters by Lysholm and KOOS sub scores, Postoperative revision (*Continued*)

Case	Follow-up (months)	Lysholm	Symptoms	Pain	ADL	Sport/Rec	QOL	Postoperative Revision/ time after prim. surgery
^m 15	37	69	78.6	86.1	98.5	25.0	37.5	1 month: loss of reposition/ renewed reposition; 20 months: Arthrolysis and material removal
16	12	89	89.3	97.2	97.1	95.0	100.0	-
^m 16	32	55	50.0	75.0	89.7	40.0	40.0	21 months: Arthrolysis and material removal
17	12	17	14.3	30.6	44.1	0	18.8	-
^m 17	77	74	92.9	83.3	91.2	65.0	43.8	18 months: Arthrolysis and material removal
18	12	79	60.7	77.8	85.3	50.0	50.0	-
^m 18	69	44	60.7	63.9	88.2	0.0	50.0	-

Symptoms KOOS Symptoms, Pain KOOS Pain, ADL KOOS Function in daily living, Sport/Rec KOOS Function in sport and recreation, QOL KOOS Quality of Life; SSI Surgical site infection, ^m Matching partner from 2D control group; *intraop.* intraoperative

comparison, as only the image intensifier was modified throughout the course of time. For this, we had to accept the limitation of the longer follow-up of the control group, with the advantage of no further influencing factors.

Main matching criterion was the same fracture morphology (B1, B2, B3, C1, C2, C3) according to AO/OTA, followed by the age \pm 5 years. These criteria were always met. In order to show the bone metabolism and the patient's state of health, the importance of gender and the ASA score followed.

The rate of intraoperative revisions due to the used 3D scan is with 33.3% higher than in other studies (17.2 \pm 6.1%; range 11.7- 26.5% [14–18, 27]). The reasons for this are different revision criteria.

Based on the discussed parameters for joint gap with values between 1-4 mm, we decided on a revision, if the joint gap is more than 2 mm [6, 8, 9, 28–31]. An intra-articular or overlong screw certainly causes symptoms. The most common fractures requiring intraoperative revision were B3 and C3 fractures (71.4 %), which can be explained by the severely destroyed, multifragmentary articular surface and the split depression component.

For this 2D fluoroscopy has its limitations due to the concave anatomical joint conditions of the proximal tibia, with the result that joint steps < 5 mm cannot be adequately detected with fluoroscopy [11, 32, 33]. Conventional fluoroscopy is highly dependent on the set plane, while 3D imaging provides image information regardless of the position of the device [34, 35].

Due to the high rate of intraoperative revisions, our secondary hypothesis was that the rate of relevant postoperative revisions can be reduced by using 3D scan. Unfortunately, this cannot be confirmed. Both the study group and the control group show a postoperative revision rate of 27.8%.

In further analysis of the 2D group, postoperative CT was performed in some patients. In two cases joint steps of more than 2mm, in one case an intraarticular screw and in one case a too long screw were detected but accepted without revision (22,2%). The estimated number of unreported cases may be higher. The detected 4 patients with revision criteria are the reason why there are no higher revision rates in the 2D group, but could probably be the reason for the poorer functional results of the 2D group in KOOS Sport/Rec and QOL.

There were no significant group differences between the 3D and 2D groups except the mentioned longer follow-up time of the control group. Nevertheless, a prolonged surgery time of approximately 12 minutes on average was observed for the study group, which was due to the use of intraoperative 3D imaging and performed intraoperative revisions in 33.3% of cases. Beisemann et al. also describe longer operation time by using intraoperative 3D scan (5 min) [16]. In recent years, numerous studies have been published on the use of intraoperative 3D imaging of joint injuries (proximal humerus, distal radius, proximal and distal tibia fractures). In most cases, acceptable image quality was shown for the assessment of an insufficient joint level or a material defect with high revision rates [15, 16, 36–39]. Overall, the technology of intraoperative 3D imaging remains reserved for the use of large clinics due to high acquisition costs.

Limitations

Due to the group comparison by matching according to the specific criteria, small differences in the ASA score (five cases), one for gender and one for both criteria together had to be tolerated. In this way a matching in the ratio one to one was possible between the groups. By softening the matching parameters, a matching ratio of 1:2 between the intervention group and the control

Table 4 Parameters of interest for comparison of the 3D and 2D groups

Parameter	3D group	2D group	p-Value
Age	51.0± 16.4	50.3± 15.2	0.82
Gender	12f : 6m	11f : 7m	0.79
Fracture AO/OTA	9x B3, 2x C1, 1x C2, 6x C3	9x B3, 2x C1, 1x C2, 6x C3	1.00
ASA	1.44± 0.51	1.67± 0.49	0.27
Operation time (min)	127.9± 45.9	116.3± 45.7	0.28
Follow - up (months)	20.9± 10.7	55.5± 34.7	<i>P</i> < 0.001
Lysholm	67.4± 26.8	62.0± 21.4	0.39
KOOS overall	72.6± 23.5	65.8± 21.6	0.31
Symptoms	69.8± 26.6	69.8± 25.8	0.94
Pain	77.2± 22.6	71.8± 23.0	0.44
ADL	81.1± 19.5	78.4± 23.7	0.70
Sport/Rec	54.7± 35.0	26.7± 31.6	0.014*
QOL	58.0± 31.6	38.2± 26.1	0.059
Intraoperative revision rate	33.3% re-positioning of the screws and/or re-reduction	Not registered	-
Postoperative revision rate	27.8% revision (n=5): - wound revision - SSI, spacer, unicondylar TEP - varus osteotomy due to valgus alignment - renewed reposition - early material removal	27.8% revision (n=5): - 1x screw intraarticular, material removal - 2x loss of reposition/ renewed reposition - bicondylar KTEP - SSI/ unicondylar KTEP	1.00
Postoperative revisions due to intraarticular material position or joint step of ≥ 2mm	11.1% (n=2): - varus osteotomy due to valgus malalignment - 1x loss of reposition/ renewed reposition	22.2% (n=4): - 1x screw intraarticular, material removal - 2x loss of reposition/ renewed reposition - 1x loss of reposition/ bicondylar KTEP	0.58
Material removal (months)	1x arthrolysis and material removal after 19 months	10x arthrolysis and material removal after 16.9± 2.6 months	-
Special details without revision	-	2x Postoperative recognized joint step > 2mm 1x postoperative recognized intraarticular screw 1x postoperative recognized too long screw	-

