

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Residuale Step- und Gap-Dislokationen operativ versorgter Azetabulumfrakturen:
Einfluss der operativen Reposition auf die Entstehung einer posttraumatischen
Koxarthrose**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

René Bredel

aus St. Wendel

Datum der Promotion: 04. März 2022

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abstract (Deutsch)	8
Abstract (English)	10
1. Einleitung	12
1.1 Anatomie und Pathoanatomie des Azetabulums	12
1.2 Epidemiologie von Azetabulumfrakturen	15
1.3 Die Judet-Letournel-Klassifikation	16
1.4 Behandlungsstandards bei Azetabulumfraktur.....	18
1.5 Koxarthrose und ihre Relevanz	18
1.6 Zusammenhang zwischen Repositionsqualität und Auftreten einer posttraumatischen Arthrose	19
1.7 Zielsetzung dieser Arbeit	21
2. Material und Methoden	22
2.1 Studiendesign	22
2.2 Ein- und Ausschlusskriterien	22
2.3 Auswahl des Patientenkollektivs.....	22
2.4 CT-basierte Auswertung der operativen Reposition	25
2.4.1 Festlegung der Messebenen im CT	25
2.4.2 Definitionen eines Steps und eines Gaps.....	27
2.4.3 Messung eines Steps	28
2.4.4 Messung eines Gaps	29
2.5 Arthrose in der Follow-Up-Bildgebung	29
2.6 Statistische Auswertung	30
3. Ergebnisse	33
3.1 Deskriptive Statistik der Studienpopulation.....	33
3.1.1 Demographische Eckdaten.....	33

3.1.2 Aufgetretene Verletzungsmuster.....	34
3.1.3 Messdaten der Steps und Gaps.....	35
3.1.4 Follow-Up mit Kellgren-Lawrence-Scores	36
3.2 Korrelation von Steps und Gaps mit Kellgren-Lawrence Score	37
3.3 Einfluss des Frakturtyps auf Steps und Gaps	38
3.4 Zusammenhang einer klinisch relevanten Arthrose mit dem Ausmaß von Steps und Gaps	39
3.5 ROC-Kurve mit Sensitivitäts- und Spezifitätsniveaus für unterschiedlich hohe Steps und Gaps.....	40
4. Diskussion	43
4.1 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse aus Kapitel 3	43
4.2 Forschungsergebnisse anderer Autoren	44
4.3 Limitationen dieser Arbeit	47
4.4 Schlussfolgerung und Ausblick.....	47
5. Literaturverzeichnis.....	50
Eidesstattliche Versicherung.....	56
Lebenslauf.....	57
Danksagung.....	58

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
AO	<i>Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen</i>
CMSC	<i>Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin</i>
CT	<i>Computertomographie</i>
ORIF	<i>Offene Reposition und interne Fixation</i>
OTA	<i>Orthopaedic Trauma Association</i>
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
TEP	<i>Totalendoprothese</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Os coxae, Ansicht von lateral.	12
Abbildung 2: Detailansicht des Azetabulums ohne den Femurkopf.....	13
Abbildung 3: Hüftgelenk von lateral kaudal.	14
Abbildung 4: Darstellung des Azetabulums im Zwei-Pfeiler-Modell nach Judet und Letournel.	15
Abbildung 5: Judet-Letournel-Klassifikation.....	17
Abbildung 6: Auswahlalgorithmus für das Patientenkollektiv.	24
Abbildung 7: Ausrichtung der Messebenen in Visage Client im axialen Schnittbild.....	25
Abbildung 8: Weitere Ausrichtung der Messebenen in Visage Client im axialen Schnittbild.	26
Abbildung 9: Ausrichtung der axialen Ebene mithilfe eines koronaren Schnittbildes.	27
Abbildung 10: Beispiel der Messung eines Step im sagittalen Schnittbild.....	28
Abbildung 11: Beispiel einer Gap-Messung im coronaren Schnittbild.	29
Abbildung 12: Altersverteilung der Studienpopulation zum Unfallzeitpunkt.	34
Abbildung 13: Prozentuale Verteilung der Traumaart.	34
Abbildung 14: Aufgetretene Frakturtypen der Studienpopulation klassifiziert nach Judet-Letournel	35
Abbildung 15: Verteilung der gemessenen Kellgren-Lawrence-Scores der Studienpopulation im Follow-Up.	37
Abbildung 16: Kruskal-Wallis-Test für die Verteilung coronarer Gaps über die Verletzungsmuster nach Judet-Letournel.	39
Abbildung 17: ROC-Kurve mit Sensitivitäts- und Spezifitätsniveaus für unterschiedlich hohe Steps und Gaps.	41
Abbildung 18: Vergleich der unterschiedlichen Messung einer Step in der Literatur.....	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendetes Bewertungsinstrument zur Klassifizierung von Arthrose in der Follow-Up-Bildgebung.	30
Tabelle 2: Demographische Grundcharakteristika der Studienpopulation.	33
Tabelle 3: Deskriptive Messdaten der Steps und Gaps.	36
Tabelle 4: Spearman-Korrelationen der postoperativ gemessenen Steps und Gaps mit dem Kellgren-Lawrence Score in der Follow-Up Bildgebung.	37
Tabelle 5: Übersicht der Kruskal-Wallis-Tests aus SPSS für die Verteilung von Steps und Gaps über die Frakturtypen nach Judet-Letournel.	38
Tabelle 6: Eckdaten der Steps und Gaps gesplittet mit Gruppenvariable Kellgren-Lawrence-Score 0-2 (Gruppe A) bzw. 3-4 (Gruppe B) mit Angabe der Signifikanz nach Berechnung des Mann-Whitney-U.	40
Tabelle 7: Fläche unter der ROC-Kurve mit Statistik.....	42
Tabelle 8: Überblick der Spezifitätswerte der einzelnen Testvariablen innerhalb der ROC Kurve aus Abb. 17.....	42

Abstract (Deutsch)

Einleitung

Die operative Versorgung von Azetabulumfrakturen stellt eine große Herausforderung an den Chirurgen insbesondere im Hinblick auf Langzeitfolgen wie die Koxarthrose dar. Ein adäquates Werkzeug zur Erfassung der Güte der operativen Reposition ist somit vonnöten. Bisher wurden hierfür im Großteil der Literatur die Matta-Kriterien zu Rate gezogen, welche auf konventionellen Röntgenaufnahmen beruhen und traditionell nicht zwischen verschiedenen Arten der residualen Gelenkflächendislokation unterscheiden. Das Ziel dieser Arbeit ist die Relevanz der Matta-Kriterien zur Vorhersage von Koxarthrose im Anblick der allgegenwärtigen CT-Technologie zu evaluieren.

Methoden

Es wurde eine retrospektive Datenauswertung von 2001 bis 2016 am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin operativ versorgter Azetabulumfrakturen durchgeführt. Postoperative CT-Bilder wurden untersucht auf residuale Stufen („Steps“) oder Spalten („Gaps“) in der Gelenkfläche. Das Ausmaß dieser residualen Dislokationen wurde korreliert mit der Höhe des Kellgren-Lawrence-Scores im Röntgenbild im Follow-Up. Die Studienpopulation wurde zudem zweigeteilt in niedrige (0-2) und hohe (3-4) Kellgren-Lawrence-Scores und eine ROC-Kurve zur Untersuchung von Sensitivitäts- und Spezifitätsniveaus der Größe von Steps und Gaps in Relation zu einem niedrigen oder hohen Kellgren-Lawrence-Score angefertigt.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 58 Fälle in die Studie eingeschlossen. Sowohl postoperative Steps als auch postoperative Gaps korrelierten positiv mit der Höhe des Kellgren-Lawrence-Scores im Follow-Up. Der Frakturtyp nach Judet-Letournel hatte scheinbar keinen Einfluss auf die Güte der operativen Reposition. Die ROC-Kurve zeigt, dass Steps > 2 mm mit einer Spezifität von mehr als 90% mit einem Kellgren-Lawrence-Score von ≥ 3 im Follow-up assoziiert waren, während ein weitaus größerer Gap > 5 mm für ein ähnliches Ergebnis nötig war.

Schlussfolgerung

Sowohl Steps als auch Gaps lassen sich als Gütekriterien der operativen Reposition von Azetabulumfrakturen heranziehen. Jedoch müssen Gaps wesentlich größer als Steps sein, um mit einem ähnlichen oder gar schlechteren radiologischen Langzeitergebnis assoziiert zu sein. Eine Neubewertung der Matta-Kriterien insbesondere im Hinblick auf die Unterscheidung zwischen Steps und Gaps kann somit in Erwägung gezogen werden.

Abstract (English)

Introduction

The operative treatment of acetabular fractures poses a significant challenge to the surgeon, especially concerning the long-term outcome with the goal of avoiding postoperative osteoarthritis of the hip in mind. An adequate tool for assessing the quality of the operative reduction is therefore necessary. So far, the vast majority of publications assess the operative reduction using Matta's criteria which are based on plain X-rays of the hip and traditionally do not differentiate between different kinds of residual joint dislocation. The goal of this work is to evaluate whether Matta's criteria are still accurate enough in predicting the development in osteoarthritis of the hip, especially in the light of advancements in CT-imaging.

Methods

A retrospective analysis of operatively treated acetabular fractures from 2001 to 2016 was conducted at the department of musculoskeletal surgery of the Charité – University of Medicine Berlin. Postoperative CT-images were screened for residual steps and/or gaps in the joint surface and the height of these steps and/or gaps was correlated with a Kellgren-Lawrence-Score after medium to long-term radiological follow-up. The study population was furthermore divided into two groups with Kellgren-Lawrence-Scores of 0-2 and 3-4, respectively, and an ROC-Curve was plotted to examine the sensitivity and specificity for differently sized steps and gaps in a relationship to a low (0-2) or high (3-4) Kellgren-Lawrence-Score.

Results

In total, 58 cases were included in the study. Both postoperative steps and postoperative gaps correlated positively in their height with the Kellgren-Lawrence-Score in follow-up. The type of fracture classified after Judet-Letournel appeared to have no influence on the height of a step or a gap. The ROC-curve showed that steps of more than 2 mm were associated with a specificity of more than 90% for a Kellgren-Score of ≥ 3 during follow-up, while a much higher gap of more than 5 mm was necessary to be associated with a similar outcome.

Conclusion

Both steps and gaps are associated with the quality of the operative reduction and predict the radiological outcome of an operatively treated acetabular fracture. However, gaps need to be much

larger than steps to be associated with the same or a worse outcome. Thus, revising Matta's criteria to differentiate between steps and gaps can be considered.

1. Einleitung

1.1 Anatomie und Pathoanatomie des Azetabulums

Beim Azetabulum handelt es sich um eine pfannenförmige Vertiefung der übergeordneten Struktur des Os coxae, in welcher dessen drei Knochenanteile Os ilium, Os pubis und Os ischii knöchern untereinander in der so genannten Y-Fuge verbunden sind und diese gleichzeitig ein Gelenk mit dem Femurkopf, das Hüftgelenk, bilden (1, 2). Abbildung 1 verbildlicht den knöchernen Aufbau des Os coxae ohne den Femurkopf:

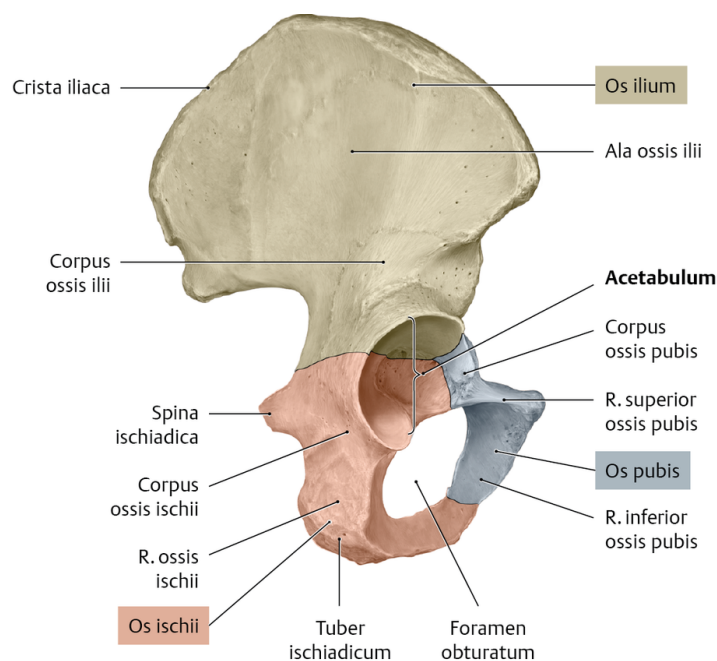


Abbildung 1: Os coxae, Ansicht von lateral.

Die Knochenanteile Os ilium, Os ischii und Os pubis sind farbig markiert. Zusätzlich werden die knöchernen Landmarken zur Übersicht markiert. Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4. Auflage ed. Stuttgart: Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014(3)

Der Bewegungsumfang, die Funktionsweise und die Stabilität des Hüftgelenkes entstehen im Zusammenspiel der knöchernen, ligamentären und muskulären Topographie: Im Allgemeinen ist das Hüftgelenk ein stabiles Gelenk mit geringer Luxationsneigung. Der Femurkopf ist durch die Ligamenta pubofemorale, ischiofemorale und iliofemorale relativ fest mit dem Os coxae verbunden und wird zudem durch den Limbus acetabuli zusammen mit dem Labrum acetabuli

knöchern und knorpelig umfasst. Zusätzlich trägt die Vielzahl an Muskeln im Bereich des Beckengürtels insgesamt zu einer Stabilisierung des Hüftgelenkes bei (2).

Die eigentliche Gelenkfläche des Azetabulums selbst bildet zum großen Teil die so genannte Facies lunata, welche gemäß dem Namen annähernd halbmondförmig, bzw. häufig eher hufeisenförmig ist. Im superioren Bereich der Facies lunata ist der Knorpel mit über 2 mm generell am dicksten (4). Gleichzeitig bilden im superioren Anteil des Azetabulums Teile der Facies lunata und des Labrum acetabuli das sog. Pfannendach, wo sich die Hauptbelastungszone des Hüftgelenkes befindet, also der Ort der höchsten Krafteinwirkung unter physiologischen Bedingungen. Die Integrität dieser Hauptbelastungszone wird als mitentscheidend für die Gesundheit des Hüftgelenkes gewertet (5-7). Abbildung 2 visualisiert den Aufbau des Azetabulums en detail und Abbildung 3 verdeutlicht die Einbettung des Femurkopfes in das Azetabulum mithilfe der ligamentären Strukturen.

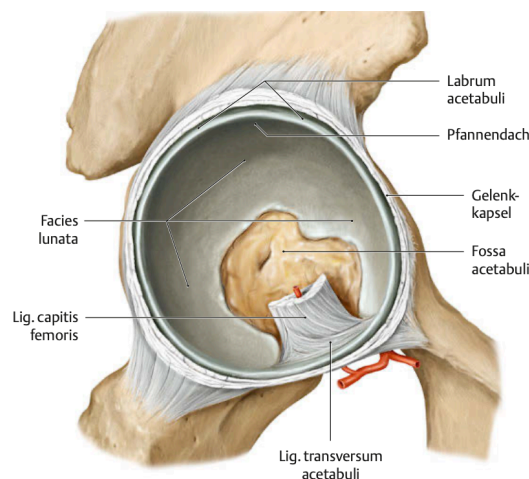


Abbildung 2: Detailansicht des Azetabulums ohne den Femurkopf.

