

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

DISSERTATION

Vergleichende Evaluation von klinischen Ergebnissen nach  
operativer Stabilisierung des dorsalen Beckenrings mittels  
Spinopelviner Fixation oder Transiliakalem Fixateur interne

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Erik Hempel

aus Helmstedt

Datum der Promotion: 17. September 2021

# Inhaltsverzeichnis

I. Vorwort.....	1
II. Abkürzungsverzeichnis .....	2
III. Abstrakt (dt.) .....	4
IV. Abstract (engl.).....	6
1. Einleitung .....	8
1.1. Epidemiologie.....	8
1.2. Anatomie .....	9
1.3. Klassifikation der Beckenring- und Sakrumfrakturen .....	12
1.4. Diagnostik.....	15
1.4.1. Klinische Diagnostik.....	15
1.4.2. Radiologische Diagnostik.....	16
1.4.3. Diagnostik von Begleitverletzungen .....	17
1.5. Therapieoptionen.....	19
1.5.1. Konservative Therapie .....	19
1.5.2. Operative Therapie von Frakturen des ventralen Beckenrings .....	20
1.5.3. Operative Verfahren für Frakturen des dorsalen Beckenrings .....	21
1.6. Rehabilitation und berufliche Reintegration .....	25
1.7. Fragestellung.....	27
2. Methodik .....	28
2.1. Studiendesign und eingeschlossene Patienten .....	28
2.2. Operative Therapie.....	28
2.3. Postoperative Kontrolluntersuchungen.....	32
2.4. Epidemiologische Daten .....	33
2.5. Chirurgische Details .....	33
2.6. Outcomeparameter.....	34
2.7. Statistische Auswertung .....	36
3. Ergebnisse .....	37
3.1. Epidemiologische Daten .....	37
3.2. Chirurgische Details .....	43
3.3. Outcomeparameter.....	46
4. Diskussion.....	51
5. Zusammenfassung .....	63
V. Literaturverzeichnis.....	65
VI. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	71
VII. Anhang.....	72
VIII. Eidesstattliche Versicherung.....	73
IX. Lebenslauf .....	74
X. Publikationsliste .....	75
XI. Danksagung.....	76

---

## **I. Vorwort**

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden veröffentlicht in: Hempel E., Seemann R., Rau D., Lembke V., Tsitsilonis S. Schwabe P., Märdian S.; Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2019). Berlin, 22.-25.10.2019. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2019. DocAB15-1027

## II. Abkürzungsverzeichnis

a.-p.	anterior-posterior
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
CT	Computertomographie
d	Tage
et al.	und andere
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
IPS	Iowa Pelvic Score
L	Segment im lumbalen Abschnitt des Rückenmarks
Lig.	Ligamentum
LKW	Lastkraftwagen
LWK	Lendenwirbelkörper
M.	Muskulus
MCS	Mental Component Summary (Psychischer Summenscore des SF-36)
min	Minuten
MPS	Majeed Pelvic Score
n	Anzahl der Patienten
OP	Operation
p	Signifikanzwert
PCS	Physical component summary (Physischer Summenscore des SF-36)
PKW	Personenkraftwagen
Proc.	Processus
S	Segment im sakralen Abschnitt des Rückenmarks
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
SF-36	Short Form (36) Gesundheitsfragebogen
SMFA-D	Short Musculoskeletal Function Assessment Questionnaire
SI-Schraube	Iliosakrale Schraubenosteosynthese
SPF	Spinopelvine Fixation

TIFI	Transiliakaler Fixateur interne
TVPO	trianguläre vertebropelvine Abstützung
VAS	Visuelle Analogskala

### III. Abstrakt (dt.)

#### Fragestellung:

Dorsale Frakturpathologien des Beckenringes stellen eine therapeutische Herausforderung dar. Trotz steigender Inzidenz hat sich bislang kein operatives Verfahren als Standard durchsetzen können. Die vorliegende retrospektive Studie vergleicht zwei Stabilisierungsverfahren (minimalinvasiver Transiliakaler Fixateur interne [TIFI] und spinopelvine Fixation [SPF]) hinsichtlich klinischer Funktion, Komplikationen und Lebensqualität.

#### Methodik:

Es wurden alle Beckenringfrakturen (ausgenommen kindliche und pathologische) eingeschlossen, welche im Zeitraum von 12/2015 bis 12/2018 in unserer Klinik mittels TIFI (Gruppe A) oder SPF (Gruppe B) versorgt wurden. Es wurden jeweils Unfallmechanismus und Frakturklassifikation erfasst. Die Gruppen wurden hinsichtlich perioperativer Parameter (Krankenhausverweildauer, intraoperative Durchleuchtungszeit, Schnitt-Naht-Zeit) und Komplikationen sowie 13 Patienten hinsichtlich klinischer Parameter (Merle d'Aubigné, Majeed Pelvic Score, Iowa Pelvic Score) und Lebensqualität (SF-36, SMFA-D) verglichen.

#### Ergebnisse:

Es konnten n=42 Patienten eingeschlossen werden (mittl. Alter  $48 \pm 19$  J., m:w 25:17, Gruppe A (TIFI): n=25, Gruppe B (SPF): n=17). Die Krankenhausverweildauer war in beiden Gruppen ähnlich ( $31,8 \pm 17,8$  d zu  $31,0 \pm 15,8$  d;  $p=0,939$ ). Durchleuchtungszeit ( $8,53 \pm 4,27$  min zu  $11,9 \pm 9,08$  min;  $p=0,138$ ) und Schnitt-Naht-Zeit ( $227 \pm 107$  min zu  $291 \pm 148$  min;  $p=0,163$ ) waren bei Gruppe A etwas geringer. Wundheilungsstörungen (8% zu 29,4%;  $p=0,071$ ), Pneumonien (12% zu 29,4%;  $p=0,163$ ) und thromboembolische Ereignisse (8% zu 11,8%;  $p=0,687$ ) waren in Gruppe A seltener. In beiden Gruppen überwogen Becken-C-Frakturen (88% bzw. 94,1%).