SSI surgical site infection; *Symptoms* KOOS Symptoms; *Pain* KOOS Pain; *ADL* KOOS Function in daily living; *Sport/Rec* KOOS Function in sport and recreation; *QOL* KOOS Quality of Life; *ASA* American Society of Anesthesiologists- Score

* significant

group could certainly have been achieved. However, this was not desired. Also, the follow-up time varied between the 3D group and the 2D group. However, based on existing publications of the medium and longer follow-up time, the time of determination of the functional outcome should not have much influence, since it is below 5 years in both groups [22, 23]. Due to the retrospective study design, we had to rely on the data available in medical records (e.g. operation protocols). Unfortunately, not all intraoperative 3D scans were stored in the database, so that a later evaluation of the image quality of the 3D scan was not possible. It was necessary to rely

on the documentation. Additionally, the 3D study group was compared with a historical control group. Nevertheless, the factors to be monitored, such as the implants, the surgical approach, general anesthesia and the postoperative physiotherapeutic regime (with 20 kg of partial weight-bearing for 6 weeks under free range of motion), did not change during this period. Tranexamic acid was not used in any of the groups. However, a certain selection bias that developed over time cannot be excluded with certainty. Due to the retrospective character, the decision for revision was made by the responsible surgeon. A possible learning curve in the supply of a 3D

scan must remain suspected, which might hide additional advantages of the 3D scan. A further deficiency is that the patients of the study group and the control group were treated by different surgeons.

Conclusion

The intraoperative 3D imaging had in relevant number an immediately intraoperative consequence with revision. An influence of intraoperative 3D imaging on the midterm postoperative outcome could be shown in relation to better KOOS Sport/Rec.

Abbreviations

ASA: American Society of Anesthesiologists; AO/OTA: Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese/Orthopaedic Trauma Association; CT: Computer tomography; KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score; TPF: Tibial plateau fractures

Acknowledgements

None.

Authors' contributions

F.S. and R.H. were responsible for data control, study supervision, and writing of the manuscript. J.T., J.F. and P.H. performed the data interpretation. U.S. performed formal analysis, validation, and visualization of the study data, as well as further review and revision of the manuscript. P.H., U.S., and F.S. were responsible for the development of the study design, and project coordination. In addition, J.T. and J.F. undertook the manuscript review. All authors have critically revised the manuscript and agreed to the final version.

Funding

No benefits or funding have been received or will be received from a commercial party, related directly or indirectly, to the subject of this article. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Availability of data and materials

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

All procedures performed in human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study. Ethical Committee at the Medical Faculty, Leipzig University; Number of ethical approval: AZ 488 /20-ek

Consent for publication

Informed consent was obtained from all patients.

Competing interests

The authors declare no conflict of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Received: 19 January 2021 Accepted: 14 April 2021

Published online: 05 May 2021

References

- Tscherne H, Lobenhoffer P. Tibial plateau fractures. Management and expected results. *Clin Orthop Related Res*. 1993;87–100.
- Rademakers M, Kerckhoffs G, Siersevelt I, Raaymakers E, Marti R. Operative treatment of 109 tibial plateau fractures: five-to 27-year follow-up results. *J Orthopaedic Trauma*. 2007;21(1):5–10. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31802c5b51>.
- Elseo R, Larsen P, Nielsen NPH, Swenne J, Rasmussen S, Ostgaard SE. Population-Based Epidemiology of Tibial Plateau Fractures. *Orthopedics*. 2015;38(9):e780–6. <https://doi.org/10.3928/01477447-20150902-55>.
- Manidakis N, Dosani A, Dimitriou R, Stengel D, Matthews S, Giannoudis P. Tibial plateau fractures: functional outcome and incidence of osteoarthritis in 125 cases. *International orthopaedics*. 2010;34(4):565–70. <https://doi.org/10.1007/s00264-009-0790-5>.
- McNamara IR, Smith TO, Shepherd KL, Clark AB, Nielsen DM, Donell S, et al. Surgical fixation methods for tibial plateau fractures. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2015 [cited 2021 Mar 14]; Available from: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD009679.pub2/full>
- Singleton N, Sahakian V, Muir D. Outcome after tibial plateau fracture: how important is restoration of articular congruity? *Journal of orthopaedic trauma*. 2017;31(3):158–63. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000762>.
- Wasserstein D, Henry P, Paterson JM, Kreder HJ, Jenkinson R. Risk of total knee arthroplasty after operatively treated tibial plateau fracture: a matched-population-based cohort study. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(2):144–50. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01691>.
- Moore TM. Fracture–dislocation of the knee. *Clin Orthop Related Res*. 1981: 128–40.
- Honkonen SE. Indications for surgical treatment of tibial condyle fractures. *Clin Orthop Related Res*. 1994:199–205.
- Hashemi J, Chandrashekar N, Gill B, Beynonn BD, Slaughterbeck JR, Schutt RC Jr, et al. The geometry of the tibial plateau and its influence on the biomechanics of the tibiofemoral joint. *The Journal of Bone and Joint Surgery American volume*. 2008;90(12):2724–34. <https://doi.org/10.2106/JBJS.G.01358>.
- Kotsianos D, Rock C, Wirth S, Linsenmaier U, Brandl R, Fischer T, et al. Detection of tibial condylar fractures using 3D imaging with a mobile image amplifier (Siemens ISO-C-3D): Comparison with plain films and spiral CT. *Rofo*. 2002;174(1):82–7. <https://doi.org/10.1055/s-2002-19549>.
- Khoury A, Siewerdsen J, Whyne C, Daly M, Kreder H, Moseley D, et al. Intraoperative cone-beam CT for image-guided tibial plateau fracture reduction. *Computer Aided Surgery*. 2007;12(4):195–207. <https://doi.org/10.3109/10929080701526872>.
- Rock C, Kotsianos D, Linsenmaier U, Fischer T, Brandl R, Vill F, et al. Studies on image quality, high contrast resolution and dose for the axial skeleton and limbs with a new, dedicated CT system (ISO-C-3 D). *Rofo*. 2002;174(02): 170–6. <https://doi.org/10.1055/s-2002-20107>.
- Von Recum J, Wendl K, Vock B, Grütznert P, Franke J. Intraoperative 3D C-arm imaging. *State of the art. Der Unfallchirurg*. 2012;115:196.
- Atesok K, Finkelstein J, Khoury A, Peyser A, Weil Y, Liebergall M, et al. The use of intraoperative three-dimensional imaging (ISO-C-3D) in fixation of intraarticular fractures. *Injury*. 2007;38(10):1163–9. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2007.06.014>.
- Beisemann N, Keil H, Swartman B, Schnetzke M, Franke J, Grütznert PA, et al. Intraoperative 3D imaging leads to substantial revision rate in management of tibial plateau fractures in 559 cases. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2019;14(1):236. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1286-7>.
- Kendoff D, Citak M, Gardner MJ, Stübiger T, Krettek C, Hüfner T. Intraoperative 3D imaging: value and consequences in 248 cases. *J Trauma*. 2009;66:232–8.
- Kendoff D, Pearle A, Hüfner T, Citak M, Gössling T, Krettek C. First clinical results and consequences of intraoperative three-dimensional imaging at tibial plateau fractures. *J Trauma*. 2007;63(1):239–44. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31804a8007>.
- Kessler S, Lang S, Puhl W, Stöve J. Der knee injury and osteoarthritis outcome score—ein funktionsfragebogen zur outcome-messung in der knieendoprothetik. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*. 2003; 141(03):277–82. <https://doi.org/10.1055/s-2003-40083>.
- Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *The American journal of sports medicine*. 1982;10(3):150–4. <https://doi.org/10.1177/036354658201000306>.
- Roos EM, Roos HP, Lohmander LS, Ekdahl C, Beynonn BD. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)—development of a self-administered outcome measure. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1998; 28(2):88–96. <https://doi.org/10.2519/jospt.1998.28.2.88>.
- Loibl M, Bäumlein M, Massen F, Geurgieuv B, Glaab R, Perren T, et al. Sports activity after surgical treatment of intra-articular tibial plateau fractures in skiers. *The American journal of sports medicine*. 2013;41(6): 1340–7. <https://doi.org/10.1177/0363546513489524>.