Die Ligamenta pubofemorale, ischiofemorale und iliofemorale sowie das Ligamentum capitis femoris wurden reseziert. Gut zu erkennen ist die knorpelige Facies lunata als Teil der Gelenkfläche und die fettgefüllte Fossa acetabuli. Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4. Auflage ed. Stuttgart: Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014 (3).

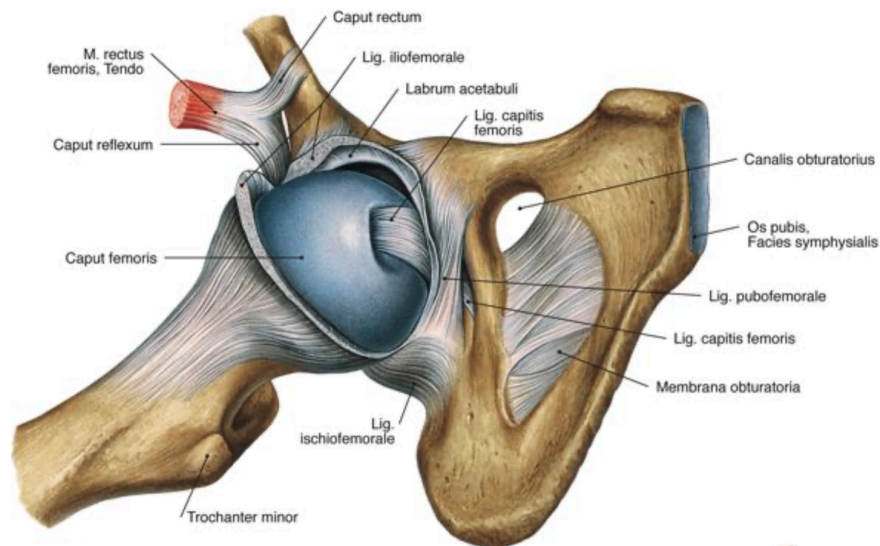


Abbildung 3: Hüftgelenk von lateral kaudal.

Der Femurkopf wurde teilweise extraartikuliert und die Gelenkkapsel eröffnet. Die starke ligamentäre Fixierung des Femurkopfes im Hüftgelenk ist klar ersichtlich. Aus: Sobotta J, Putz R. Anatomie des Menschen der komplette Atlas in einem Band; Allgemeine Anatomie, Bewegungsapparat, Innere Organe, Neuroanatomie. 22., neu bearb. Aufl., Sonderausg. ed. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2007(8).

Als Konsequenz der hohen Stabilität des Hüftgelenkes treten Azetabulumfrakturen häufig im Rahmen schwerer Traumata auf und Patienten erleiden in diesem Zusammenhang oft Begleitverletzungen (9).

Biomechanisch lässt sich der Beckenknochen zusammen mit den ventralen Teilen des Os ilium und des Os pubis in einen vorderen Pfeiler und zusammen mit dorsalen Teilen des Os ilium und des Os ischii in einen hinteren Pfeiler unterteilen, (9, 10). Visualisiert wird dies in Abbildung 4:

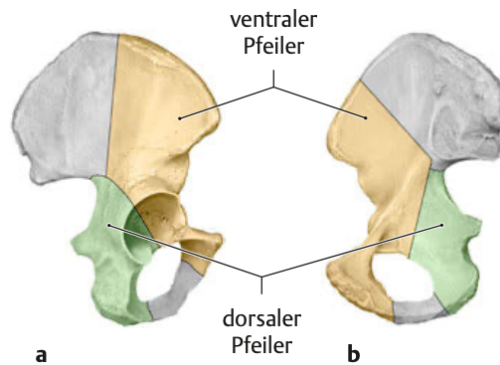


Abbildung 4: Darstellung des Azetabulums im Zwei-Pfeiler-Modell nach Judet und Letournel.

Legende: a=Ansicht von lateral. b =Ansicht von medial. Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U.

PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4. Auflage ed. Stuttgart: Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014. (3)

Basis für dieses sog. Zwei-Pfeiler-Modell nach Judet und Letournel ist die knöcherne mechanische Unterstützung des Azetabulums: Unterbrechungen des ventralen oder dorsalen Pfeilers oder gar beider Pfeiler gehen bei steigender Schwere der Fraktur mit einer ansteigenden Instabilität des Azetabulums und folglich des Hüftgelenkes einher (9-11). Das Zwei-Pfeiler-Modell ist Grundlage für die sog. Judet-Letournel-Klassifikation, welche in Kapitel 1.3 erläutert wird.

1.2 Epidemiologie von Azetabulumfrakturen

Mit einer Inzidenz von ca. 3/100,000 Personen/Jahr bis 8/100,000 Personen/Jahr handelt es sich bei Azetabulumfrakturen um relativ seltene Verletzungen (12, 13). Wie aufgrund der anatomischen Grundlagen in Kapitel 1.1 zu erwarten ist, treten Azetabulumfrakturen üblicherweise im Zusammenhang mit Hochenergetraumata auf, beispielsweise Autounfällen oder Stürzen aus großer Höhe (9, 11, 14), sodass in den Anfängen der Becken- und Azetabulumchirurgie ein breit gefächertes Patientenkollektiv mit Schwerpunkt auf jüngeren Patienten zu versorgen war (9, 15). Wenngleich diese jüngere Patientengruppe unter 60 Jahren weiterhin den Hauptanteil an Patienten mit Azetabulumfrakturen ausmacht, ist in jüngerer Vergangenheit eine Veränderung der Altersverteilung zu beobachten. So beschrieben Ferguson *et al.* (15) einen Anstieg des Anteils von über 60-jährigen Patienten zwischen 1980 und 2007 um das 2,4-fache. Ursachen hierfür und für den steigenden Anteil an älteren Patienten generell finden sich in einem aktiveren Lebensstil älterer Patienten gemeinsam mit osteoporotischen Skelettveränderungen (15, 16). Bemerkenswert ist hierbei, dass es bei über 60-jährigen Patienten

aufgrund der Skelettveränderungen häufig keines Hochenergietraumas mehr zur Entstehung einer Azetabulumfraktur bedarf; vielmehr reichen bereits Stürze aus geringer Höhe aus. In Gesellschaften mit steigendem Durchschnittsalter ist somit eine Zunahme eben dieser Ätiologie von Azetabulumfrakturen und ein Anstieg der Inzidenz von Azetabulumfrakturen insgesamt zu erwarten (11, 15, 16).

1.3 Die Judet-Letournel-Klassifikation

Judet und Letournel haben 1964 und 1993 eine Klassifikation entwickelt, gemeinhin als Judet-Letournel-Klassifikation oder bloß als Letournel-System bezeichnet (9, 10). Basierend auf der Anatomie des Azetabulums werden die Frakturen in 5 elementare und 6 assoziierte Frakturtypen unterteilt. Die Diagnostik hierfür basiert auf Röntgenaufnahmen des Hüftgelenkes nach Judet *et al.*, gemeinhin als Röntgenaufnahmen nach Judet oder Judet-Views bezeichnet (10). Je nach Frakturtyp werden die Indikation zur operativen oder konservativen Therapie abgeleitet und verschiedene operative Ansätze empfohlen (9, 10, 17). Einen Überblick über die Frakturtypen nach Judet und Letournel gibt Abbildung 5:

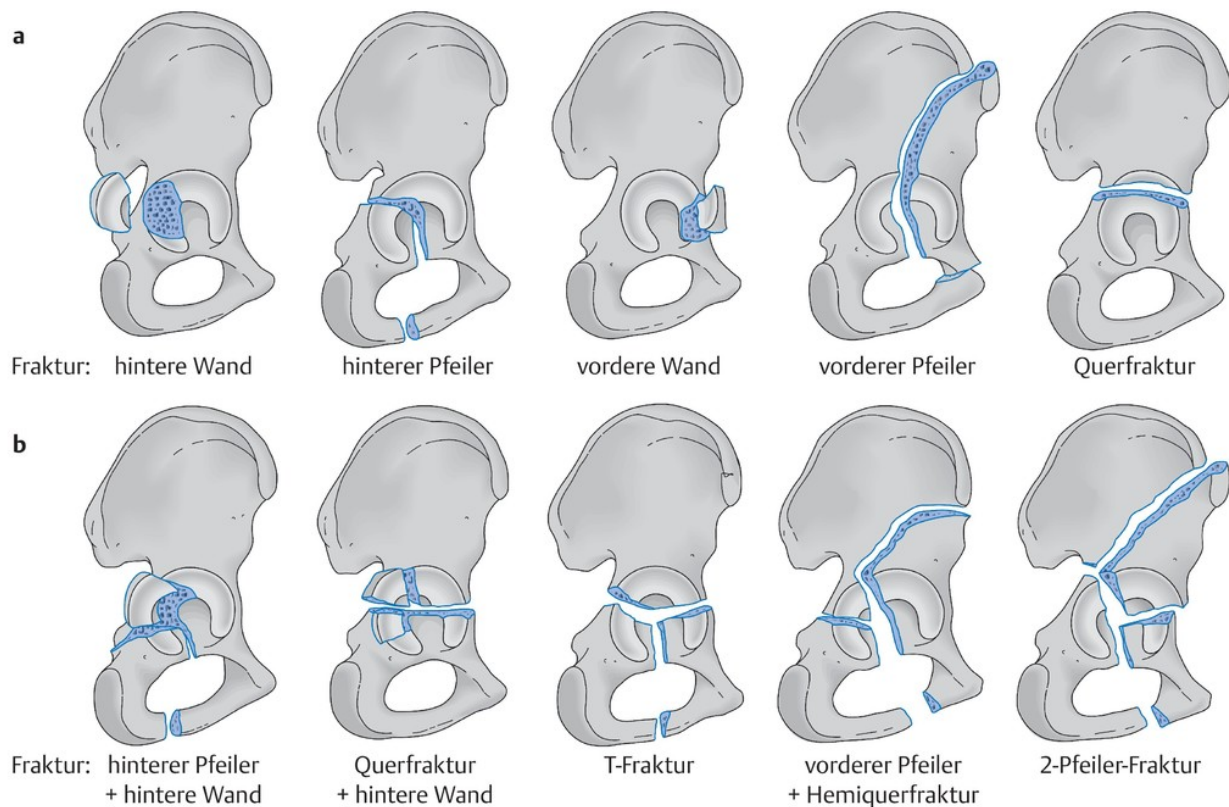


Abbildung 5: Judet-Letournel-Klassifikation.

Legende: a=elementare b=assoziierte Frakturen. Aus: Wirth C-J, Abdolvahab F. Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. 3., vollst. überarb. Aufl. ed. Stuttgart u.a.: Thieme; 2014. (18)

Aufbauend auf der Judet-Letournel-Klassifikation hat die AO Foundation (auch: Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, Abk.: AO) zusammen mit der Orthopaedic Trauma Association (OTA) die sog. AO/OTA-Klassifikation entwickelt, um dem alphanumerischen Klassifikationsschema von Frakturen nach Müller zu entsprechen (11, 19). Hierbei werden die von Judet und Letournel definierten Frakturtypen in die Hauptkategorien Typ A, B oder C eingeteilt und je nach Subtyp mit der Zahl 1-3 kategorisiert (19). Diese alphanumerische Anpassung der Judet-Letournel-Klassifikation durch die AO/OTA-Klassifikation bietet hauptsächlich Vorteile für die klinische Dokumentation und den Forschungsaustausch (11).

Die AO/OTA-Klassifikation soll an dieser Stelle nur der Vollständigkeit wegen erwähnt sein; folgend werden in dieser Arbeit sämtliche Acetabulumfrakturen nach der Judet-Letournel-Klassifikation eingeteilt. Diese Einteilung hat sich sowohl in der Literatur als auch im klinischen Alltag etabliert und ist in der Acetabulumchirurgie allgegenwärtig (11).

1.4 Behandlungsstandards bei Azetabulumfraktur

Azetabulumfrakturen können, wie viele andere Frakturen auch, sowohl konservativ als auch operativ behandelt werden. Die konservative Behandlung von Azetabulumfrakturen ist allerdings nur in der Minderheit der Fälle (höchstens 30%) mit einem klinisch zufriedenstellendem Ergebnis assoziiert (11, 20, 21). Dementsprechend sind die aktuellen Indikationen zur konservativen Therapie von Azetabulumfrakturen eng gefasst:

- i. Stabile Frakturen der hinteren Wand (22)
- ii. Frakturen mit intakter hinterer Wand, einem verbleibenden intakten Pfeiler und intakter Hauptbelastungszone des Azetabulum, definiert durch einen Pfannendachwinkel nach Matta von $> 45^\circ$ (9, 11, 23)
- iii. Frakturen mit geringer Fragmentdislokation von weniger als 2 mm (9, 11, 24)
- iv. Frakturen mit erhaltener Kongruenz der Gelenkfläche des Azetabulum relativ zum Hüftkopf bei Patienten mit hohem operativem Risiko (9, 17, 25)

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf der operativen Versorgung von Azetabulumfrakturen. Hierzu können unterschiedliche Vorgehensweisen zum Einsatz kommen:

- i. Offene Reposition und interne Fixation (ORIF) (9, 11)
- ii. Perkutane Osteosynthesetechniken (26)
- iii. Gelenkersatz mittels Totalendoprothese (TEP)-Implantation (27)

Unter dem Gesichtspunkt, das native Hüftgelenkes möglichst zu erhalten und hierbei ein zufriedenstellendes klinisches Langzeitergebnis zu erreichen, hat sich die ORIF mittels Platten-/Schraubenkombinationen als operativer Behandlungsstandard etabliert und gehalten (11, 27, 28).

1.5 Koxarthrose und ihre Relevanz

Als Koxarthrose bezeichnet man degenerative Veränderungen des Hüftgelenkes („Gelenkverschleiß“). Analog zur Arthrose anderer Gelenke imponiert die Koxarthrose durch radiologische und klinische Veränderungen des Gelenkbildes und ist, insbesondere im Spätstadium sowie teilweise sogar schon in Frühstadien, durch eine ausgeprägte Funktionseinschränkung gekennzeichnet (29). Unterscheiden lässt sich analog zu anderen

Gelenken die primäre Arthrose ohne erkennbaren Auslöser von der sekundären Arthrose mit erkennbarem Auslöser, z.B. als Folge von Traumata. Koxarthrose als Folge einer Azetabulumfraktur ungeachtet des Behandlungsergebnisses ist somit als sekundäre Koxarthrose zu werten (29). Die Wichtigkeit in der Vermeidung einer derartigen Spätkomplikation liegt besonders darin begründet, dass im Falle einer Koxarthrose die Lebensqualität und die Funktion des Gelenkes massiv eingeschränkt sein können und häufig auch eine dauerhafte Arbeitsunfähigkeit der Patienten resultiert (30).