Es wurden 13 Patienten nachuntersucht, die Patienten in Gruppe A gaben mit  $3,71 \pm 2,14$  einen höheren Ruheschmerz an als die Patienten in Gruppe B ( $1,33 \pm 1,37$ ;  $p=0,073$ ). Der Majeed Pelvic Score ( $59,9 \pm 23,6$  zu  $83,3 \pm 13,2$ ;  $p=0,051$ ) und der Iowa Pelvic Score

( $71,4 \pm 21,5$  zu  $86,2 \pm 16,0$ ;  $p=0,234$ ) waren bei Gruppe B höher. Im Merle d'Aubigné-Score erreichte Gruppe B ein statistisch signifikant besseres Ergebnis ( $p=0,022$ ).

#### Diskussion:

Insgesamt zeigten beide Gruppen gute postoperative Ergebnisse, die weitgehend im Einklang mit der vorhandenen Literatur stehen. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität war bei beiden Verfahren im Vergleich zur Vergleichspopulation reduziert. Gruppe A (TIFI) zeigte sich überlegen im Hinblick auf die Komplikationsrate, die OP-Zeit sowie die intraoperative Durchleuchtungszeit. Gruppe B (SPF) schien klinisch hinsichtlich der Schmerzen und der beckenspezifischen Scores überlegen zu sein. Dies ist wahrscheinlich auf die biomechanische Überlegenheit der spinopelvinen Fixation zurückzuführen. Dennoch sollte bei Frakturen, die eine Stabilisation mittels TIFI zulassen, die Einsetzbarkeit dieses Verfahrens als weniger invasive Alternative in Erwägung gezogen werden.

Als Limitation unserer Studie ist das heterogene Verletzungsbild der mitunter mehrfachverletzten Patienten sowie die relativ geringe Fallzahl zu nennen.

## IV. Abstract (engl.)

### Questions:

Fractures of the dorsal pelvic ring are a therapeutic challenge. Although the incidence is rising, there is not yet a surgical standard therapy. This retrospective study compares two methods for stabilization of the dorsal pelvic ring (minimally invasive transiliac internal fixation [TIFI] and spinopelvic fixation [SPF]) regarding clinical outcome, complications, and quality of life.

### Methods:

All pelvic ring fractures (excluding childhood and pathological fractures) which underwent surgery for TIFI (Group A) or SPF (Group B) at our clinic between 12/2015 and 12/2018 were included in a retrospective study. We recorded fracture type and trauma mechanism. In both groups perioperative data (time of stay in hospital, intra-operative fluoroscopy time, cutting/suture time), complications as well as clinical data, and quality of life were compared.

### Results:

A total of n=42 patients were included (mean age  $48 \pm 19$  y., m:f 25:17, group A (TIFI) n=25, group B (SPF) n=17). The period of hospitalization was comparable in both groups ( $31,8 \pm 17,8$  d to  $31,0 \pm 15,8$  d;  $p=0,939$ ). Fluoroscopy time ( $8,53 \pm 4,27$  min to  $11,9 \pm 9,08$  min;  $p=0,138$ ) and cutting/suture time ( $227 \pm 107$  min to  $291 \pm 148$  min;  $p=0,163$ ) was slightly lower in group A. Impaired wound healing (8% to 29,4%;  $p=0,071$ ), pneumonia (12% to 29,4%;  $p=0,163$ ), and thromboembolic events (8% to 11,8%;  $p=0,687$ ) were less likely in group A. In both groups pelvic-C-injuries were predominant (88% to 94,1%)

13 patients were clinically assessed; patients in group A ( $3,71 \pm 2,14$ ) experienced more pain than patients in group B ( $1,33 \pm 1,37$ ;  $p=0,073$ ). The Majeed Pelvic Score ( $59,9 \pm 23,6$  to  $83,3 \pm 13,2$ ;  $p=0,051$ ) and Iowa Pelvic Score ( $71,4 \pm 21,5$  to  $86,2 \pm 16,0$ ;  $p=0,234$ ) were higher in group B. In the Merle d'Aubigne-Score group B reached a significantly better result ( $p=0,022$ ).



Discussion:

Both groups show relatively good postoperative results, which has previously been reported. The health-related quality of life is reduced in both groups. Group A (TIFI) was superior regarding complication rates, cutting/suture time, and fluoroscopy time. Group B (SPF) seems to be superior regarding pain and pelvic scores. This could be explained by the higher biomechanical stability provided by the spinopelvic fixation. Nevertheless, if fractures allow for stabilization with TIFI, the use of this method should be taken into consideration as a less invasive and more tissue-conserving approach.

The study is limited by the heterogenous characteristics of the injuries and the relatively low number of patients.

# 1. Einleitung

## 1.1. Epidemiologie

Frakturen des dorsalen Beckenringes stellen eine große therapeutische Herausforderung dar. Das zu bevorzugende operative Vorgehen ist derzeit noch Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen.

Frakturen des Beckenrings sind relativ selten. Ihre Inzidenz wird mit 20-37 pro 100.000 Einwohner und Jahr angegeben, wobei polytraumatisierte Patienten eine deutlich höhere Inzidenz von bis zu 25% aufweisen (1). Allerdings wird aufgrund des demografischen Wandels ein Anstieg der Beckenringfrakturen insbesondere bei Patienten über 80 Jahren prognostiziert: So nahm die altersadjustierte Inzidenz zwischen 1970 und 2013 um jährlich 9% zu und es wird ein Anstieg um insgesamt 87% bis zum Jahr 2030 erwartet, wodurch diese Verletzungen und deren Therapie zunehmend relevanter werden (2).

Die Krankenhausmortalität von Beckenringverletzungen aller Patienten wurde in Deutschland im Jahr 2006 mit 5% angegeben (3). Insgesamt lässt sich somit ein Rückgang der Mortalität (im Jahr 1991 wurde sie noch mit 8% angegeben) beobachten, was einem Rückgang von drei Prozentpunkten entspricht. Einen Rückgang der Mortalität fand auch eine amerikanische Studie von Buller *et al.*, die alle Beckenringfrakturen in den Vereinigten Staaten untersucht hat. Hier sank die Krankenhausmortalität von 4,2% im Jahr 1990 auf 2,8% im Jahr 2007 (4).