23. Bäumlein M, Hanke A, Gueorguiev B, Nerlich M, Liodakis E, Perren T, et al. Long-term outcome after surgical treatment of intra-articular tibial plateau fractures in skiers. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2019;139(7): 951–9. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03150-6>.
24. Kraus TM, Martetschläger F, Müller D, Braun KF, Ahrens P, Siebenlist S, et al. Return to sports activity after tibial plateau fractures: 89 cases with minimum 24-month follow-up. *The American journal of sports medicine*. 2012;40(12):2845–52. <https://doi.org/10.1177/0363546512462564>.
25. Jansen H, Frey SP, Dohrt S, Fehske K, Meffert RH. Medium-term results after complex intra-articular fractures of the tibial plateau. *Journal of Orthopaedic Science*. 2013;18(4):569–77. <https://doi.org/10.1007/s00776-013-0404-3>.
26. Schatzker J, Mcbroom R, Bruce D. The tibial plateau fracture: the Toronto experience 1968–1975. *Clin Orthop Related Res*. 1979;94–104.
27. Waddell JP, Johnston D, Neidre A. Fractures of the tibial plateau: a review of ninety-five patients and comparison of treatment methods. *J Trauma*. 1981; 21(5):376–81. <https://doi.org/10.1097/00005373-198105000-00007>.
28. Buckley R, Tough S, McCormack R, Pate G, Leighton R, Petrie D, et al. Operative compared with nonoperative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: a prospective, randomized, controlled multicenter trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84(10):1733–44. <https://doi.org/10.2106/00004623-200210000-00001>.
29. Giannoudis P, Tzioupis C, Papatheanassopoulos A, Obakponowwe O, Roberts C. Articular step-off and risk of post-traumatic osteoarthritis. *Evidence today. Injury*. 2010;41(10):986–95. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.08.003>.
30. Parkkinen M, Madanat R, Mustonen A, Koskinen S, Paavola M, Lindahl J. Factors predicting the development of early osteoarthritis following lateral tibial plateau fractures: mid-term clinical and radiographic outcomes of 73 operatively treated patients. *Scandinavian J Surg*. 2014;103(4):256–62. <https://doi.org/10.1177/1457496914520854>.
31. Thordarson DB, Motamed S, Hedman T, Ebrahimzadeh E, Bakshian S. The effect of fibular malreduction on contact pressures in an ankle fracture malunion model. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79(12):1809–15. <https://doi.org/10.2106/00004623-199712000-00006>.
32. Ebraheim N, Sabry FF, Mehalik JN. Intraoperative imaging of the tibial plafond fracture: a potential pitfall. *Foot & ankle international*. 2000;21(1):67–72. <https://doi.org/10.1177/107110070002100112>.
33. Gössling T, Klingler K, Geerling J, Shin H, Fehr M, Krettek C, et al. Improved intra-operative reduction control using a three-dimensional mobile image intensifier—a proximal tibia cadaver study. *The Knee*. 2009;16(1):58–63. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2008.07.012>.
34. Meulenkamp B, Martin R, Desy NM, Duffy P, Korley R, Puloski S, et al. Incidence, risk factors, and location of articular malreductions of the tibial plateau. *Journal of orthopaedic trauma*. 2017;31(3):146–50. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000735>.
35. Haller JM, O'Toole R, Graves M, Barei D, Gardner M, Kubiak E, et al. How much articular displacement can be detected using fluoroscopy for tibial plateau fractures? *Injury*. 2015;46(11):2243–7. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.06.043>.
36. Hammerle D, Osterhoff G, Allemann F, Werner CML. Comparison of intraoperative 2D vs. 3D imaging in open reduction and fixation of distal radius fractures. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2018:1–7.
37. Theopold J, Weihs K, Marquaß B, Josten C, Hepp P. Detection of primary screw perforation in locking plate osteosynthesis of proximal humerus fracture by intra-operative 3D fluoroscopy. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2017;137(11):1491–8. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2763-2>.
38. Theopold J, Pieroh P, Henkelmann R, Osterhoff G, Hepp P. Real-time intraoperative 3D image intensifier-based navigation in reversed shoulder arthroplasty- analyses of image quality. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019; 20(1):262. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2657-2>.
39. Hepp P, Theopold J, Jarvers J, Marquaß B, Josten C. Multiplanar reconstruction with mobile 3D image intensifier. *Surgical treatment of proximal humerus fractures. Der Unfallchirurg*. 2014;117(5):437–44. <https://doi.org/10.1007/s00113-013-2367-4>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



3. Zusammenfassung der Arbeit

Publikationspromotion zur Erlangung des akademischen Grades: Dr. med.