Vereinzelt wurden bessere Ergebnisse mittels primärer Implantation einer TEP unter bestimmten Voraussetzungen beschrieben (27, 31, 32). Dahingegen konnte jedoch die Versorgung mittels Osteosynthese wiederholt und in groß angelegten Studien mit guten Langzeit-Ergebnissen in Verbindung gebracht werden (33-35). Zusätzlich konnte in Studien gezeigt werden, dass der endoprothetische Gelenkersatz nach Azetabulumfraktur mit einer höheren Komplikationsrate vergesellschaftet ist, wozu vorrangig Infektionen, Dislokationen und heterotope Ossifikationen gehören (36, 37). Ein Hauptziel der Behandlung einer Azetabulumfraktur sollte dementsprechend auf der Vermeidung einer Koxarthrose im Verlauf bei Erhaltung des nativen Gelenkes liegen (11).

1.6 Zusammenhang zwischen Repositionsqualität und Auftreten einer posttraumatischen Arthrose

Bereits Judet und Letournel haben erkannt, dass ein schlechtes Repositionsergebnis mit residualer Stufe im Gelenk mit der Entstehung einer posttraumatischen Arthrose assoziiert ist (9, 10, 17). Darüber hinaus wurden nun in der Literatur mannigfaltige Einflussfaktoren auf das Ergebnis identifiziert, wobei die Repositionsqualität im Sinne einer geringen Rest-Dislokation der Fragmente nach OP als entscheidend für die klinische Prognose angesehen wird (9, 11, 28, 38-40). Konkret und quantitativ in Zusammenhang gebracht wurde dies durch Matta *et al.* mit einem 1988 (41) und 1996 (5) erstellten Klassifikationssystem zur Bewertung der Qualität der operativen Reposition von Azetabulumfrakturen. Hierbei werden residuale Dislokationen der Gelenkfläche bis 1 mm als „anatomic“ bezeichnet und sind nach Matta *et al.* mit einem guten Ergebnis hinsichtlich der Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose assoziiert. Dislokationen von 2 – 3 mm werden als „imperfect“ bezeichnet und sind mit weniger zufriedenstellenden Ergebnissen assoziiert. Dislokationen größer als 3 mm werden sodann als „poor“ bezeichnet und gehen

dementsprechend mit dem schlechtesten Ergebnis einher. Diese Einteilung hat sich seither in der Azetabulumchirurgie als Qualitätsinstrument der Beurteilung des Repositionsergebnisses als die sog. Matta-Kriterien etabliert (6, 11).

In den letzten Jahren wird nunmehr zunehmend an den Matta-Kriterien als zeitgemäßes Bewertungsinstrument gezweifelt (11). Dies beruht vor allem auf der Tatsache, dass die Matta-Kriterien auf konventionellen Röntgenbildern basieren. Durch Weiterentwicklung der radiologischen Standards ist heute jedoch die Computertomographie (CT) in der prä- und postoperativen Diagnostik der Azetabulumchirurgie etabliert (42). Bisher ist allerdings nicht gezeigt worden, dass die Matta-Kriterien 1:1 auf diese bildgebende Technik anwendbar sind.

Insbesondere ist aber hervorzuheben, dass in den Matta-Kriterien nicht zwischen verschiedenen Arten der Gelenkflächendislokation unterschieden wird. Erst in der jüngeren Vergangenheit insbesondere der letzten 5 Jahre sind einzelne Veröffentlichungen mit standardisierten, CT-gestützten Messsystemen hierzu zu finden und in einem ähnlichen Zeitraum wird nunmehr in sogenannte „Steps“ und „Gaps“ diskriminiert (43-46): Ein „Step“ lässt sich am ehesten als „Gelenkstufe“ übersetzen, nach der Definition von Märdian *et al.* eine frakturbedingte Dislokation der Gelenkfläche, welche in einer Ebene senkrecht zur Gelenkfläche steht (43). Ein „Gap“ lässt sich übersetzen als „Frakturspalt“, im Gegensatz zum Step ist ein Gap also eine Dislokation in einer Ebene, welche parallel zur Gelenkfläche orientiert ist (43). Konkretisiert wird ein solches Frakturbild inklusive einer dahingehenden Messung im Methodenteil dieser Arbeit, Kapitel 2.4. Grundsätzlich sorgen postoperativ verbleibende Steps oder Gaps für eine ungleichmäßige Belastung oder eine punktuell starke Überbelastung des Hüftgelenkes, insbesondere des Knorpels des Femurkopfes und des Azetabulums (9, 11, 46). In ersten Studien wird nun die Vermutung geäußert, dass postoperative residuale Steps im Vergleich zu residualen Gaps aufgrund einer fundamental anderen mechanischen Belastung sich auch anders auf die Langzeitprognose auswirken. Als Konsequenz wird bereits vereinzelt gefordert, Steps und Gaps in der postoperativen Bildgebung unterschiedlich zu bewerten (44, 46).

Überdies wird die erwähnte fehlende Standardisierung der postoperativen Messung einer etwaig überbleibenden Frakturdislokation in der Literatur kritisiert; so bemängeln Dodd *et al.* die fehlende Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Messungen, welche bei der Literaturrecherche der Autoren lediglich bei 2 von 64 Studien gegeben war (6). Zwar fanden Dodd *et al.* heraus, dass nahezu uniform die Matta-Kriterien als Bewertungskriterium für die postoperative Reposition

angewandt wurden; da der genaue Messvorgang von residualen Frakturdislokationen jedoch im Großteil der Fälle nicht beschrieben wurde (6), ist unklar, ob bei einer standardisierten CT-basierten Messung gleiche Ergebnisse vorgelegen hätten und welchen prognostischen Wert residuale Dislokationen im Einzelnen hätten.

1.7 Zielsetzung dieser Arbeit

In Anbetracht der Tatsache, dass die Matta-Kriterien lediglich auf Röntgenbildern nach Judet basieren, während CT-Aufnahmen heute allgegenwärtig sind, und dass Steps und Gaps konventionell nicht voneinander unterschieden werden, soll untersucht werden, ob eine standardisierte CT-basierte Messung der operativen Repositionsqualität mit Unterscheidung in Steps und Gaps Rückschlüsse auf die klinische Langzeitprognose im Hinblick auf die Entwicklung von Koxarthrose zulässt.

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Es wurde eine retrospektive Datenanalyse an Patienten mit Azetabulumfraktur, welche operativ am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin (CMSC) versorgt wurden, durchgeführt. Postoperative CT-Aufnahmen wurden gesichtet und die Qualität der operativen Reposition jeweils als Step und als Gap durch Ausmessen erfasst und protokolliert (s. 2.4). Parallel wurde anhand vorliegender radiologischer Follow-Up-Aufnahmen der Grad einer vorliegenden Arthrose nach Kellgren-Lawrence (47) (s. 2.5) bestimmt und mit der Qualität der postoperativen Reposition statistisch in Verbindung gebracht (s. 2.6).

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Eingeschlossen wurden Patienten mit operativ stabilisierten Azetabulumfrakturen, welche sowohl isoliert als auch mit Begleitverletzungen vorlagen. Konservativ therapierte Azetabulumfrakturen wurden dementsprechend ausgeschlossen. Weiterhin musste zum Einschluss eine CT-Bildgebung im Abstand von höchstens 12 Wochen postoperativ vorliegen. Ebenso musste eine Follow-Up-Bildgebung als CT- oder Röntgenaufnahme im Abstand von mindestens 6 Monaten postoperativ erfolgt sein.

Von den verbleibenden Patienten ausgeschlossen wurden Fälle mit postoperativen Infektionen, welche verfrüht zu einer klinisch relevanten Arthrose mit oder ohne folgender Implantation einer TEP geführt haben.

2.3 Auswahl des Patientenkollektivs

Die Patientenselektion erfolgte mittels des am CMSC verwendeten Programmes SAP Medical Record (Firma SAP SE, Mannheim), mithilfe dessen zunächst 424 Patienten mit Azetabulumfraktur im Zeitraum von 01.01.2001 bis zum 31.12.2016 ausgewählt wurden. Hiervon wurden 141 Patienten aufgrund von konservativ versorgter Azetabulumfraktur ausgeschlossen. Von den verbleibenden 283 Patienten wurden 223 aufgrund von mangelnder postoperativer

Bildgebung oder mangelnder Follow-Up-Bildgebung ausgeschlossen. Unter den übrigen 60 Patienten befanden sich zwei mit postoperativer Infektion und nachfolgend postinfektiöser Gelenkdestruktion, welche ausgeschlossen wurden. Einem weiteren Patienten wurde aufgrund eines Folgeunfalls mit Oberschenkelhalsfraktur eine TEP implantiert, dieser Patient wurde ebenso ausgeschlossen. Zuletzt wurden die nun übrig gebliebenen Patienten als „Fälle“ klassifiziert und dementsprechend ein Patient mit beidseitiger Azetabulumfraktur als zwei Fälle erfasst. Schlussendlich konnten somit insgesamt 58 Fälle als Patientenkollektiv untersucht werden. Der beschriebene Auswahlalgorithmus ist in Abbildung 6 übersichtlich dargestellt:

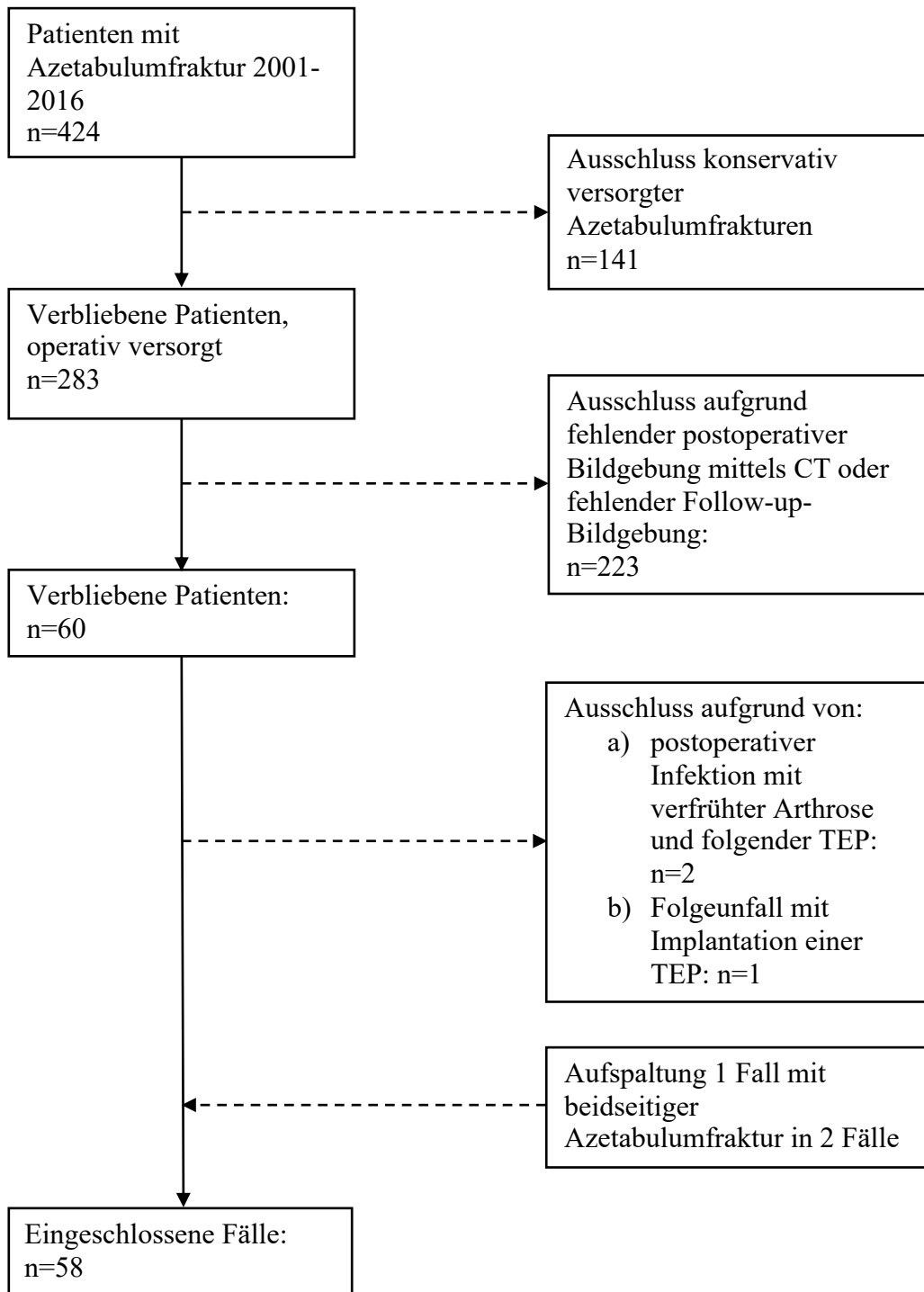


Abbildung 6: Auswahlalgorithmus für das Patientenkollektiv.

2.4 CT-basierte Auswertung der operativen Reposition

Um die Qualität der operativen Reposition einer Azetabulumfraktur zu erfassen, wurden die unmittelbar postoperativ angefertigten CT-Aufnahmen im Patientenkollektiv nach der von Märdian *et al.* entwickelten Methode (43) ausgemessen. Hierzu wurde die Software Visage Client 7.1.3 (Visage Imaging Inc., San Diego, Kalifornien) verwendet. Die angewandte Messmethode wird folgend beschrieben:

2.4.1 Festlegung der Messebenen im CT

Die individuellen Steps und Gaps wurden jeweils in der axialen, der koronaren und der sagittalen Ebene gemessen. Diese entsprechenden Messebenen wurden anhand anatomischer Orientierungspunkte definiert:

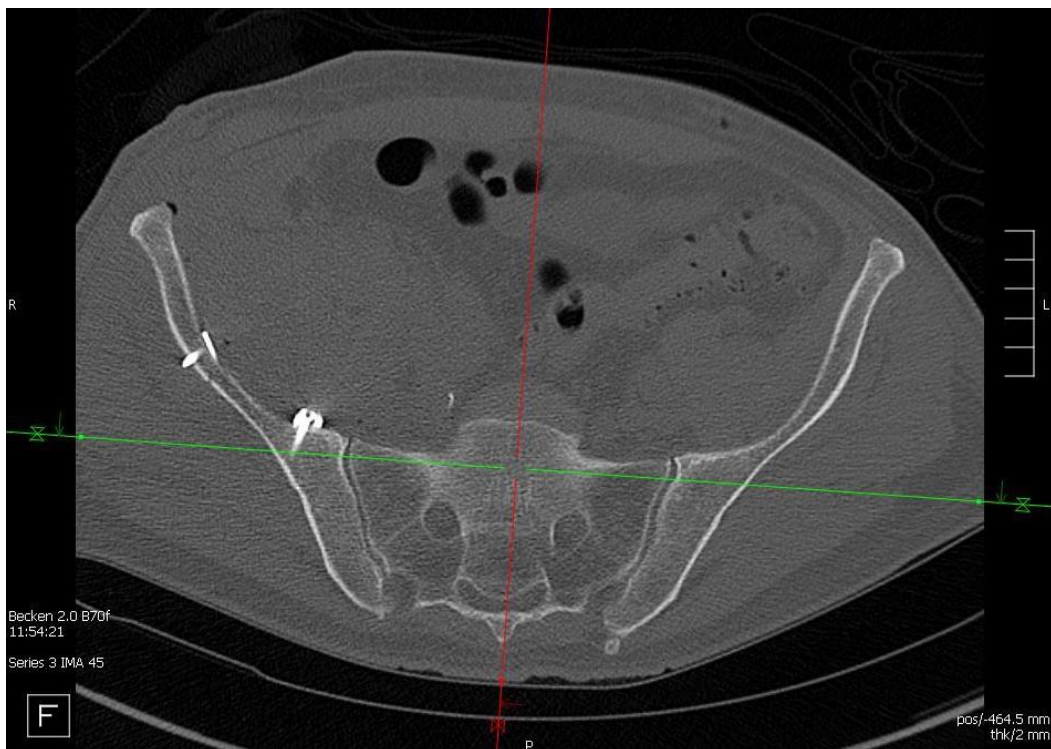


Abbildung 7: Ausrichtung der Messebenen in Visage Client im axialen Schnittbild.