Jedoch ist bei geriatrischen Patienten die Rate ungleich höher: so beträgt die 2-Jahres Mortalität hier bis zu 30% (5). Neben einem hohen Patientenalter geht das Vorliegen einer komplexen Beckenverletzung bzw. Mehrfachverletzung im Rahmen eines Polytraumas mit einer erhöhten Mortalität einher. Die Notwendigkeit der Durchführung von Prozeduren wie der Anlage einer Beckenzwinge oder einer Notfalllaparotomie sowie das Vorliegen einer Verletzung eines Blutgefäßes und ein erhöhter Transfusionsbedarf mit mehr als 10 Einheiten innerhalb von sechs Stunden ist ebenfalls als Prädiktor für eine erhöhte Mortalität beschrieben. Männer, Patienten mit einem höheren Injury Severity Score (ISS) und Patienten mit Typ C-Verletzungen weisen ebenfalls ein erhöhtes Mortalitätsrisiko auf (3). Bei polytraumatisierten Patienten wird die Mortalität mit 5-20% angegeben (3).

Es konnte gezeigt werden, dass die Mortalität zwischen den verschiedenen Frakturtypen variiert. Während das Risiko an einer Typ A-Verletzung zu versterben mit 3,7% angegeben wird, steigt es bei einer Typ B-Verletzung auf 13,2% und bei einer Typ C-Verletzung sogar auf 18,9% (6).

Ursächlich für diese Verletzungen sind – in der Gruppe der jüngeren Patienten – vor allen Dingen Hochrasanztraumata wie z. B. Verkehrsunfälle (59,7%), Stürze aus kleiner Höhe (26%) und Stürze aus großer Höhe (8%) (1). In der Gruppe der geriatrischen Patienten stellen Niedrigenergie-traumata wie z. B. einfache Stürze aus dem Stand/Gang eine der wesentlichen Ursachen dar (7).

Das Durchschnittsalter aller Patienten mit Beckenringfrakturen liegt bei 54,4 Jahren. Frauen sind mit 54,1% aller Patienten häufiger betroffen (3). In einer detaillierteren Analyse lassen sich zwei Altersgipfel identifizieren: Der Erste liegt zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr. In dieser Altersgruppe ist der Verkehrsunfall der vorherrschende Unfallmechanismus. Die Inzidenz von Typ-A- (38%), B- (30%) und C-Verletzungen (32%) ist in dieser Altersgruppe ähnlich. Der zweite Altersgipfel betrifft hauptsächlich Frauen um das 7. Lebensjahrzehnt. In dieser Gruppe sind Becken-B-Verletzungen am häufigsten (8). Ab dem 30. Lebensjahr nimmt die Inzidenz der Becken-B- und C-Frakturen ab, während die Inzidenz der Becken-A-Frakturen ab dem 40. Lebensjahr zunimmt (7).

## **1.2. Anatomie**

Das Becken ist der Abschnitt des menschlichen Körpers, der die unteren Extremitäten mit dem Rumpf verbindet, wobei es dabei die Last des Körpers auf die Beine überträgt. Weiterhin hat das Becken eine Schutzfunktion für die in ihm liegenden inneren Organe und es dient als Ansatz für Teile der Rumpf- und Oberschenkelmuskulatur (9).

### Knöchernes Becken

Das Hüftbein (Os coxae) besteht aus Darmbein (Os ilium), Sitzbein (Os ischium) und Schambein (Os pubis). Der dorsale Teil des Beckenrings wird vom Kreuzbein (Os sacrum) aus verschmolzenen Wirbelkörpern, an dem sich kaudal das Steißbein (Os

coccygis) anschließt, das ebenfalls aus verschmolzenen Wirbelkörpern besteht, gebildet. Dieses wird durch eine Amphiarthrose, dem Iliosakralgelenk, straff gelenkig verbunden.

Das Darmbein (Os ilium) ist durch die große Darmbeinschaukel (Ala ossis ilii) gekennzeichnet. Dorsal der Darmbeinschaukel befindet sich die Gelenkfläche für das Iliosakralgelenk (Facies auricularis). Die kraniale Fläche ist zum Beckenkamm (Crista iliaca) verdickt. Ventral wird die Crista iliaca durch die Spina iliaca anterior superior und dorsal durch die Spina iliaca posterior superior begrenzt.

Das Sitzbein (Os ischium) hat einen prominenten Knochenvorsprung, den Sitzbeinhöcker (Tuber ischiadicum). Dieses bildet auch die Spina ischiadica.

Das Schambein (Os pubis) bildet mit der Facies symphysialis der Gegenseite die Symphyse, über die die beiden Beckenhälften miteinander in Kontakt stehen.

Alle drei Knochen bilden gemeinsam das Azetabulum. Dieses ist der knöcherne Teil der Hüftpfanne, welche das Körpergewicht auf den Femurkopf überträgt.

Der Beckenring wird dorsal vom Kreuzbein (Os sacrum) gebildet, das den Beckenring über die Verbindung mit den Iliosakralgelenken komplettiert. Das Iliosakralgelenk wird in seinem Bewegungsumfang durch eine straffe Gelenkkapsel und kräftige Bänder stark limitiert. Innerhalb des Beckens liegen verschiedene Ligamente. Der aufrechte Stand wird durch diese Bänder erst ermöglicht und ein Abrutschen des Beckens verhindert (9).

### Muskulatur des Beckenrings

Das Becken dient als Ursprung für verschiedene Muskelgruppen, die zumeist am Femur ansetzen und auf das Hüftgelenk wirken. Diese Muskeln sind essenziell für den aufrechten Gang. Es lassen sich insgesamt 5 Muskelgruppen voneinander abgrenzen (10).

Die *inneren Hüftmuskeln* ziehen von der Fossa iliaca bzw. den Proc. costales des 1. bis 5. Lendenwirbels zum Trochanter minor. Sie werden vom M. iliopsoas gebildet.

Die Gruppe der *äußeren Hüftmuskeln* kann in zwei Subgruppen entsprechend ihres Verlaufs unterteilt werden. Vertikal verlaufen der M. gluteus maximus, der M. gluteus medius, der M. gluteus minimus, der M. tensor fasciae latae und der M. piriformis.