Intraoperative 3D imaging in intraarticular tibial plateau fractures - Does it help to improve the patients' outcomes?

eingereicht von Firas Souleiman

angefertigt an der Universität Leipzig, Medizinische Fakultät,
Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie

betreut von

Prof. Dr. med. habil. Pierre Hepp, Prof. Dr. med. Ulrich Spiegl, PD Dr. med. Jan Dirk Theopold
Juni 2021

In der vorliegenden Arbeit wird eine retrospektive Fall- Kontroll- Studie präsentiert, welche erstmalig das kurz- bis mittelfristige Outcome komplexer gelenkbeteiligender Tibiakopffrakturen unter Hilfestellung eines additiven intraoperativen 3D Scans im Vergleich zur konventionellen Operation mit einem zweidimensionalen Bildverstärker (Fluoroskopie) untersucht.

Hintergrund dieser Arbeit ist, dass komplexe Tibiakopffrakturen eine schwerwiegende Knieverletzung darstellen, welche oft in posttraumatischer Gonarthrose münden. Mit den konventionellen OP- Methoden zeigen sich in der Literatur postoperative Arthroseraten von bis zu 44% und Revisionsraten zwischen 25,3 bis 45,0%.^{4,13} Weiterentwickelte intraoperative bildgebende Verfahren könnten hier möglicherweise zu einem verbesserten klinischen Ergebnis führen. Am Beispiel des intraoperativen 3D- Scans (Ziehm Vision RFD 3D, Fa. Ziehm, Nürnberg, Germany) wurde dies bei Patienten mit einer B3, C1, C2 oder C3-proximalen Tibiafraktur entsprechend der AO- Klassifikation untersucht.

Im Zeitraum von Dezember 2015 bis Dezember 2018 wurden am Universitätsklinikum Leipzig, in der Abteilung Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie (überregionales Level 1 Traumazentrum), 22 Patienten mit einer entsprechenden Fraktur unter Einsatz eines

intraoperativen 3D- Scans operativ versorgt (3D Gruppe). Die Patienten wurden mit einem postoperativ minimalen zeitlichen Abstand von 12 Monaten radiologisch und mit den Lysholm- und KOOS- Scores nachuntersucht. Entsprechend der Einschlusskriterien konnten 18 Patienten vollständig nachuntersucht werden. Das mittlere Alter der Patienten lag zum Traumazeitpunkt bei $51,0 \pm 16,4$ Jahren (23–85 Jahre). Entsprechend der AO/OTA- Klassifikation zeigten sich 9x B3, 2x C1, 1x C2 und 6x C3- Frakturen. Der mittlere ASA- Score lag bei $1,44 \pm 0,51$. Die mittlere Operationszeit wurde mit 128 ± 46 min erfasst. Der mittlere Nachuntersuchungszeitpunkt lag bei $20,9 \pm 10,7$ Monaten mit den detaillierten Outcome-Scores siehe Tabelle 3 des Manuskripts.

In einem definierten Matching- Prozess konnten nachuntersuchte Patienten aus einem historischen Patientenkollektiv, welche in den Jahren 2005 bis 2014 operiert wurden, im Verhältnis 1:1 verglichen werden (2D Gruppe). In diesem Zeitraum stand der intraoperative 3D- Scan am Universitätsklinikum Leipzig noch nicht zur Verfügung. Die Patienten der 2D- Gruppe wurden im Rahmen einer multizentrischen Studie zu Tibiakopffrakturen nachuntersucht, sodass die Outcomedaten zur Verfügung standen und in diese Studie aufgearbeitet einfließen.⁵³

Aufgrund des Matching- Prozesses sind die Patienten beider Gruppen vergleichbar hinsichtlich Alter, Geschlecht, Frakturmorphologie und dem allgemeinem Gesundheitszustand (ASA- Score). Lediglich der Nachuntersuchungszeitpunkt beider Gruppen variiert signifikant zwischen beiden Gruppen ($p < 0,001$). Jedoch konnten Studien zeigen, dass Patienten nach operativ versorgten Tibiakopffrakturen im mittelfristigen Nachbeobachtungszeitraum hinsichtlich ihres Outcomes stabil bleiben.^{54,55} Aus diesem Grund ist ein Vergleich der Outcomeparameter beider Gruppen zulässig.

Die präsentierte Studie zeigt, dass aufgrund des Einsatzes des intraoperativen 3D- Scans eine intraoperative Revision in beachtlicher Zahl (33,3%) durchgeführt wurde, obwohl die Materiallage und Gelenkstufe zuvor fluoroskopisch akzeptiert wurde. Diese intraoperative Revisionsrate deckt sich mit bestehender Literatur (Mittel $17,2 \pm 6,1\%$; Intervall 11,7-26,5%).^{26–30}

Durch die intraoperative Revision konnten die klinischen Outcome- Ergebnisse möglicherweise verbessert werden. Sowohl der Lysholm-, als auch der KOOS- Score zeigen für die 3D- Gruppe bessere Ergebnisse. Der KOOS Sport/Rec ist dabei trotz einer geringen Stichprobengröße signifikant besser ($p = 0,014$) und der KOOS QDL zeigt mathematisch eine Tendenz zugunsten des Einsatzes des 3D- Scan ($p = 0,059$). Die postoperative Revisionsrate konnte durch den 3D-Scan- Einsatz entgegen der sekundären Hypothese nicht gesenkt werden.