Die sagittale Ebene schneidet als Senkrechte durch das Zentrum des Os sacrum. Legende: Rote Linie = sagittale Ebene, grüne Linie = coronare Ebene, R= rechts, L= links

Im verwendeten Programm Visage Client werden bei der Darstellung eines Schnittbildes die zum aktuellen Zeitpunkt nicht betrachteten Ebenen als farbige Linien dargestellt und lassen sich in ihrer Ausrichtung frei adjustieren. Wie in Abbildung 7 dargestellt wurde zunächst mithilfe eines axialen Schnittes die sagittale Ebene (hier als rote Linie) eingestellt. Die sagittale Ebene wurde definiert als Ebene, welche das Zentrum des Os sacrum gerade mit der Mitte der Symphysis pubica verbindet (Abbildung 8) (43).

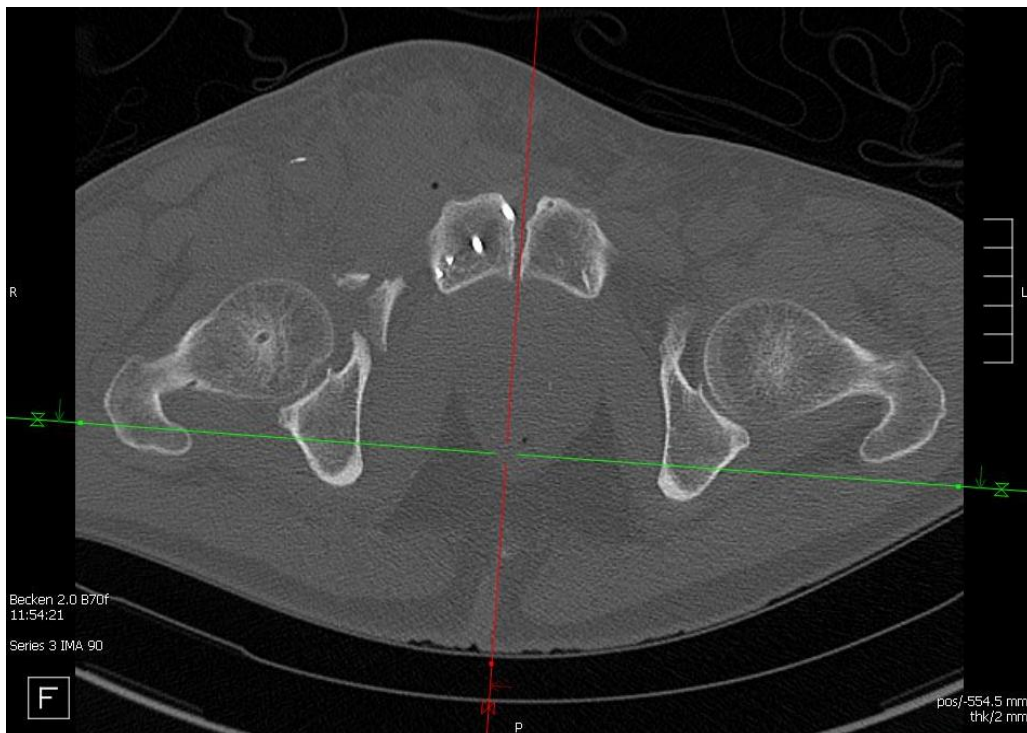


Abbildung 8: Weitere Ausrichtung der Messebenen in Visage Client im axialen Schnittbild. Die sagittale Ebene schneidet durch das Os sacrum als Gerade verbunden mit der Mitte der Symphysis pubica.
Legende: Rote Linie = sagittale Ebene, Grüne Linie = coronare Ebene, R= rechts, L= links

Daraufhin wurde, wie in Abbildung 9 gezeigt, die axiale Ebene definiert. Mithilfe eines koronaren Schnittbildes wurde die axiale Ebene (in Abbildung 9 als blaue Linie dargestellt) als Gerade durch die ventralen Ränder des Os sacrum ausgerichtet (43).

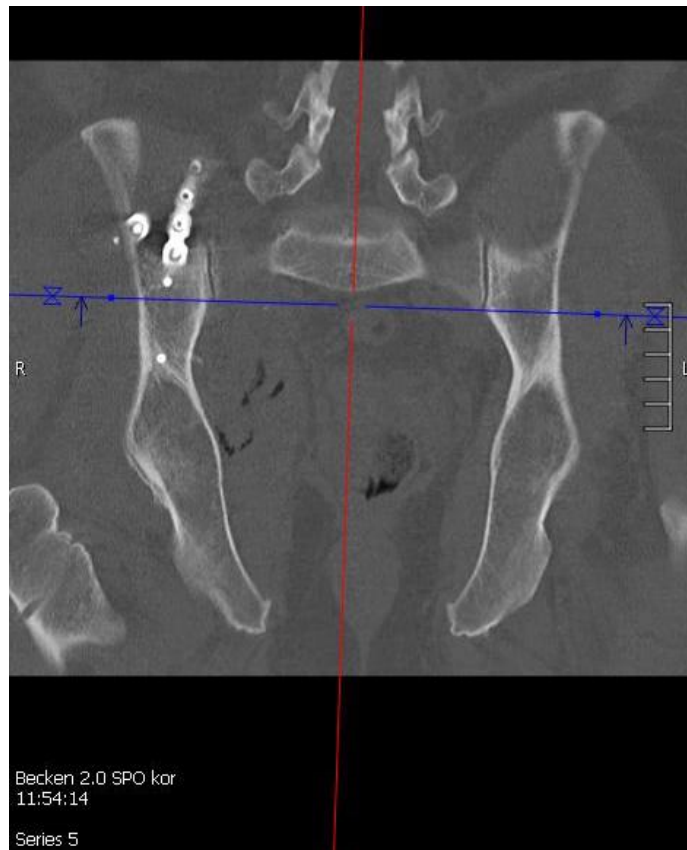


Abbildung 9: Ausrichtung der axialen Ebene mithilfe eines koronaren Schnittbildes.

Die axiale Ebene bildet eine gedachte Verbindung der anterioren und inferioren Ränder des Os sacrum. Legende:

Rote Linie = sagittale Ebene; blaue Linie = axiale Ebene; R = rechts, L = links

Die koronare Ebene (in Abbildung 7 und Abbildung 8 als grüne Linie dargestellt) ergab sich automatisch als senkrecht stehend zu den adjustierten sagittalen und axialen Ebenen (43).

2.4.2 Definitionen eines Steps und eines Gaps

Nach dem oben beschriebenen Ausrichten der Schnittebenen wurden die in der Einleitung unter Punkt 1.6 bereits erwähnten Steps und Gaps definiert und ausgemessen. Definiert als Step wurde nach Märdian *et al.* eine in einer senkrecht zur Gelenkoberfläche des Azetabulums stehenden Ebene stehende frakturbedingte Dislokation. Als Gap definiert wurde eine in einer parallel zur Gelenkfläche des Azetabulums stehenden Ebene stehende frakturbedingte Dislokation (43). Von den gemessenen Steps und Gaps wurde die jeweils größte als klinisch relevant erachtete Messung zur Datenauswertung verwendet. Steps und Gaps wurden dann als klinisch relevant betrachtet,

wenn sie in der Belastungszone des Azetabulums auftraten, also dort, wo der Knorpel des Azetabulums direkt mit dem Knorpel des Femurkopfes mechanisch in Verbindung steht.

2.4.3 Messung eines Steps

Um im Einzelnen einen Step auszumessen, wurden in den ausgerichteten Messebenen zunächst die operativ reponierten Frakturen gesichtet und schrittweise beginnend mit der axialen Schnittebene das Schnittbild mit dem jeweils größten Step in der Belastungszone aufgerufen. Wie in Abbildung 10 zu sehen ist, wurde mithilfe des verwendeten Programmes Visage Client die Gelenkoberfläche des Azetabulums in der Belastungszone als Kreis approximiert. Senkrecht auf dem Kreis stehend konnte nun ein Messlineal aufgebracht werden, um eine Step auf 0,1 mm genau zu bestimmen. Dort, wo nicht bereits durch Augenschein die größte Step der Schnittebene bestimmt werden konnte, wurden alle infrage kommenden Steps einzeln ausgemessen und die größte gemessene Step übernommen. Abbildung 10 verdeutlicht die Messung eines Steps am Beispiel des sagittalen Schnittbildes.

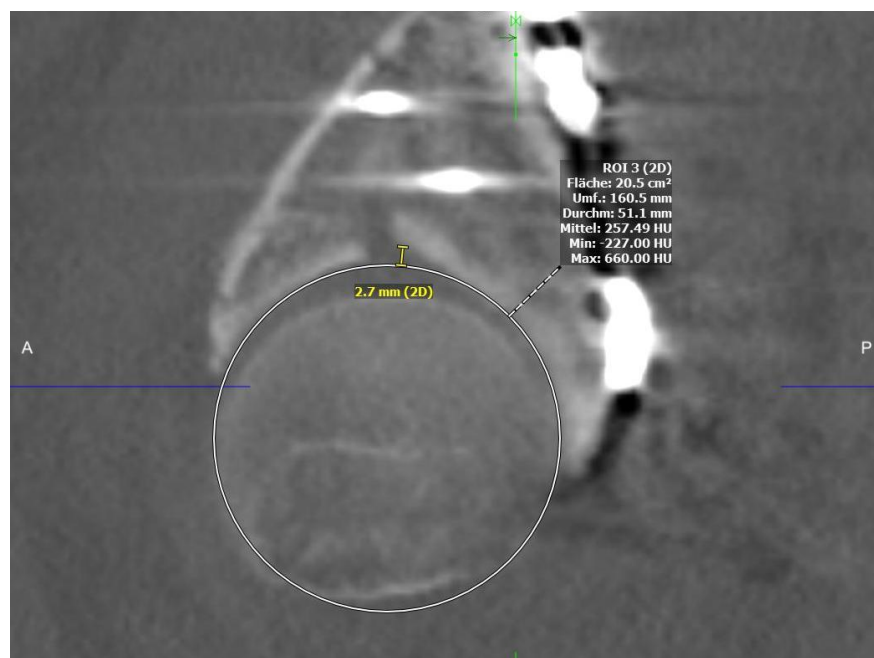


Abbildung 10: Beispiel der Messung eines Step im sagittalen Schnittbild.

Legende: A=anterior P=posterior

2.4.4 Messung eines Gaps

Die Messung eines Gap erfolgte analog zum Ausmessen eines Step. Definiert als Gaps wurde die größte frakturbedingte, parallel zur Gelenkfläche vorliegende Dislokation mit folgender Lücke in der Gelenkfläche des Azetabulums. Bei mehreren vorhandenen Gaps wurden alle Gaps in den jeweiligen Ebenen gemessen und der größte Gap einer jeweiligen Schnittebene übernommen. Ein Gap konnte, wie auch ein Step zuvor, auf 0,1 mm genau bestimmt werden. In Abbildung 11 ist dies beispielhaft dargestellt.

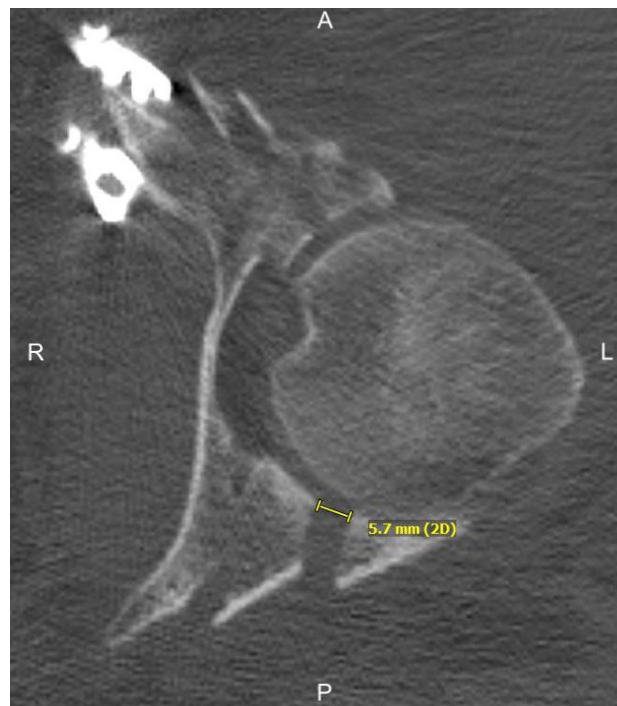


Abbildung 11: Beispiel einer Gap-Messung im coronaren Schnittbild.

Legende: A=anterior, P=posterior, R=rechts, L=links

2.5 Arthrose in der Follow-Up-Bildgebung

Um eine postoperative Arthrose des operierten Azetabulums zu bestimmen und zu klassifizieren, wurden Follow-Up-Aufnahmen im klinischen Verlauf gesichtet und der Schweregrad der vorliegenden Arthrose nach Kellgren-Lawrence erhoben (47). Die verwendeten Aufnahmen waren

Röntgenaufnahmen der Hüfte, oder, in zwei Fällen, auch CT-Aufnahmen. Die verwendete Klassifikation nach Kellgren-Lawrence wird in 5 Grade von 0 bis 4 unterteilt und die Kriterien in Tabelle 1 dargestellt:

Grad	Gelenkspaltverschmälerung	Osteophyten	Sklerosierung	Deformität des Gelenkes
0	keine	keine	keine	keine
1	fraglich/keine	keine	gering, aber erkennbar	keine
2	gering, aber erkennbar	beginnend	deutlich erkennbar, ohne Zysten	keine / angedeutet
3	stark	mehrere / moderat große Osteophyten	stark, mit Zysten	möglich / gering
4	sehr stark oder kein Gelenkspalt vorhanden	starke Osteophytenbildung	stark, mit Zysten	stark, eventuell mit Nekrose

Tabelle 1: Verwendetes Bewertungsinstrument zur Klassifizierung von Arthrose in der Follow-Up-Bildgebung. Übersetzt und modifiziert nach: Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthrosis. Ann Rheum Dis. 1957;16(4):494-502.(47)

Zur Verbesserung der Validität des erhobenen Kellgren-Lawrence Scores wurden die vom Autor erhobenen Scores durch ein zu den gemessenen Steps und Gaps verblindetes ärztliches Mitglied des CMSC überprüft und bei Diskrepanz neu bewertet.

2.6 Statistische Auswertung

Zur Verwaltung und übersichtlichen Darstellung der Patientendaten wurde das Programm Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) verwendet. Zur statistischen Auswertung der Daten wurde das Programm SPSS Statistics 25 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA) verwendet. Die Auswertung erfolgte in folgenden Schritten:

Deskriptive Statistik

Um eine Übersicht über das Patientenkollektiv zu erhalten, wurden Eckdaten der Studienpopulation zunächst deskriptiv erfasst und tabellarisch sowie graphisch dargestellt. Dies bezieht sich insbesondere auf demographische Daten wie zum Beispiel Alter und Geschlecht, aber auch auf erhobene Messparameter, wie beispielsweise die Größe der gemessenen Steps und Gaps verteilt auf die Studienpopulation.