Horizontal verlaufen der M. obturatorius internus, die Mm. gemelli und der M. quadratus femoris. Der M. obturatorius internus entspringt der Membrana obturatoria und die Mm. gemelli an der Spina ischiadica des Os ischium bzw. dem Tuber ischiadicum.

Zur Gruppe der *Adduktoren* wird der M. obturatorius externus, der M. pectineus, der M. adductor longus, der M. adductor brevis, der M. adductor magnus, der M. adductor minimus und der M. gracilis gezählt. Ihrer Ursprünge liegen alle um das Foramen obturatorium angeordnet.

Der M. sartorius und der M. quadriceps femoris werden zur Gruppe der *Extensoren* gezählt. Der M. sartorius entspringt an der Spina iliaca anterior superior und inseriert medial der Tuberositas tibiae am Pes anserinus superficialis. Der M. quadriceps femoris besteht aus vier Muskelanteilen mit gemeinsamem Ansatz an der Tuberositas tibiae durch das Lig. patellae. Der M. rectus femoris entspringt dem Pfannendach und der Spina iliaca anterior inferior.

Die *Hüftflexoren* werden von drei Muskeln gebildet, dem M. biceps femoris, dem M. semimembranosus und dem M. semitendinosus, die alle am Tuber ischiadicum ihren Ursprung haben (10).

### Neurovaskuläre Strukturen

Auf Höhe des 4. Lendenwirbelkörpers verzweigt sich die Aorta abdominalis in die beiden A. iliaca communis, die sich wiederum in die A. iliaca interna und die A. iliaca externa aufzweigen. Die A. iliaca externa geht dann auf Höhe des Lig. inguinale in die A. femoralis über. Die Venen laufen gleichnamig parallel der Arterien. Der Arteria iliaca interna entspringen mehrere kleine Äste, die zumeist das kleine Becken versorgen und in einen posterioren und einen anterioren Ast aufgeteilt werden.

Das Rückenmark geht auf Höhe des 2. Lendenwirbelkörpers im Conus medullaris in die Cauda equina über, die bis zu den Sakralwirbeln reicht. Auf Höhe der jeweiligen Wirbelkörpersegmente verlassen die Spinalnerven dann das Rückenmark. Die lumbalen Spinalnerven verschalten sich dann zum Plexus lumbalis, während die sakralen Spinalnerven lateral der Foramina sacralia den Plexus sacralis bilden (10).

### 1.3. Klassifikation der Beckenring- und Sakrumfrakturen

#### Frakturklassifikation

Die Einteilung von Beckenringfrakturen erfolgt nach der Frakturklassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen AO. Sie betrachtet die Richtung der Kraftwirkung und die Stabilität in den verschiedenen Ebenen. Mit aufsteigender Verletzungsschwere steigt die Klassifikation. Dem Beckenring ist dabei nach Klassifikation der AO die 61. zugeordnet, dem Azetabulum die 62. (11).

#### Becken-A-Frakturen

Bei Beckenringfrakturen vom Typ A ist der dorsale Beckenring intakt.

Die A1-Fraktur ist eine Abrissfraktur eines kleineren unbedeutenden Knochenteils. Je nach Lokalisation des Knochenteils kann die Fraktur weiter spezifiziert werden. Bei der A1.1 - Fraktur liegt der Abriss an der Spina iliaca, bei der A1.2 - Fraktur an der Crista iliaca und bei der A1.3 - Fraktur am Tuber ischiadicum.

Bei der Beckenringfraktur vom Typ A2 liegt eine Fraktur der Beckenschaufel oder eine uni- oder bilaterale transpubische Fraktur vor. Die A2.1 - Fraktur ist eine Fraktur der Ala ossis ilii, die A2.2-Fraktur ist eine unilaterale Fraktur des ventralen Beckenrings und bei der A2.3-Fraktur handelt es sich um eine bilaterale Fraktur des ventralen Beckenrings.

Die A3-Fraktur ist durch Beteiligung des Os sacrum oder des Os coccygeum, ohne Kontinuitätsunterbrechung des Beckenrings, gekennzeichnet. Beim Typ A3.1 liegt eine sacrokokzygeale Dislokation vor, beim Typ A3.2 eine nicht dislozierte Fraktur des Os sacrum und beim Typ A3.3 eine dislozierte Querfraktur des Os sacrum (12, 13).

#### Becken-B-Frakturen

Die Becken-B-Frakturen werden auch als teilstabile Beckenringfrakturen bezeichnet.

B1-Frakturen sind durch eine unilaterale, inkomplette Unterbrechung des dorsalen Beckenrings bei erhaltener Rotationsstabilität gekennzeichnet. Diese Frakturen lassen sich in eine B1.1-Fraktur, die als „lateral compression fracture“ (Innenrotationsverletzung)

und eine B1.2 -Fraktur mit Verletzung der Symphyse (Außenrotationsverletzung) weiter unterteilen. Diese Verletzung wird deshalb auch als „open book fracture“ (APC1) bezeichnet.

Bei einer B2-Fraktur liegt ebenfalls eine unilaterale inkomplette Unterbrechung des dorsalen Beckenrings, jedoch mit Rotationsinstabilität, vor. So liegt bei der B2.1 - Fraktur eine lateral compression fracture des Sacrum mit Instabilität bei Innenrotation vor. Bei der B2.2 - Fraktur handelt es sich um eine transiliakale Instabilität. Bei der B2.3 - Verletzung handelt es sich um die rotationsinstabile open book Verletzung (APC2).

Liegt eine B3-Fraktur vor, spricht man von einer bilateralen, inkompletten Unterbrechung des dorsalen Beckenrings in Kombination mit einer ventralen Verletzung. Die Typ B3.1 - Verletzung ist durch einen innenrotationsinstabile Verletzung der einen Seite und eine in Außenrotation instabile Verletzung der Gegenseite gekennzeichnet. Die B3.2-Verletzung ist eine bilaterale Lateral compression fracture des Sacrums. Bei der B3.3-Verletzung liegt eine bilaterale Open book Verletzung oder eine bilaterale Rotationsinstabilität bei Außenrotation vor (12, 13).