Je Gruppe zeigte sich eine postoperative Revisionsrate von 27,8%. Eine höhere postoperative Revisionsrate der 2D- Gruppe konnte möglicherweise nicht erkannt werden, da deutlich mehr Materialentfernungen und Arthrolysen durchgeführt wurden, als in der 3D- Gruppe (10:1). Diese Materialentfernungen sind nach 16.9 ± 2.6 Monaten erfolgt. Da zum Zeitpunkt der Studie einige Patienten der 3D- Gruppe diesen Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch nicht überschritten hatten, ist ein abschließender Vergleich nicht zulässig. Entsprechende Kontroll-CT- Bildgebungen, welche die Materiallage vor Entfernung zeigten, wurden aufgrund der zusätzlichen Strahlenbelastung bei nachgewiesener Frakturkonsolidierung im Röntgen unterlassen.

Die Operationsdauer der 3D Gruppe zeigte sich im Mittel um ungefähr 12 Minuten im Vergleich zur 2D Gruppe verlängert ($p=0,28$). Eine erhöhte postoperative Infektionsrate ergab sich aus der verlängerten Operations-Dauer nicht. Je Gruppe zeigte sich im Bereich des einliegenden Osteosynthesematerials eine postoperative Infektion.

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns bestehen in der präsentierten Arbeit einige Limitationen. Die Informationen bezüglich operativer Revisionen, OP- Dauer, verwendeter Implantate, Bildqualität und besonderer operativer Umstände wurde aus den medizinischen Datenbanken und nicht prospektiv erfasst. Der Nachuntersuchungszeitraum ist zwischen beiden Gruppen signifikant unterschiedlich. Ein Selektionsbias zwischen 3D- und 2D- Gruppe kann trotz gleicher Implantate, Operateure und postoperativer Standards nicht sicher ausgeschlossen werden. Aus diesen Gründen wären weitere prospektive Studien wünschenswert.

Zusammenfassend konnte in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass der Einsatz eines intraoperativen 3D- Scan bei der operativen Versorgung der komplexen gelenkbeteiligten Tibiafraktur das mittelfristige Outcome hinsichtlich des KOOS Sport/Rec verbessert ($p=0,014$). Ebenso konnte gezeigt werden, dass der 3D- Scan zu einer relevanten Anzahl intraoperativer Revisionen (33,3%) führte. Die Rate an postoperativen Revisionen konnte dadurch nicht nachweislich gesenkt werden.

Ausblick

Der Einsatz intraoperativer Fraktur darstellender Verfahren kann wie am Beispiel des 3D-Scans gezeigt, einen positiven Einfluss auf das klinische Outcome von gelenkbeteiligten Tibiakopffrakturen haben. Weitere prospektive Studien mit größeren Patientenzahlen sind erforderlich, um die Vorteile detaillierter aufzuzeigen. Mit stetiger Optimierung der Bildqualität sowie intraoperativer Abläufe könnten bestehende Kritikpunkte wie Bildartefakte oder der intraoperative Zeitaufwand in Zukunft beseitigt werden. Auch eine weitere Minimierung der Strahlenbelastung scheint je nach Fragestellung in Zukunft möglich. Durch die Lieferung von dreidimensionalen Bilddaten könnte der intraoperative 3D-Scan sowohl die Umsetzung als auch den Einsatz dreidimensionaler navigierter Frakturpositionen ermöglichen. Auf diese Weise könnten Gelenkstufen weiter minimiert und Arthroseraten gesenkt werden. Fraktur darstellende Verfahren könnten so eine zentrale Stellung bei der Versorgung der gelenkbeteiligten Tibiakopffraktur einnehmen, dem Operateur eine höhere Sicherheit bieten und die Patientenzufriedenheit weiter steigern.

4. Literaturverzeichnis

1. Tscherne, H. & Lobenhoffer, P. Tibial plateau fractures. Management and expected results. *Clinical orthopaedics and related research* 87–100 (1993).
2. Rademakers, M., Kerkhoffs, G., Sierevelt, I., Raaymakers, E. & Marti, R. Operative treatment of 109 tibial plateau fractures: five-to 27-year follow-up results. *Journal of orthopaedic trauma* **21**, 5–10 (2007).
3. Elsoe, R. *et al.* Population-Based Epidemiology of Tibial Plateau Fractures. *Orthopedics* **38**, e780-786 (2015).
4. McNamara, I. R. *et al.* Surgical fixation methods for tibial plateau fractures. *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2015) doi:10.1002/14651858.CD009679.pub2.
5. Moore, T. M., Patzakis, M. J. & Harvey, J. P. Tibial plateau fractures: definition, demographics, treatment rationale, and long-term results of closed traction management or operative reduction. *J Orthop Trauma* **1**, 97–119 (1987).
6. Meinberg, E. G., Agel, J., Roberts, C. S., Karam, M. D. & Kellam, J. F. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *J Orthop Trauma* **32 Suppl 1**, S1–S170 (2018).
7. Schatzker, J., Mcbroom, R. & Bruce, D. The tibial plateau fracture: the Toronto experience 1968–1975. *Clinical Orthopaedics and Related Research*® 94–104 (1979).
8. Lobenhoffer P, Galla M. Tibiakopffrakturen. In: Kohn D [Hrsg.]. *Orthopädie und orthopädische Chirurgie – Knie*. Stuttgart: Thieme; 2004.
9. Moore, T. M. Fracture--dislocation of the knee. *Clinical orthopaedics and related research* 128–140 (1981).
10. Krause, M. *et al.* Intra-articular tibial plateau fracture characteristics according to the ‘Ten segment classification’. *Injury* **47**, 2551–2557 (2016).