Korrelationen nach Spearman

Zur Herstellung eines Zusammenhangs zwischen postoperativ gemessenen Steps und Gaps und den im Follow-Up gemessenen Kellgren-Lawrence Scores wurden Korrelationen nach Spearman für nicht normalverteilte Stichproben berechnet. Zusätzlich wurde die Effektstärke nach Cohen (48) bestimmt.

One-way ANOVA (Analysis of Variance) nach Kruskal-Wallis

Um unterschiedliche Verteilungsmuster der Steps und Gaps über den jeweiligen Frakturtyp nach Judet-Letournel festzustellen und somit den Frakturtyp als potentiellen Störfaktor zu untersuchen, wurde eine one-way ANOVA nach Kruskal-Wallis (folgend als Kruskal-Wallis-Test bezeichnet) berechnet.

Teilung der Studienpopulation in zwei Gruppen und Berechnung des Mann-Whitney-U

Zur besseren Erfassung der klinischen Relevanz von Steps und Gaps in Bezug zur Arthrose im Follow-Up wurde die Studienpopulation in zwei Gruppen geteilt; Fälle mit Kellgren-Lawrence Scores von 0-2 (Gruppe A) wurden getrennt von Fällen mit Kellgren-Lawrence Scores von 3-4 (Gruppe B). Letztgenannte Scores wurden gestützt von Ergebnissen von Reijman *et al.* (49) als klinisch relevante Arthrose eingestuft. Zur statistischen Erfassung von Unterschieden in der Verteilung von Steps und Gaps zwischen den unterteilten Gruppen wurde ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt und folgend die Unterschiede der Gruppen deskriptiv erfasst. Hier wurde ebenfalls die Effektstärke nach Cohen (48) berechnet.

ROC (Receiver Operating Characteristic)-Kurve mit Sensitivitäts- und Spezifitätsniveaus

Basierend auf der oben angegebenen Einteilung der Studienpopulation in Gruppen nach Kellgren-Lawrence-Score wurde eine ROC-Kurve mit Kellgren-Lawrence-Scores von 3-4 als positivem Status erstellt. Dazugehörig wurden die Spezifitätsniveaus von Steps und Gaps in unterschiedlichen Höhen korrespondierend mit einem Kellgren-Lawrence Score von 3-4 berechnet und der jeweilige Wert entsprechend einer 90-prozentigen Spezifität als Cut-Off gesetzt.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik der Studienpopulation

3.1.1 Demographische Eckdaten

Insgesamt wurden 58 Fälle mit Azetabulumfraktur in die Studie eingeschlossen (siehe 2.3). Mit 72% war der Großteil der Studienpopulation männlich mit einem Median-Alter von 53 Jahren. Die demographischen Grundcharakteristika werden in Tabelle 2 dargestellt:

Studienkollektiv gesamt	N	58
Geschlecht	männlich	72% (n=42)
	weiblich	28% (n=16)
Alter bei Unfall	Median	53 J
	Minimum	16 J
	Maximum	83 J

Tabelle 2: Demographische Grundcharakteristika der Studienpopulation.

Legende: J=Jahre. Zahlen auf volle Stellen gerundet.

Das angegebene durchschnittliche Alter der Studienpopulation zeigte sich zweigipflig. Bis zu einem Alter von 39 Jahren steigt der Patientenanteil an, fällt ab einem Alter von 40 Jahren wieder stark ab, um folgend bis zu einem Alter von 79 Jahren kontinuierlich zu steigen (s. Abbildung 12).

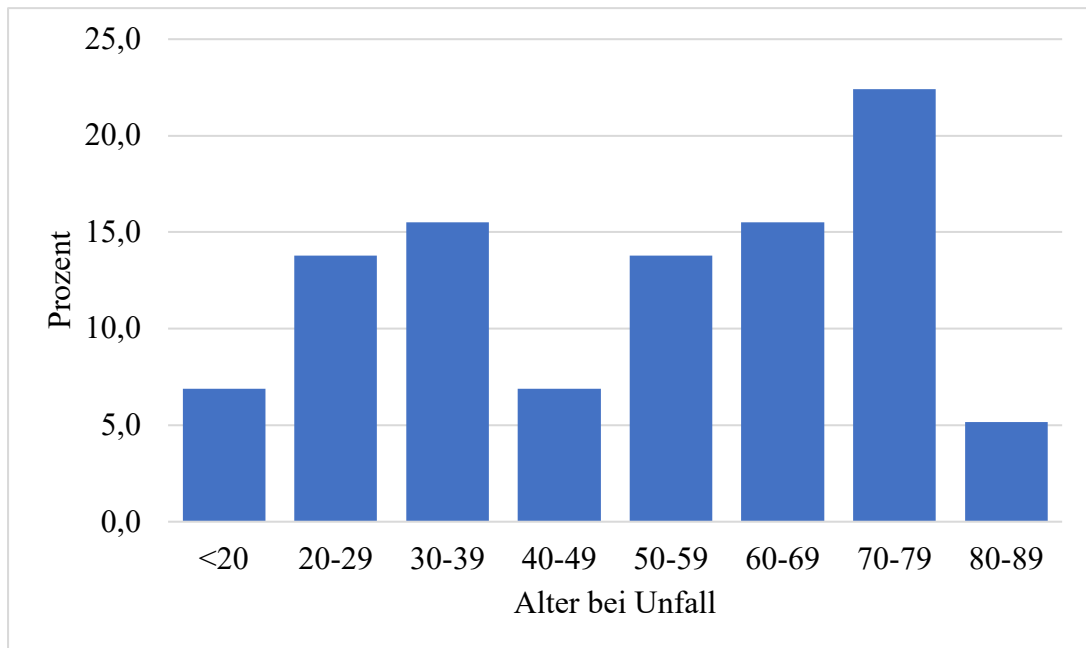


Abbildung 12: Altersverteilung der Studienpopulation zum Unfallzeitpunkt.

3.1.2 Aufgetretene Verletzungsmuster

Aufgeteilt nach der Art des vorliegenden Traumas zeigten sich überwiegend isolierte Verletzungen (45%) und Polytraumata (43%) gegenüber Mehrfachverletzungen (12%). Mehrfachverletzung und Polytrauma wurden definiert nach Muhr und Tscherne (50) (s. Abbildung 13).

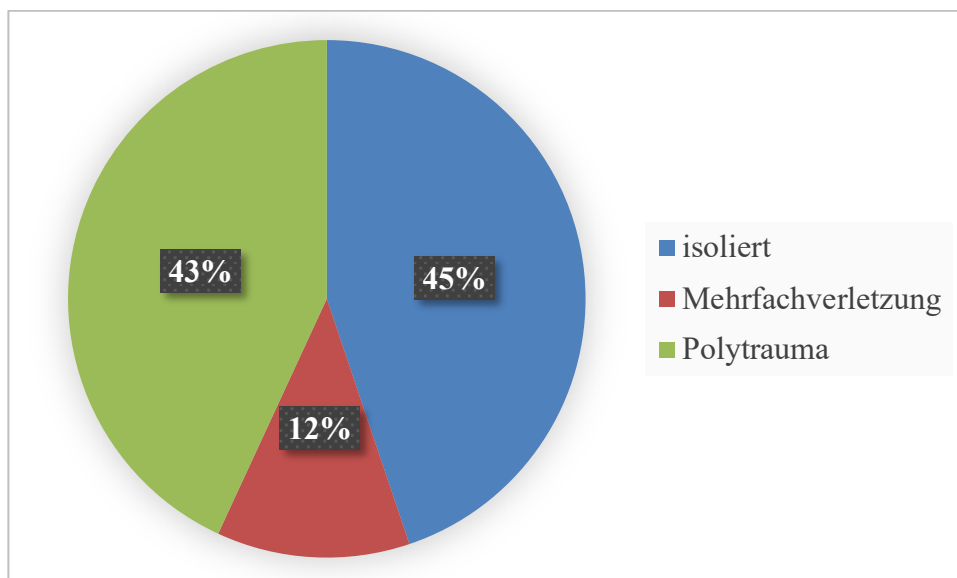


Abbildung 13: Prozentuale Verteilung der Traumaart.

Klassifiziert nach Judet-Letournel traten Zwei-Pfeiler-Frakturen mit einem Anteil von 53% mit Abstand am häufigsten auf, gefolgt von vorderem Pfeiler mit Hemiquerfraktur mit 17%. Die Elementarfrakturen hinterer Pfeiler (isoliert), vordere Wand und Querfraktur sind in der Studienpopulation *nicht* aufgetreten. Eine Übersicht über die Verteilung der aufgetretenen Frakturtypen gibt Abbildung 14.

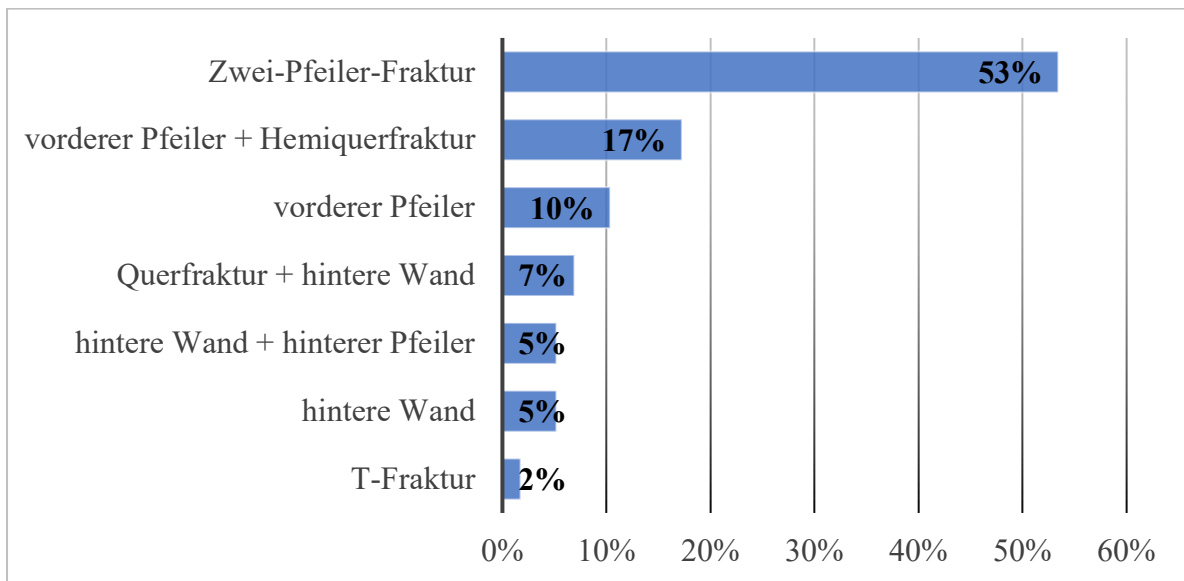


Abbildung 14: Aufgetretene Frakturtypen der Studienpopulation klassifiziert nach Judet-Letournel

3.1.3 Messdaten der Steps und Gaps

Die CT-Messungen bewegten sich im Median zwischen 1,3 mm – 1,65 mm für Steps und zwischen 2,2 mm – 3,4 mm für Gaps. Der jeweils kleinste gemessene Wert sowohl für Steps als auch für Gaps lag bei 0,0 mm, d.h. es lag in der jeweiligen Messung kein Step bzw. Gap vor. Die Maxima der Messungen unterschieden sich deutlich, mit maximal gemessenen Steps von 5,6 mm axial, 5,3 mm coronar und 6,4 mm sagittal, während die größten gemessenen Gaps bei 13,5 mm axial, 14,6 mm coronar und 15,1 mm sagittal lagen. Einen weiteren Überblick über die gemessenen Steps und Gaps gibt Tabelle 3.

		Step axial in mm	Gap axial in mm	Step coronar in mm	Gap coronar in mm	Step sagittal in mm	Gap sagittal in mm
Mittelwert		1,82	3,64	1,56	3,82	1,86	3,82
Median		1,65	3,40	1,30	2,20	1,35	2,85
Std.- Abweichung		1,51	2,72	1,39	3,54	1,53	3,30
Minimum		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum		5,60	13,50	5,30	14,60	6,40	15,10
Perzentile	25	0,68	1,88	0,58	1,48	0,80	1,55
	50	1,65	3,40	1,30	2,20	1,35	2,85
	75	2,90	4,75	2,33	6,35	2,50	5,63

Tabelle 3: Deskriptive Messdaten der Steps und Gaps.

3.1.4 Follow-Up mit Kellgren-Lawrence-Scores

Das radiologische Follow-Up erfolgte im Median nach 1,85 Jahren. In lediglich 5% der Fälle zeigte sich ein Kellgren-Lawrence-Score von 0. Der Median des Kellgren-Lawrence-Scores lag bei 2, wobei sich prozentual betrachtet eine Tendenz zu höherwertigen Scores zeigte. Eine detaillierte Übersicht der Verteilung des Arthrosegrades ist in Abbildung 15 dargestellt.

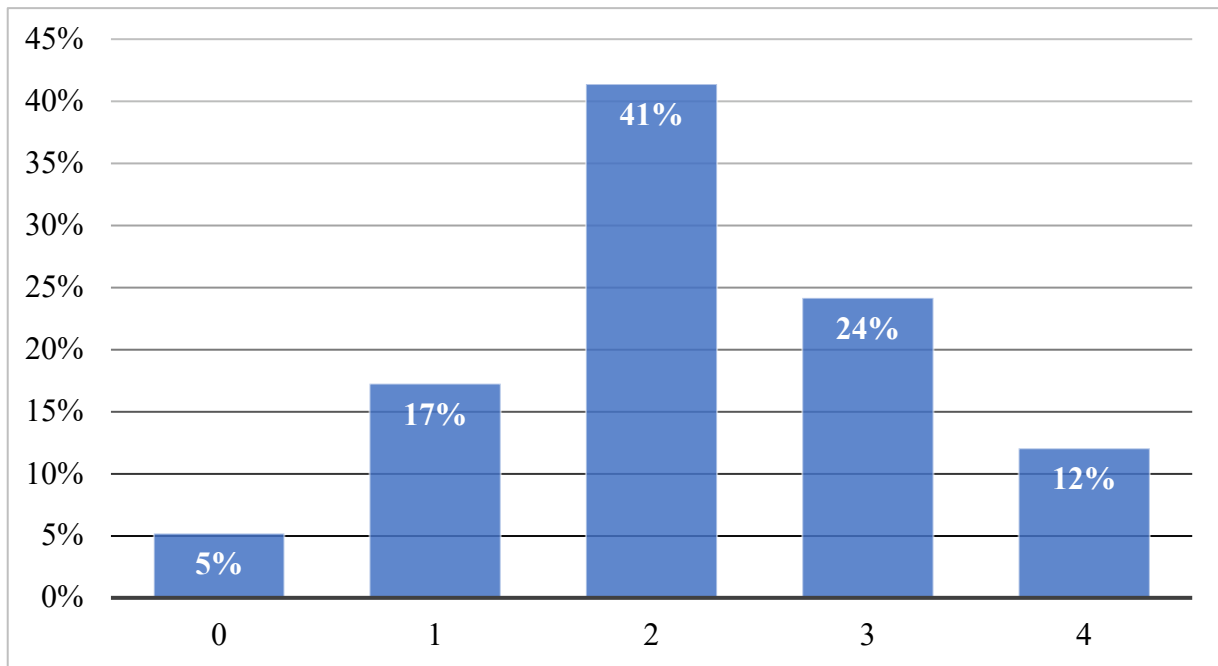


Abbildung 15: Verteilung der gemessenen Kellgren-Lawrence-Scores der Studienpopulation im Follow-Up.