### Becken-C-Frakturen

Beckenringfrakturen vom Typ C sind sowohl rotations- als auch vertikal instabil und es liegt immer eine begleitende ventrale Unterbrechung des Beckenrings vor.

Die C1-Fraktur ist durch eine unilaterale vollständige Unterbrechung am Beckenrings gekennzeichnet. Beim Typ C1.1 liegt die Fraktur im Bereich des Os iliums, beim Typ C1.2 verläuft die Fraktur durch das Iliosakralgelenk und beim Typ C1.3 verläuft die Fraktur durch das Os sacrum.

Bei der C2-Fraktur handelt es sich um eine unilaterale vollständige Unterbrechung des Beckenrings und einer kontralateralen inkompletten Unterbrechung des Beckenrings (Becken-B-Fraktur). Bei der C2.1-Fraktur liegt eine ipsilaterale Fraktur des Os iliums (C1.1) mit einer kontralateralen B1- oder B2-Verletzung vor. Die C2.2-Fraktur ist durch eine ipsilaterale komplette Fraktur des Iliosakralgelenks (C1.2) und eine kontralaterale B1- oder B2-Verletzung gekennzeichnet. Bei der C2.3-Verletzung handelt es sich um eine ipsilaterale vertikale Fraktur des Os sacrums (C1.3) und eine kontralaterale B1- oder B2-Fraktur.

Bei der C3-Fraktur handelt es sich um bilaterale C1-Frakturen. Beim Typ C3.1 liegen beide Frakturen extrasakral, beim Typ C3.2 liegt eine Fraktur sakral und eine Fraktur extrasakral und beim Typ C3.3 verlaufen beide Frakturen vertikal durch das Os sacrum (12, 13).

## Sakrumfrakturen

### *Klassifikation nach Denis*

Isolierte Sakrumfrakturen werden nach Denis klassifiziert (14). Abbildung 2 zeigt die Klassifikation anhand der Frakturzone. Laterale, transalare Sakrumfrakturen ohne Beteiligung der Neuroforamina werden als Denis Typ 1 klassifiziert und machen 54% aller Sakrumfrakturen aus. Als Denis Typ 2 werden transforaminale Sakrumfrakturen bezeichnet, die 36% aller Sakrumfrakturen ausmachen. Medial der Neuroforamina verlaufende Frakturen werden als Denis Typ 3-Frakturen bezeichnet und finden sich bei 10% aller Patienten mit Sakrumfraktur. Hierbei gilt, dass die Wahrscheinlichkeit für neurologische Ausfälle vom Typ 1 bis Typ 3 zunimmt (14).

### *Klassifikation von Sakrumausbruchverletzungen*

Longitudinale und transversale Sakrumfrakturen treten bei Sakrumausbruchverletzungen häufig kombiniert auf. Die damit einhergehende vollständige Trennung des Beckens und der Wirbelsäule wird auch als spinopelvine Dissoziation bezeichnet. Verschiedene Frakturverläufe sind hier beschrieben. So existieren H-, T-, U- und  $\lambda$ -förmige Frakturverläufe. Weitere Frakturverläufe können in Abhängigkeit der auf das Sakrum einwirkenden Kräfte ebenfalls entstehen (15).

### *Klassifikation nach Roy-Camille*

Die Klassifikation von Roy-Camille mit späterer Modifikation von Strange-Vognsen und Lebach wird zur Klassifikation transversaler Sakrumfrakturen oberhalb des Wirbelkörpers S4 verwendet (16, 17). Dieser Score kann ebenfalls zur Vorhersage der Wahrscheinlichkeit einer neurologischen Verletzung verwendet werden. Es erfolgt eine



Einteilung in vier Typen. Bei Frakturen vom Typ 1 liegt eine kyphotische Verkipfung ohne Verschiebung mit dem geringsten Risiko einer neurologischen Verletzung vor, bei Frakturen vom Typ 2 liegt eine kyphotische Verkipfung mit Retrolisthesis mit mittlerem Risiko einer neurologischen Verletzung vor und bei Frakturen vom Typ 3 liegt eine Anterolisthesis ohne signifikante Verkipfung mit dem höchsten Risiko einer neurologischen Verletzung vor. Bei Frakturen vom Typ 4 handelt es sich um eine Trümmerfraktur des Wirbelkörper von S1 oder S2, bei diesem Frakturtyp ist das Risiko einer neurologischen Verletzung ebenfalls hoch (15).

## **1.4. Diagnostik**

### **1.4.1. Klinische Diagnostik**

#### Anamnese

Eine zumindest kurze Anamnese hinsichtlich des Unfallmechanismus sollte – wenn vom Patientenzustand her gesehen möglich – auch bei kritischen Patienten erhoben werden, was auch die Begleiterkrankungen des Patienten inkludiert. Weitere Hinweise kann das Alter des Patienten liefern, da im höheren Alter insbesondere aufgrund der verminderten Knochendichte Frakturen bei geringerer Energieeinwirkung auftreten können. Ähnliches gilt für das Geschlecht, da postmenopausale Frauen eine geringere Knochendichte haben und bestimmte Begleitverletzungen geschlechterspezifisch auftreten (18, 19).

#### Klinische Untersuchung

Je nach klinischer Präsentation bzw. Unfallmechanismus werden die Patienten häufig über den Schockraum vorgestellt. Hier wird zuerst ein Bodycheck inkl. klinischer Untersuchung des Beckens auf Instabilitäten durchgeführt sowie lebensbedrohliche Verletzungen mittels FAST, Röntgenaufnahmen des Thorax und des Beckens ausgeschlossen und in aller Regel eine Computertomografie vom Kopf bis zum Becken durchgeführt (20). Dabei sollte das Management des schwerverletzten Patienten nach einem festen Algorithmus (z. B. ATLS®) erfolgen.