11. Soni, A., Gupta, R., Gupta, S., Kansay, R. & Kapoor, L. Mechanism of injury based classification of proximal tibia fractures. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma* **10**, 785 (2019).
12. Iliopoulos, E. & Galanis, N. Physiotherapy after tibial plateau fracture fixation: A systematic review of the literature. *SAGE Open Med* **8**, 2050312120965316 (2020).
13. Manidakis, N. *et al.* Tibial plateau fractures: functional outcome and incidence of osteoarthritis in 125 cases. *International orthopaedics* **34**, 565–570 (2010).
14. Singleton, N., Sahakian, V. & Muir, D. Outcome after tibial plateau fracture: how important is restoration of articular congruity? *Journal of orthopaedic trauma* **31**, 158–163 (2017).
15. Wasserstein, D., Henry, P., Paterson, J. M., Kreder, H. J. & Jenkinson, R. Risk of total knee arthroplasty after operatively treated tibial plateau fracture: a matched-population-based cohort study. *J Bone Joint Surg Am* **96**, 144–150 (2014).
16. Honkonen, S. E. Indications for surgical treatment of tibial condyle fractures. *Clinical orthopaedics and related research* 199–205 (1994).
17. Giannoudis, P., Tzioupis, C., Papathanassopoulos, A., Obakponovwe, O. & Roberts, C. Articular step-off and risk of post-traumatic osteoarthritis. Evidence today. *Injury* **41**, 986–995 (2010).
18. Parkkinen, M. *et al.* Factors predicting the development of early osteoarthritis following lateral tibial plateau fractures: mid-term clinical and radiographic outcomes of 73 operatively treated patients. *Scandinavian Journal of Surgery* **103**, 256–262 (2014).
19. Kumar, A. & Whittle, A. P. Treatment of complex (Schatzker Type VI) fractures of the tibial plateau with circular wire external fixation: retrospective case review. *J Orthop Trauma* **14**, 339–344 (2000).

20. Giannoudis, P. V. & Schneider, E. Principles of fixation of osteoporotic fractures. *J Bone Joint Surg Br* **88**, 1272–1278 (2006).
21. Perren, S. M. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg Br* **84**, 1093–1110 (2002).
22. Hashemi, J. *et al.* The geometry of the tibial plateau and its influence on the biomechanics of the tibiofemoral joint. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American volume.* **90**, 2724 (2008).
23. Kotsianos, D. *et al.* [Detection of tibial condylar fractures using 3D imaging with a mobile image amplifier (Siemens ISO-C-3D): Comparison with plain films and spiral CT]. *Rofo* **174**, 82–87 (2002).
24. Khoury, A. *et al.* Intraoperative cone-beam CT for image-guided tibial plateau fracture reduction. *Computer Aided Surgery* **12**, 195–207 (2007).
25. Rock, C. *et al.* [Studies on image quality, high contrast resolution and dose for the axial skeleton and limbs with a new, dedicated CT system (ISO-C-3 D)]. *Rofo* **174**, 170–176 (2002).
26. Von Recum, J., Wendl, K., Vock, B., Grützner, P. & Franke, J. Intraoperative 3D C-arm imaging. State of the art. *Der Unfallchirurg* **115**, 196 (2012).
27. Atesok, K. *et al.* The use of intraoperative three-dimensional imaging (ISO-C-3D) in fixation of intraarticular fractures. *Injury* **38**, 1163–1169 (2007).
28. Beisemann, N. *et al.* Intraoperative 3D imaging leads to substantial revision rate in management of tibial plateau fractures in 559 cases. *Journal of orthopaedic surgery and research* **14**, 236 (2019).

29. Kendoff, D. *et al.* Intraoperative 3D imaging: value and consequences in 248 cases. *J Trauma* **66**, 232–238 (2009).
30. Kendoff, D. *et al.* First clinical results and consequences of intraoperative three-dimensional imaging at tibial plateau fractures. *J Trauma* **63**, 239–244 (2007).
31. Krause, M., Preiss, A., Meenen, N. M., Madert, J. & Frosch, K.-H. ‘Fracturoscopy’ is Superior to Fluoroscopy in the Articular Reconstruction of Complex Tibial Plateau Fractures-An Arthroscopy Assisted Fracture Reduction Technique. *J Orthop Trauma* **30**, 437–444 (2016).
32. Krause, M., Enderle, E., Akoto, R., Preiss, A. & Frosch, K.-H. Arthroskopisch gestützte frakturversorgung am Kniegelenk. *Arthroskopie* **27**, 291–298 (2014).
33. Fahrig, R. *et al.* Dose and image quality for a cone-beam C-arm CT system. *Med Phys* **33**, 4541–4550 (2006).
34. Jarry, G. *et al.* Characterization of scattered radiation in kV CBCT images using Monte Carlo simulations. *Med Phys* **33**, 4320–4329 (2006).
35. Schulze, R. *et al.* Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol* **40**, 265–273 (2011).
36. Stübig, T. *et al.* Comparative study of different intraoperative 3-D image intensifiers in orthopedic trauma care. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* **66**, 821–830 (2009).
37. Hepp, P., Theopold, J., Jarvers, J., Marquaß, B. & Josten, C. Multiplanar reconstruction with mobile 3D image intensifier. Surgical treatment of proximal humerus fractures. *Der Unfallchirurg* **117**, 437–444 (2014).
38. Schnetzke, M. *et al.* Intraoperative 3D imaging in the treatment of elbow fractures--a retrospective analysis of indications, intraoperative revision rates, and implications in 36 cases. *BMC Med Imaging* **16**, 24 (2016).

39. Carelsen, B., Haverlag, R., Ubbink, D. T., Luitse, J. S. K. & Goslings, J. C. Does intraoperative fluoroscopic 3D imaging provide extra information for fracture surgery? *Arch Orthop Trauma Surg* **128**, 1419–1424 (2008).
40. Hammerle, D., Osterhoff, G., Allemann, F. & Werner, C. M. L. Comparison of intraoperative 2D vs. 3D imaging in open reduction and fixation of distal radius fractures. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* 1–7 (2018).
41. Theopold, J., Weihs, K., Marquaß, B., Josten, C. & Hepp, P. Detection of primary screw perforation in locking plate osteosynthesis of proximal humerus fracture by intraoperative 3D fluoroscopy. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* **137**, 1491–1498 (2017).
42. Sass, F. A. *et al.* CD31+ Cells From Peripheral Blood Facilitate Bone Regeneration in Biologically Impaired Conditions Through Combined Effects on Immunomodulation and Angiogenesis. *J Bone Miner Res* **32**, 902–912 (2017).
43. Schlundt, C. *et al.* Individual Effector/Regulator T Cell Ratios Impact Bone Regeneration. *Front Immunol* **10**, 1954 (2019).
44. Kraus, T. M. *et al.* Duration of incapacity of work after tibial plateau fracture is affected by work intensity. *BMC Musculoskelet Disord* **19**, 281 (2018).
45. Henkelmann, R. *et al.* Impact of anti-gravity treadmill rehabilitation therapy on the clinical outcomes after fixation of lower limb fractures: A randomized clinical trial. *Clin Rehabil* **35**, 356–366 (2021).
46. Ernst, M. *et al.* Clinical feasibility of fracture healing assessment through continuous monitoring of implant load. *J Biomech* **116**, 110188 (2021).