3.2 Korrelation von Steps und Gaps mit Kellgren-Lawrence Score

Sowohl die gemessenen Steps als auch Gaps korrelierten hochsignifikant positiv mit dem Arthrosegrad. Die Effektstärke nach Cohen (48) war mittelstark in den axialen und coronaren Messungen, sowie stark für Steps in der sagittalen Ebene und schwach für Gaps in der sagittalen Ebene (s. Tabelle 4).

	Step axial	Gap axial	Step coronar	Gap coronar	Step sagittal	Gap sagittal
Korrelationskoeffizient	.399**	.373**	.494**	.478**	.600**	.267*
Signifikanz p (2-seitig)	0,002	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	0,043
N	58	58	58	58	58	58
Cohen-Effektstärke	mittelstark	mittelstark	mittelstark	mittelstark	stark	schwach

Tabelle 4: Spearman-Korrelationen der postoperativ gemessenen Steps und Gaps mit dem Kellgren-Lawrence Score in der Follow-Up Bildgebung.

Legende: N = Stichprobengröße *Korrelation ist signifikant auf dem 0,05-Niveau (2-seitig) **Korrelation ist signifikant auf dem 0,01-Niveau (2-seitig)

3.3 Einfluss des Frakturtyps auf Steps und Gaps

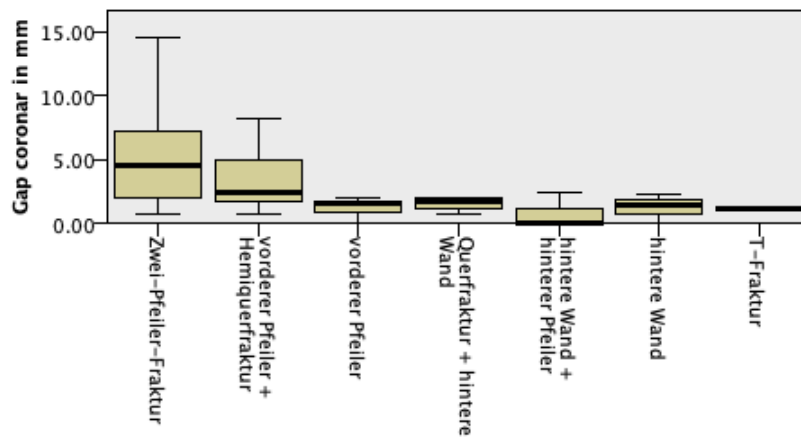
Im Kruskal-Wallis-Test für unverbundene Stichproben konnte – abgesehen für coronare Gaps – kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Frakturtyp nach Judet-Letournel und dem Ausmaß postoperativer Steps und Gaps hergestellt werden, wie in Tabelle 5 dargestellt ist.

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von Step axial in mm ist über die Kategorien von Frakturen nach Judet-Letournel identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	.536	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von Gap axial in mm ist über die Kategorien von Frakturen nach Judet-Letournel identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	.070	Nullhypothese beibehalten
3	Die Verteilung von Step coronar in mm ist über die Kategorien von Frakturen nach Judet-Letournel identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	.786	Nullhypothese beibehalten
4	Die Verteilung von Gap coronar in mm ist über die Kategorien von Frakturen nach Judet-Letournel identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	.007	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von Step sagittal in mm ist über die Kategorien von Frakturen nach Judet-Letournel identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	.298	Nullhypothese beibehalten
6	Die Verteilung von Gap sagittal in mm ist über die Kategorien von Frakturen nach Judet-Letournel identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	.088	Nullhypothese beibehalten

Tabelle 5: Übersicht der Kruskal-Wallis-Tests aus SPSS für die Verteilung von Steps und Gaps über die Frakturtypen nach Judet-Letournel.

Der Kruskal-Wallis-Test für die Verteilung coronarer Gaps über die unterschiedlichen Verletzungsmuster nach Judet-Letournel wird folgend in Abbildung 16 dargestellt. Auffällig ist die große Spannweite coronarer Gaps bei Zwei-Pfeiler-Frakturen.

Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben



Gesamtanzahl	58
Teststatistik	17.810
Freiheitsgrade	6
Asymptotische Sig. (2-seitiger Test)	.007

1. Die Teststatistik wird auf Bindungen angepasst.

Abbildung 16: Kruskal-Wallis-Test für die Verteilung coronarer Gaps über die Verletzungsmuster nach Judet-Letournel.

3.4 Zusammenhang einer klinisch relevanten Arthrose mit dem Ausmaß von Steps und Gaps

In Anlehnung an die Ursprungsidee der Matta-Kriterien und vor dem Hintergrund, dass hohe Kellgren-Lawrence-Scores ≥ 3 mit einem schlechten klinischen Bild einhergehen (49), wurde die Studienpopulation wie in Kapitel 2.6 beschrieben in eine „Gruppe A“ mit Kellgren-Lawrence Scores von 0-2 („keine klinisch relevante Arthrose“, N=37) und eine weitere „Gruppe B“ mit Kellgren-Lawrence Scores von 3-4 („klinisch relevante Arthrose“, N=21) aufgeteilt. Die statistische Analyse zeigte signifikante Unterschiede bei mittelstarken Effekten nach Cohen (48), außer für sagittale Gaps. Die Steps und Gaps präsentierten sich demnach in Gruppe B deutlich höher. So hatten Fälle mit einer klinisch relevanten Arthrose Mittelwerte von Steps über 2 mm postoperativ sowie Mittelwerte bei Gaps über 4 mm bzw. 5 mm postoperativ. Zudem wurden erneut Unterschiede zwischen den Werten von Gaps gegenüber Steps deutlich. Die Mittelwerte in

der Höhe von Gaps zeigte sich sowohl in Gruppe A als auch in Gruppe B jeweils auffällig höher als die der korrespondierenden Steps. Dies ist zusammengefasst in Tabelle 6.

		Gruppe A (N=37)	Gruppe B (N=21)
Step axial	Mittelwert	1,43	2,52
	Standardabweichung	±1,35	±1,55
	Asymptotische Signifikanz p	0,009	
Gap axial	Mittelwert	2,82	5,08
	Standardabweichung	±2,27	±2,90
	Asymptotische Signifikanz p	0,002	
Step coronar	Mittelwert	1,16	2,27
	Standardabweichung	±1,21	±1,43
	Asymptotische Signifikanz p	0,003	
Gap coronar	Mittelwert	2,68	5,85
	Standardabweichung	±2,64	±4,04
	Asymptotische Signifikanz p	0,001	
Step sagittal	Mittelwert	1,38	2,70
	Standardabweichung	±1,34	±1,50
	Asymptotische Signifikanz p	<0,001	
Gap sagittal	Mittelwert	3,24	4,84
	Standardabweichung	±2,94	±3,72
	Asymptotische Signifikanz p	0,099	

Tabelle 6: Eckdaten der Steps und Gaps gesplittet mit Gruppenvariable Kellgren-Lawrence-Score 0-2 (Gruppe A) bzw. 3-4 (Gruppe B) mit Angabe der Signifikanz nach Berechnung des Mann-Whitney-U. Mittelwert und Standardabweichung jeweils in mm.

3.5 ROC-Kurve mit Sensitivitäts- und Spezifitätsniveaus für unterschiedlich hohe Steps und Gaps

Auf Basis der Studiengruppen aus Kapitel 3.5 wurde eine ROC-Kurve (Abbildung 17) angefertigt, wobei als positiver Zustand ein Kellgren-Lawrence-Score von 3-4 als klinisch relevante Arthrose definiert wurde (s. Kapitel 2.6, 3.4). Erwartungsgemäß zeigten sich die Steps und Gaps in allen Ebenen ($p < 0,01$) bis auf sagittale Gaps ($p = 0,09$) signifikant.

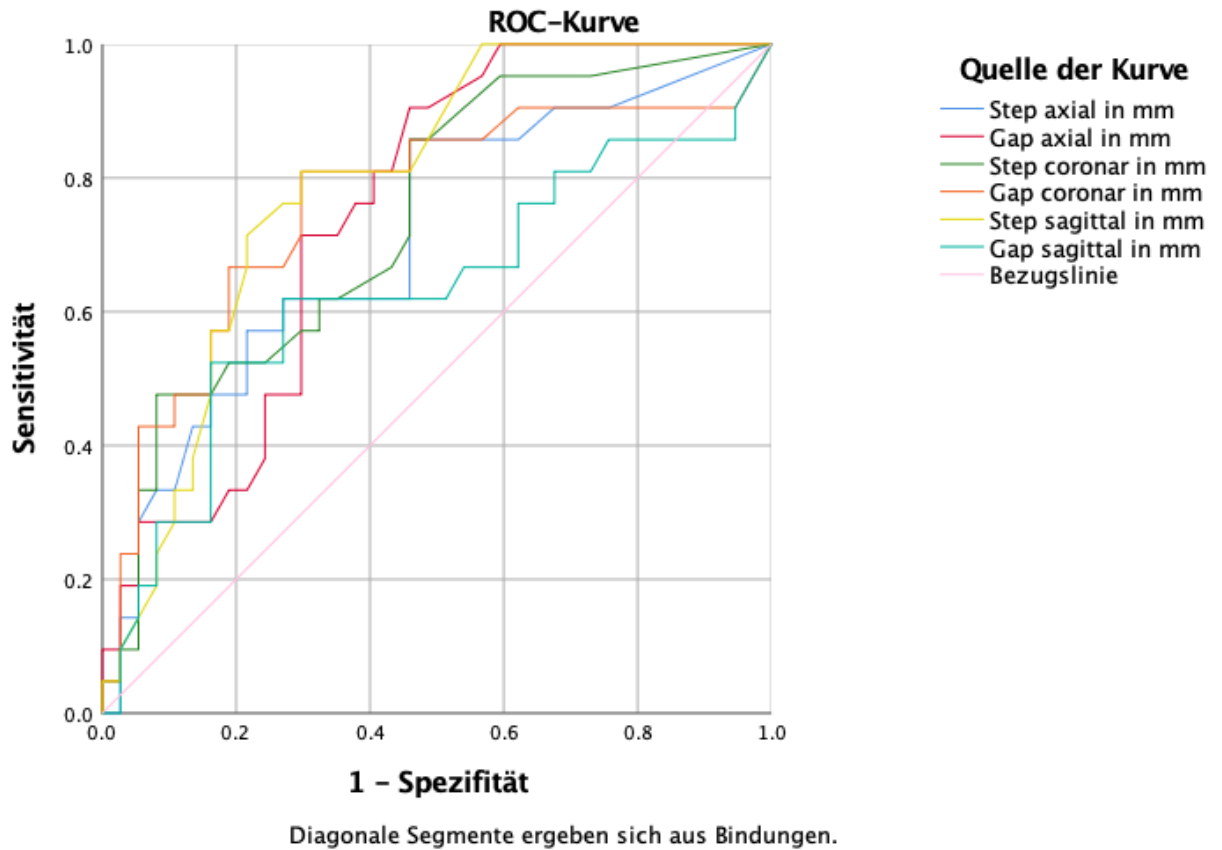


Abbildung 17: ROC-Kurve mit Sensitivitäts- und Spezifitätsniveaus für unterschiedlich hohe Steps und Gaps.

Erstellt mit SPSS 25.

Einen Überblick zu den Signifikanzniveaus der ROC-Kurve gibt Tabelle 7.

Variablen für Testergebnis	Fläche	Std.-Fehler	Asymptotische Signifikanz p	Asymptotisches 95% Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Step axial in mm	0,708	0,072	0,009	0,567	0,850
Gap axial in mm	0,747	0,063	0,002	0,623	0,871
Step coronar in mm	0,739	0,067	0,003	0,608	0,871
Gap coronar in mm	0,761	0,071	0,001	0,622	0,901
Step sagittal in mm	0,791	0,059	<0,001	0,676	0,906
Gap sagittal in mm	0,631	0,082	0,099	0,471	0,792

Tabelle 7: Fläche unter der ROC-Kurve mit Statistik

Die Koordinaten der Kurve zeigten deutlich unterschiedliche Sensitivitäts- und Spezifitätsniveaus für Steps im Vergleich zu Gaps. Insbesondere eine 90-prozentige Spezifität wurde erst bei deutlich größeren Gaps erreicht. So sind für eine 90-prozentige Spezifität Steps von 3,35 mm (axial), 2,45 mm (coronar) und 3,85 mm (sagittal) notwendig. Im Gegensatz hierzu sind für eine 90-prozentige Spezifität Gaps von 5,25 mm (axial), 6,90 mm (coronar) bzw. 6,45 mm (sagittal) notwendig. Dieser Unterschied in der Höhe von Steps und Gaps relativ zur erreichten Spezifität bildete sich in allen Messebenen und über alle Spezifitätsniveaus ab (s. Tabelle 10).

	Spezifität			
	25%	50%	75%	90%
Step axial	0,50	1,05	2,05	3,35
Gap axial	1,05	2,55	4,35	5,25
Step coronar	0,15	0,85	1,80	2,45
Gap coronar	1,25	1,95	2,90	6,90
Step sagittal	0,65	1,05	1,80	3,85
Gap sagittal	1,50	2,65	4,15	6,45

Tabelle 8: Überblick der Spezifitätswerte der einzelnen Testvariablen innerhalb der ROC Kurve aus Abb. 17.

Alle Werte in mm.

4. Diskussion

4.1 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse aus Kapitel 3

Ziel dieser Arbeit war es, den Zusammenhang zwischen residualen postoperativen Steps und Gaps nach operativer Stabilisierung von Azetabulumfrakturen anhand von CT-Daten zu untersuchen. Die Arbeit zeigt, dass bei Vorliegen einer klinisch relevanten posttraumatischen Koxarthrose (Gruppe B) die residualen Steps und Gaps signifikant höher waren als bei niedrigen Kellgren-Lawrence-Scores (Gruppe A). Es zeigte sich, dass die Mittelwerte der Steps in Gruppe B über 2 mm lagen, während sie in Gruppe A unter 2 mm lagen. Bezüglich der residualen Gaps scheint grundsätzlich eine bessere Toleranz vorzuliegen, wie es bereits in der Literatur vermutet wird. In unserem Kollektiv zeigten sich hier in Gruppe A Mittelwerte um 3 mm, während es in Gruppe B um 5 mm waren. Ein genauer Cut-Off-Wert kann in diesem Zusammenhang nicht angegeben werden, da die Fallzahl für eine solche Festlegung zu gering ist.