Nachdem lebensbedrohliche Verletzungen ausgeschlossen wurden bzw. wenn Patienten nicht über den Schockraum vorgestellt werden, wird eine klinische Untersuchung des Beckens durchgeführt. Inspektorisch kann eine Beinlängenverkürzung oder die

Außenrotation eines Beines auf eine Fraktur hinweisen. Ebenfalls wird auf Wunden und Hämatome geachtet, um Morel-Lavallée-Läsionen frühzeitig diagnostizieren zu können (21). Mittels Palpation des anterioren Beckenrings können auch Symphysensprengungen klinisch vermutet werden. Durch Druck in a.-p.- Richtung auf die Spina iliaca anterior superior und durch Druck auf die beiden Beckenkämme werden Rotationinstabilitäten evaluiert. Durch Druck in horizontaler Ebene können ebenfalls abnorme Beweglichkeiten oder Druckschmerz ausgelöst werden, die Hinweise auf eine Beckenringfraktur geben könnten. Weiterhin sollte zum Ausschluss einer offenen Beckenringfraktur eine digital-rektale Untersuchung und eine vaginale Untersuchung durchgeführt werden. Blut oder palpable Knochenfragmente können hinweisgebend für eine offene Fraktur sein. Anschließend wird eine neurologische Untersuchung durchgeführt, die insbesondere auf den N. ischiadicus und den Plexus sacralis fokussiert ist, da diese am stärksten gefährdet sind. Weiterhin wird noch der Sphinktertonus, die periphere Durchblutung durch Palpation der Pulse und der Bulbocavernosus-Reflex geprüft (22).

Die klinische Untersuchung hat nach einer Studie an 2176 Traumapatienten von Gonzalez *et al.* eine Sensitivität von 93% (23). Jedoch lag der positiv prädiktive Wert der klinischen Untersuchung nur bei 35%, der negativ prädiktive Wert bei 100% (24). Des Weiteren muss angemerkt werden, dass es innerhalb der Experten eine kontroverse Diskussion über den Zeitpunkt und die Sinnhaftigkeit der klinischen Beckenuntersuchung vor allem bei Schockraumpatienten, welche mit einem Pelvic Binder ruhiggestellt wurden, gibt. Im eigenen Vorgehen untersuchen wir jeden Patienten im Schockraum klinisch und öffnen dazu den Pelvic Binder. Dies soll verhindern, dass eine rein ligamentäre open book Verletzung durch eine anatomische Reposition im Beckengurt übersehen wird. Ein weiterer wesentlicher Punkt hierbei ist, dass diese Untersuchung durch den erfahrensten anwesenden Arzt durchzuführen ist und Wiederholungen strikt vermieden werden müssen.

#### **1.4.2. Radiologische Diagnostik**

Die radiologische Diagnostik beginnt zunächst mit einer Becken a.-p.-Aufnahme im Liegen. Allerdings ist insbesondere die Beurteilung des dorsalen Beckenrings aufgrund von Überlagerungen erschwert, weshalb bei klinischem Hinweis auf eine Verletzung des Beckenringes in aller Regel weitere Bildgebung durchgeführt wird. Durch zusätzliche sog.

Inlet- und Outletaufnahmen kann der dorsale Beckenring besser beurteilt werden. Für die Inletaufnahme wird die Röntgenröhre in einem Winkel von 45° in kraniale Richtung eingestellt, für die Outletaufnahme in einem Winkel von 45° in kaudale Richtung (25). Gonzales *et al.* zeigten für eine a.-p.-Aufnahme eine Sensitivität von 87% (23).

In der heutigen Zeit hat sich allerdings die Computertomographie (CT) zum Goldstandard für die Feinbeurteilung von Beckenringverletzungen durchgesetzt, sodass im eigenen Vorgehen gänzlich (abgesehen von intraoperativer Diagnostik) auf Inlet-/Outlet-Aufnahmen verzichtet wird. Für die Trauma-CT sind je nach Modalität in der Literatur Sensitivitätswerte von 96-100% beschrieben (Berg *et al.*; (26)). Weiterhin ermöglicht eine angefertigte CT eine bessere Therapieplanung sowie eine präzise anatomische Zuordnung und Rekonstruktion. Insbesondere bei komplexeren Frakturen ist die Computertomographie für die Therapieplanung unabdingbar, diese kann durch die Anfertigung von frei rotierbaren 3D-Rekonstruktionen noch verbessert werden. In der Akutphase dient das CT jedoch der fokussierten Blutungssuche, welche mit schweren Beckenverletzungen assoziiert sein kann; diese zeigen sich typischerweise am Kontrastmittelaustritt (25).

Der Magnetresonanztomografie wird in der Akut- und Notfalldiagnostik keine große Bedeutung beigemessen und ist daher speziellen Fragestellungen vorbehalten (Informationen zu ligamentären Verletzungen) (27).

### **1.4.3. Diagnostik von Begleitverletzungen**

#### Blutungen

Relevante Blutungen treten bei Beckenringfrakturen zum einen durch direkten Blutaustritt an den Frakturflächen auf, zum anderen durch Verletzung des präsakralen Venenplexus oder der Iliakalgefäße (28). Wenn sich der traumatisierte Patient initial im Volumenmangelschock präsentiert, sollte an eine intrapelvine Blutung differentialdiagnostisch gedacht werden. Durch das Vorliegen eines Hämatoms oder einem Kontrastmittelaustritt in der Computertomographie wird der Verdacht auf eine Blutung bestätigt. Das therapeutische Vorgehen bei intra- und peripelvinen Blutungen richtet sich in erster Linie nach dem Zustand des Patienten und damit den zeitlichen Ressourcen, die zur Verfügung stehen und andererseits durch die vorhandene

Infrastruktur. Prinzipiell gehen die therapeutischen Optionen von konservativen über operative bis hin zu interventionellen Maßnahmen (22, 29).

### Neuronale Schädigungen

Bei Beteiligung des Os sacrum weisen 21-60% aller Frakturen begleitende Nervenschäden auf. Am häufigsten sind der Plexus lumbosacralis sowie der Nervus glutealis superior betroffen (30). Bei Becken-B-Verletzungen kommt es bei weniger als 10% der Patienten unabhängig von Frakturlokalisation zu Nervenläsionen. Bei Becken-C-Verletzungen werden bei Frakturen in Denis Zone I bei 32,6% der Patienten, bei Frakturen in Zone II bei 42,9% der Patienten und bei Frakturen in der Zone III bei 63,6% der Patienten Nervenschäden festgestellt. Bilaterale Frakturen weisen ebenfalls hohe Läsionsraten auf (21, 31).