47. Lysholm, J. & Gillquist, J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *The American journal of sports medicine* **10**, 150–154 (1982).
48. Briggs, K. K., Steadman, J. R., Hay, C. J. & Hines, S. L. Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees. *The American journal of sports medicine* **37**, 898–901 (2009).
49. Kessler, S., Lang, S., Puhl, W. & Stöve, J. Der knee injury and osteoarthritis outcome score-ein funktionsfragebogen zur outcome-messung in der knieendoprothetik. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* **141**, 277–282 (2003).
50. Roos, E. M. & Lohmander, L. S. The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health and quality of life outcomes* **1**, 64 (2003).
51. Quah, C. *et al.* The variability in Oxford hip and knee scores in the preoperative period: is there an ideal time to score? *Ann R Coll Surg Engl* **100**, 16–20 (2018).
52. Murray, D. W. *et al.* The use of the Oxford hip and knee scores. *J Bone Joint Surg Br* **89**, 1010–1014 (2007).
53. Henkelmann, R. *et al.* Risk factors for deep surgical site infection in patients with operatively treated tibial plateau fractures: A retrospective multicenter study. *J Orthop Trauma* (2020) doi:10.1097/BOT.0000000000002011.
54. Loibl, M. *et al.* Sports activity after surgical treatment of intra-articular tibial plateau fractures in skiers. *The American journal of sports medicine* **41**, 1340–1347 (2013).
55. Bäumlein, M. *et al.* Long-term outcome after surgical treatment of intra-articular tibial plateau fractures in skiers. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* **139**, 951–959 (2019).

5. Anlagen

5.1 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole

ADL - KOOS subscale: Function in daily living

AO/OTA - Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese/Orthopaedic Trauma Association

ASA - American Society of Anesthesiologists

CT - Computertomografie

intraop. - Intraoperative

ISS - Injury Severity Score

MRT - Magnetresonanztomografie

KOOS - Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

OP - Operation

QOL - KOOS subscale: Quality of Life

Sport/Rec - KOOS subscale: Function in sport and recreation

SSI - Surgical site infection

TPF - Tibial plateau fractures

5.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der AO- Klassifikation.⁶

Bildquelle: Lobenhoffer P, Galla M. Tibiakopffrakturen. In: Kohn D [Hrsg.]. Orthopädie und orthopädische Chirurgie – Knie. Stuttgart: Thieme; 2004⁸

Abbildung 2: Dargestellt ist die Zehn- Segment- Klassifikation¹⁰.

AMM antero-medio-medial, AMC antero-medio-central, PMM postero-medio-medial, PMC postero-medio-central, AC antero-central, PC postero-central, ALL antero-latero-lateral, ALC antero-latero-central, PLL posterolatero-lateral, PLC postero-latero-central

Abbildung 3: Beispiel eines 3D- Scan- Gerätes (Ziehm Vision RFD 3D, Fa. Ziehm, Nürnberg, Germany)

Bildquelle: Produktwebseite Ziehm Imaging

5.3 Erklärung über den wissenschaftlichen Beitrag des Promovenden zur Publikation.

Die von mir, Firas Souleiman, vorgelegte Dissertationsschrift basiert auf den Ergebnissen, die der folgenden Publikation zu Grunde liegen:

Intraoperative 3D imaging in intraarticular tibial plateau fractures - Does it help to improve the patients' outcomes?

Firas Souleiman, Ralf Henkelmann, Jan Theopold, Johannes Fakler, Ulrich Spiegl, Pierre Hepp

1. Planung des Studiendesigns (gemeinsam mit JT, US, PH)
2. Verfassung des Ethikantrags (gemeinsam mit RH)
3. Auswahl und Anschreiben der Patienten inklusive klinischer und radiologischer Nachuntersuchung (gemeinsam mit RH)
4. Aufarbeitung der 3D Scans und OP Berichte
5. Erstellung der Grafiken/ Tabellen
6. Statistische Auswertung der Daten
7. Erarbeitung des Manuskripts (Gemeinsam mit RH, JT, JF, US, PH)

UNIVERSITÄTSKLINIKUM LEIPZIG AdR
Department für Operative Medizin
Klinik und Poliklinik für Orthopädie,
Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie
Bereich Arthroplastik, Spärverletzungen und spezielle
Gelenkchirurgie / Sportverletzungen
Prof. Dr. med. Pierre Hepp
Liebigstraße 20, Haus 4 · 04103 Leipzig
Tel. 0341 / 97-2 52 00 · Fax 97-2 52 09

Prof. Dr. med. P. Hepp

PD Dr. med. habil. Ulrich Spiegl
Oberarzt
Klinik u. Poliklinik für Orthopädie,
Unfallchirurgie u. Plast. Chirurgie

Prof. Dr. med. U. Spiegl

Universitätsklinikum Leipzig
Department für Operative Medizin
Klinik und Poliklinik für Orthopädie,
Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie
PD Dr. med. Jan Theopold
Oberarzt / FA für Orthopädie und Unfallchirurgie
Spezielle Unfallchirurgie
Liebigstraße 20, Haus 4 · 04103 Leipzig

PD Dr. med. J. Theopold

Dr. med. R. Henkelmann

PD Dr. med. J. Fakler

Dr. med. Ralf Henkelmann
Oberarzt
Klinik und Poliklinik für
Orthopädie, Unfallchirurgie
und Plastische Chirurgie

5.4 Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder 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 an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmungen des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

03.06.2021

.....
Datum

Firas Soufman
Assistenzarzt
Klinik und Poliklinik für Orthopädie,
Handchirurgie und Plastische Chirurgie