Die vorliegende Patientenkohorte war gekennzeichnet von einer Dominanz des männlichen Geschlechts mit 72%. Darüber hinaus zeigte sich eine zweigipflige Altersverteilung mit einem ersten Peak bei 30-39 Jahren und einen zweiten Peak bei 70-79 Jahren. Beim Frakturtyp nach Judet-Letournel war die Zwei-Pfeiler-Fraktur mit einem Anteil von 53% mit Abstand am häufigsten vertreten. Im radiologischen Follow-Up waren in lediglich 5% der Fälle keine pathologischen Gelenkveränderungen vorhanden (Kellgren-Lawrence-Score 0), am häufigsten lag in 41% der Fälle eine Kellgren-Lawrence-Score von 2 vor.

Obwohl die Komplexität der einzelnen Frakturtypen sehr unterschiedlich ist, konnte kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Kellgren-Lawrence-Scores und dem Frakturtyp nach Judet-Letournel herausgearbeitet werden.

Angemerkt sein soll an dieser Stelle noch, dass es sich bei den als relevant erachteten Steps und Gaps jeweils wie unter Kapitel 2.4.2 um Dislokationen in der Hauptbelastungszone des Azetabulums handelt. Frakturbedingte Veränderungen in dieser Hauptbelastungszone, insbesondere des superioren Anteils, wurden in der Vergangenheit als klinisch ausschlaggebend bewertet (5-7). Im Gegenzug wurden klinisch zufriedenstellende Ergebnisse auch mit residualen Steps oder Gaps erreicht, solange diese sich außerhalb der Hauptbelastungszone befanden (51).

4.2 Forschungsergebnisse anderer Autoren

Bereits publizierte Studien zeigten eine ähnliche Geschlechterverteilung mit einer Prädominanz männlicher Patienten (52, 53). Auch konnte die zweigipflige Altersverteilung sowohl bei Frakturen generell (54), als auch bei Azetabulumfrakturen im Speziellen bereits gezeigt werden (12). Somit scheint die hier vorliegende Patientenkohorte vergleichbar mit den in der Literatur vorhandenen Daten. Betrachtet man jedoch die Verteilung der Frakturtypen, so zeigen die Daten eine andere Verteilung:

Im untersuchten Studienkollektiv traten 2-Pfeiler-Verletzungen in 53% der Fälle auf, wohingegen Judet und Letournel in ihrer Arbeit einen Anteil von 23% und Gänsslen und Oestern nur 21% dieses Frakturtyps erhoben haben (9) (55). Isolierte Frakturen der hinteren Wand hingegen traten in dieser Studie mit 5% nur selten auf, während Daten in der Literatur Raten von 18% - 24% widerspiegeln (9, 55). Dies könnte auf die geographische Lage des Traumazentrums des CMSC zurückgeführt werden. Als innerstädtisches Großklinikum in Berlin sind klassische „Dashboard“-Verletzungen, also Frakturen der hinteren Wand mit begleitender traumatischer Hüftluxation, wie sie vornehmlich bei schweren Verkehrsunfällen auftreten (Anschlagen des Kniegelenkes gegen das Armaturenbrett und konsekutive Luxation der Hüfte nach dorsal mit Fraktur der hinteren Wand des Azetabulums) im CMSC unterrepräsentiert, sie kommen in ländlichen Regionen häufiger vor. Die Gruppe um Gänsslen und Oestern hatte ihr Kollektiv in Hannover zusammengestellt, welches eher einen ländlichen Charakter widerspiegelt. Dahingegen sind die innerstädtischen Hochrasanztraumata durch Stürze aus großer Höhe oder Verkehrsunfälle mit Passanten oder Fahrrädern gekennzeichnet, was den überaus großen Anteil an komplexen 2-Pfeiler-Verletzungen erklären könnte.

Ein weiterer Erklärungsansatz könnte im Studienzeitraum begründet liegen. Es konnte bereits gezeigt werden, dass das Durchschnittsalter von Patienten mit Azetabulumfrakturen immer weiter ansteigt und dass in den letzten Jahren der Anteil an Frakturen des vorderen Pfeilers mit posterior-hemitransverser Komponente sowie 2-Pfeiler-Verletzungen bei reduzierter Knochenqualität deutlich ansteigen (56-58).

Der Einfluss des Frakturtyps nach Judet-Letournel im Zusammenhang mit begleitenden Faktoren insbesondere für das Langzeitergebnis ist viel diskutiert und die Literatur liefert hierzu gegensätzliche Ergebnisse; beispielsweise fanden Briffa *et al.* (28) negative Assoziationen im Therapieergebnis bei Frakturen des hinteren Pfeilers, Lichte *et al.* (59) sahen negative Ergebnisse im Zusammenhang mit Zwei-Pfeiler-Frakturen, während bei Tannast *et al.* (33) und bei Letournel

et al. (9) Frakturen der vorderen Wand als negativster prognostischer Faktor galten. Im Gegensatz hierzu fanden Autoren wie beispielsweise Meena *et al.* (60) keinen Zusammenhang zwischen Frakturtyp und Therapieergebnis. Generelle Einigkeit in Literatur besteht jedoch darüber, dass die Qualität der operativen Reposition im Sinne einer möglichst geringen Dislokation der Fragmente als einer der Hauptprognosefaktoren für das klinische Ergebnis verantwortlich ist (5, 9, 28, 41, 59).

Aus den Daten der hier vorliegenden Arbeit konnte kein Zusammenhang zwischen dem Frakturtyp und der Entstehung einer posttraumatischen Koxarthrose hergestellt werden, wobei hier durch die niedrige Fallzahl nur eine eingeschränkte Aussagekraft besteht. Dahingegen wurde klar gezeigt, dass mit zunehmendem postoperativem Step bzw. Gap der Grad der posttraumatischen Arthrose im Follow-Up zunimmt und das Ergebnis somit im Einklang mit bereits publizierten Studien steht (5, 9-11, 23, 41).

Die Gruppe um Verbeek *et al.* hat im Zeitraum 2017 bis 2019 einige Studien publiziert (44, 46, 61), in welchen die Autoren ebenfalls eine postoperative CT-Bildgebung mit postoperativen Röntgenbildern bezüglich der Aussagekraft für die Qualität der operativen Reposition gemessen am Langzeitergebnis untersuchen. Im Unterschied zu dieser Arbeit wenden die Autoren jedoch eine andere Messmethode an (45): Während die von Verbeek *et al.* verwendeten Definitionen von Step und Gap sich mit denjenigen dieser Arbeit decken, wird der Step anders gemessen. Auch von ihnen werden mittels eines Kreis-Tools die Gelenkfläche des Azetabulums in der Belastungszone erfasst. Es wird nicht direkt von der per Kreistool nachgebildeten idealen Gelenkfläche wie unter 2.4 beschrieben eine direkte radiale Messung vorgenommen, sondern der Unterschied zweier aus dem Zentrum des Femurkopfes radial zur Gelenkfläche des Azetabulums reichenden Linien vor und hinter der Fraktur als Step berechnet (s. Abbildung 18) (45).

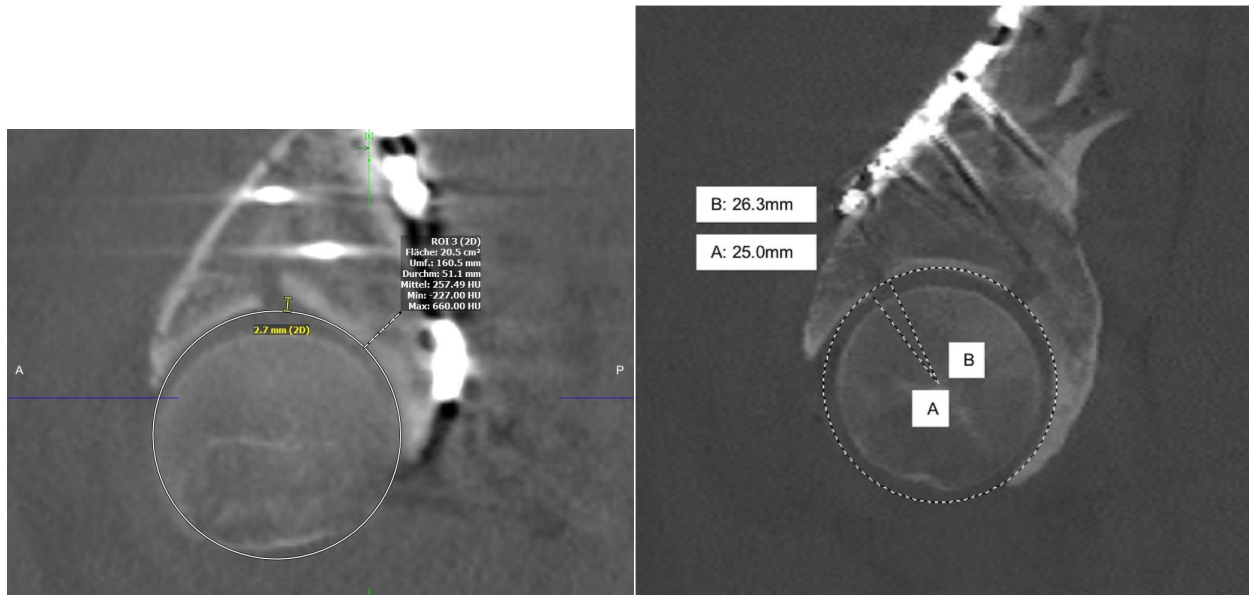


Abbildung 18: Vergleich der unterschiedlichen Messung einer Step in der Literatur

links: Messung der hier vorliegenden Arbeit wie unter 2.4 beschrieben: eine Step wird ausgehend von der per Kreis nachgebildeten Gelenkfläche des Azetabulums gemessen.

rechts: Messung nach Verbeek *et al.* (45): Eine Step wird als Differenz zweier Linien zur Gelenkfläche des Azetabulums hin mit dem Femurkopf als Zentrum gemessen. Aus: Verbeek DO, van der List JP, Moloney GB, Wellman DS, Helfet DL. Assessing Postoperative Reduction After Acetabular Fracture Surgery: A Standardized Digital Computed Tomography-Based Method. *J Orthop Trauma.* 2018;32(7):e284-e8 (45)

Diese Messmethode wird an dieser Stelle als kritisch erachtet, denn ein reliables Ergebnis wird nur erreicht, wenn das Referenzfragment wie in Abbildung 18 gezeigt zwar eingedrückt aber nicht verkippt ist (wie in Abbildung 18 links). Daher wird die in dieser Arbeit angewandte Methode als reproduzierbarer angesehen.

Weiterhin beziehen Verbeek *et al.* sich in ihren Ergebnissen (44, 46, 61) auf die Wahrscheinlichkeit des „hip-survivorship“, also der Überlebenswahrscheinlichkeit des Hüftgelenks, gemessen als Nicht-Überleben im Sinne der Implantation einer TEP im Follow-Up-Verlauf.

Nichtsdestotrotz wurde auch von Verbeek *et al.* eine Diskrepanz zwischen postoperativ gemessenem Step und Gap im Hinblick auf das Ergebnis festgestellt: So wird von den Autoren ein Step von < 1 mm als „adäquat“ und ein Step von ≥ 1 mm bereits als „inadäquat“ in Bezug auf die operative Reposition gewertet (46). Dagegen wurde ein Gap bis 5 mm bei Patienten ab einem Alter von 50 Jahren als noch adäquat bewertet, während ein Gap von ≥ 5 mm mit einer erhöhten Rate an verlaufsmäßiger Implantation einer TEP assoziiert war. Bei Patienten unter 50 Jahre zählte

allein der Step von ≥ 1 mm als signifikanter Risikofaktor zur Implantation einer TEP. Dementsprechend sehen Verbeek *et al.* die Qualität der operativen Reposition mit einem Cut-Off von 1 mm für Steps noch kritischer als diese Arbeit.

4.3 Limitationen dieser Arbeit

Diese Untersuchung ist durch Ihren retrospektiven Charakter mit all den damit einhergehenden Einschränkungen limitiert. Des Weiteren ist die Studienkohorte mit 58 auswertbaren Fällen relativ gering. Basierend darauf sind die statistischen Methoden begrenzt, sodass Detailfragen hier nicht zufriedenstellend beantwortet werden können. Darüber hinaus wurde in der Literatur mitunter eine nur bedingt zuverlässige Intra- und Interobserver-Reliabilität des Kellgren-Lawrence-Scores beschrieben (47, 49). Hiergegen lässt sich wiederum argumentieren, dass der Kellgren-Lawrence-Score trotz dieser bekannten Schwächen mit dem klinischen Bild positiv korreliert (49) und auch wie erwähnt sich die Ergebnisse dieser Arbeit mit denen von Verbeek *et al.* decken (44, 46), in welchen mit der Implantation einer TEP ein objektiver, handfester Messpunkt als Follow-Up-Parameter definiert ist. Als letzte Limitation ist das kurzfristige Follow-Up zu nennen, sodass posttraumatisch degenerative Veränderungen unter Umständen noch nicht erfasst sind. Dennoch werden die Ergebnisse hier positiv gesehen, denn in der klinischen Erfahrung entsteht eine posttraumatische Koxarthrose nach Azetabulumfrakturen in der Regel sehr schnell, da dieses Gelenk ähnlich wie der Tibiakopf die volle axiale Last des Körpers zu tragen hat und eine Schonung des Gelenkes nur eingeschränkt möglich ist.

4.4 Schlussfolgerung und Ausblick

Als Schlussfolgerung lässt sich in Zusammenschau mit den Ergebnissen dieser Arbeit und den Ergebnissen anderer Autoren (s. Kapitel 4.3) formulieren, dass künftig unbedingt auf Basis einer standardisierten CT-basierten Messmethode residuale postoperative Frakturdislokationen von Azetabulumfrakturen gesichtet und Steps und Gaps bewertet werden sollten. Postoperative Steps von mehr als 2 mm sind nach der Meinung dieser Arbeit nach bereits kritisch und führen signifikant häufig zu einer posttraumatischen Koxarthrose. Gaps von mehr als 5 mm waren in den untersuchten Daten ebenfalls mit einer höheren Rate an Degeneration vergesellschaftet. Andere

Autoren haben Steps > 1 mm bereits als kritisch bewertet und mit erhöhten Raten an Implantationen von TEPs im Verlauf in Verbindung gebracht, wohingegen Gaps von ebenfalls mehr als 5 mm in Hinblick auf ein ähnliches Ergebnis als kritisch erachtet werden (44, 46).

Grundsätzlich zeigen die vorliegenden Daten, als auch die Studie von Verbeek *et al.*, dass die originären Matta-Kriterien weiterhin angewandt werden können. Die Daten weisen darauf hin, dass eine Stufe von 2 mm oder mehr langfristig zu einer klinisch relevanten Koxarthrose führt. Künftig gilt es zu diskutieren, inwieweit die ursprüngliche Matta-Einteilung noch aufrecht erhalten werden muss, oder ob eine vereinfachte Klassifikation für den klinischen Alltag sinnvoller ist. Die Analyse hat jedoch auch gezeigt, dass nahezu alle Patienten mit dieser Verletzung unabhängig von Repositionsqualität und Frakturtyp posttraumatische degenerative Veränderungen des Hüftgelenkes aufweisen. Inwieweit dies im Langzeit-Follow-Up zu einer relevanten Anzahl an Gelenkersatzoperationen führt, kann hier nicht beantwortet werden und war auch nicht Fokus dieser Untersuchung. Es gilt also künftig zwei Fragen näher zu beleuchten:

- i. Können die Matta-Kriterien vereinfacht werden und fixe Cut-Off Werte für Steps/Gaps etabliert werden?
- ii. Kann eine neue Klassifikation etabliert werden, die eine Prognose für die Notwendigkeit einer Gelenkersatzoperation im Langzeitverlauf per mm Repositionsfehler erlaubt?