### Verletzungen des Gastrointestinaltrakts

Abdominelle Verletzungen können begleitend bei Beckenringfrakturen auftreten. Eine sehr seltene Komplikation ist die Einklemmung von Darm im Frakturspalt mit resultierendem Ileus. Dies kann durch eine Computertomographie mit enteralem Kontrastmittel ausgeschlossen werden (22).

### Verletzungen des Urogenitaltrakts

Begleitende Verletzungen des Urogenitaltrakts werden in der Literatur mit 15-20% angegeben, hierbei kommt es insbesondere zu Blasenrupturen und Verletzungen der Urethra (32-35). Klinisch werden diese Patienten durch Blutungen an der Harnröhre, Hämaturie, durch Schwellung des Penis oder Skrotums oder durch Ekchymosen symptomatisch. Bei klinischem Verdacht auf eine Verletzung des Urogenitaltraktes ist ein Urethrogramm indiziert (22).

## Komplextrauma des Beckens

Sofern viszerale oder urogenitale Begleitverletzungen vorliegen oder schwere peripelvine offene Weichteilschäden, spricht man von einem Komplextrauma des Beckens, unabhängig von der zugrundeliegenden knöchernen Läsion (36).

### **1.5. Therapieoptionen**

#### **1.5.1. Konservative Therapie**

Prinzipiell unterscheiden wir Frakturen, die aufgrund der Frakturmorphologie konservativ behandelt werden können (wie beispielsweise gering dislozierte, stabile Frakturen vom Typ A oder B), und Frakturen, die aufgrund der Begleitumstände (Begleitverletzungen und Allgemeinzustand) konservativ behandelt werden müssen. Für eine konservative Behandlung eignen sich Becken-A-Frakturen sowie einige Becken-B-Frakturen. So werden laut Tosounidis *et al.*, insbesondere Frakturen vom Typ A (95%) und Typ B (60%) konservativ behandelt (37). Die konservative Therapie beinhaltet eine adäquate medikamentöse Analgesie und physiotherapeutisch angeleitete Mobilisierung. Bei Becken-A-Frakturen (intakter knöcherner Beckenring) wird eine schmerzadaptierte Vollbelastung mit Unterarmgehstützen empfohlen. Bei Becken-B-Frakturen kann je nach Morphologie eine schmerzadaptierte Teilbelastung an Unterarmgehstützen für mindestens 6 Wochen angestrebt werden. Sekundäre Dislokation sowie der Fortschritt der Frakturkonsolidierung werden in regelmäßigen Abständen mittels konventionellen Röntgenaufnahmen kontrolliert (18).

Stabile B2.1-Frakturen (lateral compression fracture) mit Dislokation unter 10 mm können konservativ behandelt werden und führen in den meisten Fällen nicht zu einer Dislokationsprogredienz (38, 39). Bei Patienten mit B1- und B2- Frakturen mit Dislokation unter 10 mm kamen keine signifikanten Unterschiede im Schmerzmittelbedarf und der angegebenen Schmerzintensität vor. Jedoch konnten Patienten mit einer Impaktionsfraktur des Os sacrum (LC1) signifikant früher (1,7 Tage) mobilisiert werden (40).

### **1.5.2. Operative Therapie von Frakturen des ventralen Beckenrings**

Als Indikation für eine operative Versorgung des ventralen Beckenrings werden die meisten Becken-B- und -C- Frakturen angesehen. Becken-A-Frakturen benötigen nur in Ausnahmefällen eine operative Versorgung, zum Beispiel bei persistierenden Schmerzen, die eine adäquate Mobilisation verhindern, bei klinischer Instabilität (z.B. Blutungen aus großen Beckenrandfrakturen) oder aber grober Dislokation der Frakturen (41).

Bei gegebener Indikation zur operativen Versorgung von Beckenverletzungen stehen für die Stabilisierung des vorderen Beckenringes verschiedene Verfahren zur Verfügung:

#### *Fixateur externe*

Bei polytraumatisierten Patienten mit Becken-B- oder Becken-C-Fraktur wird in der Initialversorgung häufig der supraacetabuläre Fixateur externe angewendet, um die Geometrie des Beckenringes weitgehend wieder herzustellen und damit eine Volumenverkleinerung des Beckens zu erreichen, was konsekutiv weniger Raum für Blutungen bietet (42). Das alleinige Einbringen eines Fixateur externe stellt insbesondere bei Becken-B-Frakturen eine mögliche definitive Therapie dar, zumeist wird mittels Fixateur externe allerdings nur eine vorübergehende Stabilisierung durchgeführt (43).

Eine Modifikation dieses Verfahrens ist der 2012 erstmals beschriebene anteriore Fixateur interne (INFIX). Bei diesem Verfahren werden bilateral Schrauben durch einen 2-3 cm langen Hautschnitt in die der Spina iliaca anterior inferior eingebracht. Anschließend wird ein gebogener Verbindungsstab subkutan zur kontralateralen Seite geführt und verbunden. Dadurch wird die Infektionsrate im Vergleich zum Fixateur externe gesenkt und die Mobilisation der Patienten verbessert (44). Ein systematischer Review von Vaidya *et al.* berichtete allerdings von häufigen Komplikationen, wie Irritationen des Nervus cutaneus femoris lateralis (26,3%) sowie heterotopen Ossifikationen (36%), jedoch einer niedrigen Infektionsrate (3%) (45).

### *Perkutane vordere Pfeilerschrauben*

Die Indikation zur operativen Versorgung wird gestellt, wenn eine transpubische Instabilität oder die Gefahr sekundärer Komplikationen gesehen wird. Als Versorgungsmöglichkeiten bietet sich insbesondere die perkutane vordere Pfeilerschrauben an (46).

### *Plattenosteosynthese*

Die operative Versorgung einer isolierten Symphysensprengung erfolgt in der Regel mittels Plattenosteosynthese durch einen ventralen Zugang. Dadurch lassen sich die Symphyse und die symphysennahen Schambeinäste gut darstellen (18, 47). Auch komplexere Pathologien des ventralen Beckenringes lassen sich mit einer konventionellen Plattenosteosynthese stabilisieren. Dabei besteht die Möglichkeit über einen ventralen Zugang (mod. Stoppa-Zugang) bis cranial der Azetabula beidseits zu stabilisieren (s. Abb. 1).