Unterschrift

5.5 Curriculum vitae

Persönliche Daten

Name: Firas Souleiman
 Geboren: 01.08.1991, Leipzig
 Staatsbürgerschaft: Deutsch
 Anschrift: Kochstraße 55
 04275 Leipzig
 E-Mail: firas.souleiman@medizin.uni-leipzig.de

Beruflicher Werdegang

04/2021- dato Medical Research Fellow, AO Research Institute in Davos (Biomedical Development)
 06/2017 - dato Arzt in Weiterbildung, Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig

11/2010 – 05/2017 Medizinstudium, Universität Leipzig
 (3. Staatsexamen 12. Mai 2017)

Praktisches Jahr:
 Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Leipzig
 Klinik für Mund- Kiefer -und Gesichtschirurgie, Leipzig
 Klinik für Neurologie, Aarau, Schweiz
 Klinik für Innere Medizin, Döbeln

10/2010 Zivildienst an der Klinik und Poliklinik für Viszeral-, Transplantations-, Thorax- und Gefäßchirurgie, Uniklinikum Leipzig

2010 Abitur am Wilhelm- Ostwald- Gymnasium, Leipzig
 (vertieft mathematisch-naturwissenschaftliches Profil)

Publikationen

published

2021 **Souleiman F**, Henkelmann R, Theopold J, Fakler J, Spiegl U, Hepp P
 Intraoperative 3D imaging in intraarticular tibial plateau fractures - Does it help to improve the patients' outcomes?;
Journal of Orthopaedic Surgery and Research (5-year IF:2,145)

2021 **Souleiman F**, Heilemann M, Hennings R, Hennings M, Klengel A, Hepp P, Osterhoff G, Ahrberg AB
 A standardized approach for exact CT-based three-dimensional position analysis in the distal tibiofibular joint;
BMC Medical Imaging (5-year IF:2,168)

submitted

- 2021 Hagen J, Sands AK, Swords M, Rammelt S, Schmitz N, Richards RG, Gueorguiev B, **Souleiman F**
Medial talar facet excision – how much remains stable?;
Foot and Ankle International (5-year IF:2,45)
- 2021 **Souleiman F**, Theopold J, Henkelmann R, Osterhoff G, Fakler J, Hepp P
Combined humeral head and shaft fractures: outcome after intramedullary nail and plate fixation;
Injury Journal (5-year IF:2,417)
- 2021 Hennings R, **Souleiman F**, Heilemann M, Hennings M, Klengel A, Osterhoff G, Hepp P, Ahrberg AB
Suture button versus syndesmotic screw in ankle fractures - Evaluation with 3D imaging-based measurements.;
Skeletal Radiology (5-year IF:1,708)

Präsentationen

- 2019 Verbessert der intraoperative 3-D-Scan das Repositionsergebnis und kann er eine intraartikuläre Schraubenpositionierung bei der Versorgung von komplexen proximalen Tibiafrakturen verhindern?
Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, Berlin
- 2018 Die kombinierte Humeruskopf- und Schaftfraktur – eine eigene Entität: Frakturklassifikation und Therapiealgorithmus
Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, Berlin

Mitgliedschaften

AO Trauma
Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA)
Technology Student Association (Alumni); www.tsaweb.org; www.tsaostwald.de

Besondere Erfolge

- June 28th – July 2nd, 2010 Technology Student Association: National Conference in Baltimore, Maryland, USA
„TSA: Tomorrow`s Leaders“, Vice President of Germany
- June 28th – July 2nd, 2009 Technology Student Association : National Conference in Denver, Colorado, USA
„Shape the future“, Sergeant-at-Arms of Germany

Sprachen

Deutsch	Muttersprache
Englisch	Verhandlungssicher in Wort und Schrift
Arabisch	Grundkenntnisse

Kurse

- March 12th – 15th 2018 Freiburg, Germany: AO Kurs Trauma I
- November 27th - 28th 2018 Vienna, Austria: Mimics® Innovation Suite, Basic Course,
- August 22th – 29th 2020 Congress Centrum Sylt (CCS), Germany, proMEDITA Notarzkurs
- November 28th/29th 2019 ZKS Leipzig, Germany, Grundlagen- und Aufbaukurs für Prüfärzte
- April 29th 2021 Virtual/Online, MPG Grundlagen- und Aufbauergänzungskurs

Sonstiges

Badminton, Skifahren, Sport, Reisen, Politik
vier-monatiger Auslandsaufenthalt in Südamerika, Kuba, USA (2016)

5.6 Danksagung

Mein tiefer Dank gilt Prof. Dr. med. Pierre Hepp, Prof. Dr. med. Ulrich Spiegl, und PD Dr. med. habil. Jan Theopold für ihre stete wissenschaftliche Betreuung meiner Dissertation und die zahlreichen persönlichen Gespräche im klinischen Alltag. Insbesondere die Begeisterung zur akademisch chirurgischen Tätigkeit beeinflussen mich bis heute.

Dr. med. Ralf Henkelmann und PD Dr. med. habil. Johannes Fakler möchte ich dafür danken, dass sie zu jeder Zeit ein offenes Ohr für Fragen hatten und mit ihrem Wissen großen Input zur Erarbeitung des Manuskripts gaben.

Ausdrücklich möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Christoph Josten (ehemaliger geschäftsführender Direktor) für die Möglichkeit meine Promotionsarbeit anfertigen zu können, bedanken. Ebenso gilt mein Dank Dr. med. Jan-Sven Jarvers, welcher mir bei Fragen zur 3D Bildgebung stets behilflich war.

Nicht zuletzt möchte ich von ganzem Herzen meiner ganzen Familie danken, die mich bei allem begleitet und ununterbrochen unterstützt haben. Sie geben mir stets den nötigen Ausgleich zum täglichen Arbeitsstress und bilden für mich die wichtigste Stütze. Besonderer Dank gilt auf diesem Wege meinen Eltern für die Liebe und Geduld, mit der sie mich aufgezogen und mir die entscheidenden Werte vermittelt haben.

Abschließend wünsche ich mir Frieden und das Ende der Wirtschaftssanktionen für meine Familie und die Menschen in Syrien, damit auch sie ein unbeschwertes Leben führen können.