Diese Fragen lassen sich nur in großen Studienkohorten mit Langzeitverläufen beantworten und müssen im multizentrischen Ansatz geklärt werden.

Außerdem könnte die Messmethode noch einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse haben: So könnten beispielsweise die genaue Lokalisation eines Steps oder Gaps innerhalb des Azetabulums eine Rolle spielen (z. B. Hauptbelastungszone versus Fossa-nah). Auch die Femurkopfmorphologie sowie die Integrität des Knorpels und hieraus resultierend die Gelenkarchitektur insgesamt nach Reposition steht im Zusammenhang mit der Entwicklung posttraumatischer Arthrosen (62). Intraoperativ ist es nur eingeschränkt möglich, eine vollständige Beurteilung des azetabulären aber auch des femoralen Knorpels zu erheben. Angesichts der relativen niedrigen Inzidenz von Azetabulumfrakturen ist es jedoch – wie bereits erwähnt – anspruchsvoll, ein ausreichend großes Studienkollektiv für statistisch sinnvolle Subgruppenanalysen zu gewinnen.

Es gilt künftig auch zu klären, inwieweit die Indikation zur operativen versus zur konservativen Therapie von Azetabulumfrakturen überarbeitet werden muss. In der Literatur werden minimal

verschobene Frakturen mit einer Fragmentdislokation von weniger als 2 mm im Allgemeinen als Indikation zur konservativen Behandlung angesehen (11, 24). Gleichsam wird hier festgestellt, dass mehr als 2 mm Dislokation in erheblichem Maße zur posttraumatischen Arthrose führt. Jedoch basieren diese Empfehlungen auf Auswertungen von konventionell radiologischen Aufnahmen nach Judet (24). Die Anwendung einer standardisierten CT-basierten Messung wäre nun angebracht, um eine genauere Analyse der Dislokation und basierend darauf eine bessere Indikation pro operativer oder pro konservativer Therapie stellen zu können.

Letztendlich kann aus den Ergebnissen dieser Arbeit noch keine eindeutige Empfehlung zur Therapie o.ä. abgeleitet werden. Dennoch wird deutlich, dass die Matta-Kriterien in ihrer ursprünglichen Form nicht mehr als zeitgemäß zu bewerten sind, und einer Anpassung bedürfen. Standardisierte CT-basierte Messungen bilden das operative Repositionsergebnis von Azetabulumfrakturen im Hinblick auf das Langzeitergebnis im Sinne von Koxarthrose besser ab und sind der konventionellen Messung nach Matta mit Röntgenbildern nach Judet überlegen. In künftigen Analysen müssen die Ergebnisse vertieft und Kriterien erarbeitet werden, die dann zu einer adaptierten Matta-Einteilung führen.

5. Literaturverzeichnis

1. Lawrence DA, Menn K, Baumgaertner M, Haims AH. Acetabular fractures: anatomic and clinical considerations. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;201(3):W425-36.
2. Standring S. *Gray's anatomy : the anatomical basis of clinical practice.* Forty-first edition. ed. New York: Elsevier Limited; 2016. xviii, 1562 pages p.
3. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.* 4. Auflage ed. Stuttgart: Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014.
4. Kurrat HJ, Oberlander W. The thickness of the cartilage in the hip joint. *J Anat.* 1978;126(Pt 1):145-55.
5. Olson SA, Matta JM. The computerized tomography subchondral arc: a new method of assessing acetabular articular continuity after fracture (a preliminary report). *J Orthop Trauma.* 1993;7(5):402-13.
6. Dodd A, Osterhoff G, Guy P, Lefaivre KA. Radiographic Measurement of Displacement in Acetabular Fractures: A Systematic Review of the Literature. *J Orthop Trauma.* 2016;30(6):285-93.
7. Moed BR, Carr SE, Gruson KI, Watson JT, Craig JG. Computed tomographic assessment of fractures of the posterior wall of the acetabulum after operative treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(3):512-22.
8. Sobotta J, Putz R. *Anatomie des Menschen der komplette Atlas in einem Band; Allgemeine Anatomie, Bewegungsapparat, Innere Organe, Neuroanatomie.* 22., neu bearb. Aufl., Sonderausg. ed. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2007. 830 S. p.
9. Letournel Em, Judet R, Elson R. *Fractures of the acetabulum.* 2nd ed. Berlin ; New York: Springer-Verlag; 1993. xxiii, 733 p. p.
10. Judet R, Judet J, Letournel E. Fractures of the Acetabulum: Classification and Surgical Approaches for Open Reduction. Preliminary Report. *J Bone Joint Surg Am.* 1964;46:1615-46.

11. Tile M, Helfet DL, Kellam JF, Vrahas M. Fractures of the Pelvis and Acetabulum: Principles and Methods of Management. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2015. 978 p.
12. Rinne PP, Laitinen MK, Huttunen T, Kannus P, Mattila VM. The incidence and trauma mechanisms of acetabular fractures: A nationwide study in Finland between 1997 and 2014. *Injury*. 2017;48(10):2157-61.
13. Laird A, Keating JF. Acetabular fractures: a 16-year prospective epidemiological study. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(7):969-73.
14. Dakin GJ, Eberhardt AW, Alonso JE, Stannard JP, Mann KA. Acetabular fracture patterns: associations with motor vehicle crash information. *J Trauma*. 1999;47(6):1063-71.
15. Ferguson TA, Patel R, Bhandari M, Matta JM. Fractures of the acetabulum in patients aged 60 years and older: an epidemiological and radiological study. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(2):250-7.
16. Gebre RK, Hirvasniemi J, Lantto I, Saarakkala S, Leppilahti J, Jamsa T. Discrimination of Low-Energy Acetabular Fractures from Controls Using Computed Tomography-Based Bone Characteristics. *Ann Biomed Eng*. 2020.
17. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res*. 1980(151):81-106.
18. Wirth C-J, Abdolvahab F. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 3., vollst. überarb. Aufl. ed. Stuttgart u.a.: Thieme; 2014. 1140 S. p.
19. Müller ME. *The comprehensive classification of fractures of long bones*. Berlin ; New York: Springer-Verlag; 1990. xiii, 201 p. p.
20. Urist MR. Fracture-dislocation of the hip joint; the nature of the traumatic lesion, treatment, late complications and end results. *J Bone Joint Surg Am*. 1948;30A(3):699-727.
21. Rowe CR, Lowell JD. Prognosis of fractures of the acetabulum. *J Bone Joint Surg Am*. 1961;43A:30.
22. Moed BR, McMichael JC. Outcomes of posterior wall fractures of the acetabulum. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(6):1170-6.

23. Matta JM, Anderson LM, Epstein HC, Hendricks P. Fractures of the acetabulum. A retrospective analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 1986(205):230-40.
24. Clarke-Jenssen J, Wikeroy AK, Roise O, Ovre SA, Madsen JE. Long-Term Survival of the Native Hip After a Minimally Displaced, Nonoperatively Treated Acetabular Fracture. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(16):1392-9.
25. Tornetta P, 3rd. Displaced acetabular fractures: indications for operative and nonoperative management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2001;9(1):18-28.
26. Gay SB, Siström C, Wang GJ, Kahler DA, Boman T, McHugh N, Goitz HT. Percutaneous screw fixation of acetabular fractures with CT guidance: preliminary results of a new technique. *AJR Am J Roentgenol.* 1992;158(4):819-22.
27. Murphy CG, Carrothers AD. Fix and replace; an emerging paradigm for treating acetabular fractures. *Clin Cases Miner Bone Metab.* 2016;13(3):228-33.
28. Briffa N, Pearce R, Hill AM, Bircher M. Outcomes of acetabular fracture fixation with ten years' follow-up. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(2):229-36.
29. Haas NP, Krettek C. *Tscherne Unfallchirurgie: Hüfte und Oberschenkel*: Springer Berlin Heidelberg; 2011. 480 p.
30. Harris EC, Coggon D. HIP osteoarthritis and work. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2015;29(3):462-82.
31. MacCormick LM, Lin CA, Westberg JR, Schmidt AH, Templeman DC. Acute total hip arthroplasty versus open reduction internal fixation for posterior wall acetabular fractures in middle-aged patients. *OTA International.* 2019;2(1):e014.
32. Capone A, Peri M, Mastio M. Surgical treatment of acetabular fractures in the elderly: a systematic review of the results. *EFORT Open Rev.* 2017;2(4):97-103.
33. Tannast M, Najibi S, Matta JM. Two to twenty-year survivorship of the hip in 810 patients with operatively treated acetabular fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(17):1559-67.
34. Liebergall M, Mosheiff R, Low J, Goldvirt M, Matan Y, Segal D. Acetabular fractures. Clinical outcome of surgical treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 1999(366):205-16.

35. Tosounidis G, Culemann U, Bauer M, Holstein JH, Garcia P, Kurowski R, Pizanis A, Aghayev E, Pohlemann T. [Acetabular fractures in the elderly. Outcome of open reduction and internal fixation]. *Unfallchirurg*. 2011;114(8):655-62.
36. Morison Z, Moojen DJ, Nauth A, Hall J, McKee MD, Waddell JP, Schemitsch EH. Total Hip Arthroplasty After Acetabular Fracture Is Associated With Lower Survivorship and More Complications. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(2):392-8.
37. Ranawat A, Zelken J, Helfet D, Buly R. Total hip arthroplasty for posttraumatic arthritis after acetabular fracture. *J Arthroplasty*. 2009;24(5):759-67.
38. Rommens PM, Ingelfinger P, Nowak TE, Kuhn S, Hessmann MH. Traumatic damage to the cartilage influences outcome of anatomically reduced acetabular fractures: a medium-term retrospective analysis. *Injury*. 2011;42(10):1043-8.
39. Zha GC, Sun JY, Dong SJ. Predictors of clinical outcomes after surgical treatment of displaced acetabular fractures in the elderly. *J Orthop Res*. 2013;31(4):588-95.
40. Bilekdemir U, Civan O, Cavit A, Ozdemir H. Acetabular fractures treated surgically: Which of the parameters affect prognosis. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2020;26(2):265-73.
41. Matta JM, Merritt PO. Displaced acetabular fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1988(230):83-97.
42. Ebraheim NA, Savolaine ER, Hoeflinger MJ, Jackson WT. Radiological diagnosis of screw penetration of the hip joint in acetabular fracture reconstruction. *J Orthop Trauma*. 1989;3(3):196-201.
43. Mardian S, Schaser KD, Hinz P, Wittenberg S, Haas NP, Schwabe P. Fixation of acetabular fractures via the ilioinguinal versus pararectus approach: a direct comparison. *Bone Joint J*. 2015;97-B(9):1271-8.
44. Verbeek DO, van der List JP, Villa JC, Wellman DS, Helfet DL. Postoperative CT Is Superior for Acetabular Fracture Reduction Assessment and Reliably Predicts Hip Survivorship. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(20):1745-52.

45. Verbeek DO, van der List JP, Moloney GB, Wellman DS, Helfet DL. Assessing Postoperative Reduction After Acetabular Fracture Surgery: A Standardized Digital Computed Tomography-Based Method. *J Orthop Trauma*. 2018;32(7):e284-e8.
46. Verbeek DO, van der List JP, Tissue CM, Helfet DL. Predictors for Long-Term Hip Survivorship Following Acetabular Fracture Surgery: Importance of Gap Compared with Step Displacement. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(11):922-9.
47. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957;16(4):494-502.
48. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2. ed. Hillsdale, NJ u.a.: Erlbaum; 1988. XXI, 567 S. p.
49. Reijman M, Hazes JM, Pols HA, Bernsen RM, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM. Validity and reliability of three definitions of hip osteoarthritis: cross sectional and longitudinal approach. *Ann Rheum Dis*. 2004;63(11):1427-33.
50. Muhr G, Tscherne H. [Rescue and first aid for the severely traumatized]. *Chirurg*. 1978;49(10):593-600.
51. Starr AJ, Watson JT, Reinert CM, Jones AL, Whitlock S, Griffin DR, Borer DS. Complications following the "T extensile" approach: a modified extensile approach for acetabular fracture surgery-report of forty-three patients. *J Orthop Trauma*. 2002;16(8):535-42.
52. Mauffrey C, Hao J, Cuellar DO, 3rd, Herbert B, Chen X, Liu B, Zhang Y, Smith W. The epidemiology and injury patterns of acetabular fractures: are the USA and China comparable? *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(11):3332-7.
53. Zhang Y. *Clinical epidemiology of orthopedic trauma*. Stuttgart New York: Thieme; 2012. XV, 629 S. p.
54. Pressley JC, Kendig TD, Frencher SK, Barlow B, Quitel L, Waqar F. Epidemiology of bone fracture across the age span in blacks and whites. *J Trauma*. 2011;71(5 Suppl 2):S541-8.
55. Gansslen A, Oestern HJ. [Acetabular fractures]. *Chirurg*. 2011;82(12):1133-48, quiz 49-50.

56. Helfet DL, Borrelli J, Jr., DiPasquale T, Sanders R. Stabilization of acetabular fractures in elderly patients. *J Bone Joint Surg Am.* 1992;74(5):753-65.
57. Firoozabadi R, Cross WW, Krieg JC, Routt MLC. Acetabular Fractures in the Senior Population- Epidemiology, Mortality and Treatments. *Arch Bone Jt Surg.* 2017;5(2):96-102.
58. Kelly J, Ladurner A, Rickman M. Surgical management of acetabular fractures - A contemporary literature review. *Injury.* 2020.
59. Lichte P, Sellei RM, Kobbe P, Dombroski DG, Gansslen A, Pape HC. Predictors of poor outcome after both column acetabular fractures: a 30-year retrospective cohort study. *Patient Saf Surg.* 2013;7(1):9.
60. Meena UK, Tripathy SK, Sen RK, Aggarwal S, Behera P. Predictors of postoperative outcome for acetabular fractures. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(8):929-35.
61. Verbeek DO, van der List JP, Helfet DL. Computed tomography versus plain radiography assessment of acetabular fracture reduction is more predictive for native hip survivorship. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139(12):1667-72.
62. Olson SA, Bay BK, Pollak AN, Sharkey NA, Lee T. The effect of variable size posterior wall acetabular fractures on contact characteristics of the hip joint. *J Orthop Trauma.* 1996;10(6):395-402.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, René Bredel, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Residuale Step- und Gap-Dislokationen operativ versorgter Azetabulumfrakturen: Einfluss der operativen Reposition auf die Entstehung einer posttraumatischen Koxarthrose“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte. Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Danksagung

Ich möchte mich vielmals bei Herrn PD Dr. med. Sven Märdian für die Überlassung des Themas und die sehr gute Betreuung bedanken. Weiterhin danke ich Herrn PD Dr. med. Serafeim Tsitsilonis und Herrn Dr. med. Niklas Tuttle ebenfalls für die ausgezeichnete Betreuung. Größter Dank gilt ferner insbesondere meinem Vater Tilo Bredel für dessen weitreichende Unterstützung während meines Medizinstudiums und subsequent auch für diese Arbeit. Darüber hinaus danke ich allen weiteren Personen, die das Zustandekommen dieser Arbeit direkt oder indirekt positiv beeinflusst haben.