Die Entscheidung, welche der genannten Optionen genutzt wird, wird durch die zugrundeliegende Frakturform, das Ausmaß der Dislokation sowie dem Zustand des Patienten maßgeblich beeinflusst.

### **1.5.3. Operative Verfahren für Frakturen des dorsalen Beckenrings**

Für eine operative Versorgung kommen generell alle instabilen Frakturen vom Typ-C in Frage. Becken-B-Frakturen sollten ebenfalls bei Vorliegen einer relevanten Dislokation operativ versorgt werden. Bei Becken-A-Frakturen bleibt die operative Therapie Ausnahmefällen vorbehalten (41).

### Transiliakaler Fixateur interne (TIFI)

Der transiliakale Fixateur interne (TIFI) ist eine minimal-invasive Operationstechnik, die 2004 von Füchtmeier *et al.* erstmals beschrieben wurde (48). Sie ist insbesondere für Becken-C-Verletzungen vom Typ C1 und C2 geeignet. Für Details zu Indikation und

technischer Durchführung des modifizierten TIFIs wie er im eigenen Haus durchgeführt wird, sei auf den Methodenteil verwiesen.

Salášek *et al.* veröffentlichten eine biomechanische Vergleichsuntersuchung des TIFI mit zwei Transiliosakralen Schrauben (SI-Schrauben) bei einer kompletten transforaminalen Sakrumfraktur (Denis II) mittels Finite Element Analyse. Im Vergleich zu zwei SI-Schrauben fanden sie sowohl medial als auch lateral des Frakturspalts eine signifikant erhöhte Festigkeit des TIFI (49).

Dienstknecht *et al.* publizierten eine Kadaverstudie an humanen Beckenpräparaten, die die Versorgung einer Becken-C1-Fraktur mittels TIFI oder SI-Schrauben bei zusätzlicher ventraler Plattenosteosynthese vergleicht. Die Symphysensprengung wurde in jedem Fall mittels Plattenosteosynthese versorgt. Anschließend wurden diese biomechanisch getestet. In keinem Fall trat ein Implantatversagen ein und die Autoren berichteten insgesamt von einer vergleichbaren Stabilität (50).

### Spinopelvine Fixation (SPF)

Die spinopelvine Fixation (SPF) ist eine minimal-invasive Operationstechnik, die insbesondere bei Sakrumfrakturen mit spinopelviner Dissoziation, was einer kompletten Unterbrechung der knöchernen Kontinuität zwischen Becken und Wirbelsäule entspricht, und Becken-C-Verletzungen angewendet wird. Für weitere Details wird auf den Methodenteil verwiesen. Eine Modifikation hiervon stellt die trianguläre vertebropelvine Abstützung (TVPO) dar, bei der eine unilaterale SPF mit einer SI-Schraube oder einer ilioiliakalen Plattenosteosynthese kombiniert wird (51).

Schildhauer *et al.* publizierten 2003 eine Studie mit humanen Beckenkadavern, in der sie eine trianguläre vertebropelvine Abstützung (TVPO), bestehend aus einer SI-Schraube und einer unilateralen spinopelvinen Fixation (SPF) vom 5. Lendenwirbel zum dorsalen Beckenkamm, mit einer einzelnen SI-Schraube verglichen. Als Fraktur lag eine unilaterale transforaminale Sakrumfraktur mit einer ipsilateralen unteren sowie oberen Schambeinastfraktur vor. Hierbei wies die TVPO eine signifikant geringere Verschiebung als die SI-Schraube auf (52).



Min *et al.* publizierten ebenfalls eine Studie zum gleichen Frakturtyp mit humanen Beckenkadavern, bei der sie die spinopelvine Fixation durch TVPO mit zwei SI-Schrauben, die beide durch den Wirbelkörper des ersten Sakralwirbels über das kontralaterale Iliosakralgelenk in die kontralaterale Beckenschaufel eingebracht wurden, verglichen. Die Autoren fanden bei den zwei SI-Schrauben eine signifikant höhere Festigkeit als bei der TVPO. Bei der maximalen Belastbarkeit und der Rotationssteifheit fanden sich keine signifikanten Unterschiede (53).

Eine weitere Studie von Jazini *et al.* untersuchte an humanen Beckenkadavern mit transforaminaler Sakrumfraktur mit (10 mm) und ohne Bruchspalt (1 mm) verschiedene Varianten der spinopelvinen Fixation. Hierbei fanden sie, dass ein transversal eingebrachtes Verbindungsstück die Rotationsstabilität signifikant erhöht. Ein größerer Frakturspalt beeinflusste die gesamte Stabilität während der Flexion und Extension negativ. Spinopelvine Fixation von L4 und L5 auf den dorsalen Beckenkamm erhöhte die Rotations- sowie Flexions-/Extensionsstabilität signifikant. Die größte Stabilität ließ sich durch zusätzliche Verwendung von SI-Schrauben erreichen (54).

Eine Finite Element Analyse von Song *et al.* hat die biomechanischen Eigenschaften zwischen der unilateralen, der unilateralen mit bilateralen Pedikelschrauben und der bilateralen spinopelvinen Fixation unter Einbeziehung von L3 bis L5 und der Verwendung zweier Beckenkammschrauben sowie gegebenenfalls zwei Querverbindungen verglichen. Hierbei fanden sie die größte Festigkeit unter Verwendung der bilateralen spinopelvinen Fixation bei Druck und bei Rotation. Die größte Implantatbelastung wurde bei der unilateralen spinopelvinen Fixation mit bilateralen Pedikelschrauben beschrieben. Bei unilateraler spinopelviner Fixation kam es zu einem Ungleichgewicht zwischen den beteiligten Wirbelkörpern (55).

#### Vergleich der Biomechanik zwischen TIFI und SPF

Die biomechanische Stabilität lässt sich anhand der derzeitigen Studienlage nicht abschließend vergleichen. Klinische Beschwerden durch Implantatversagen sind insgesamt selten und asymptomatische Schraubenlockerungen sind auch im eigenen Patientenkollektiv gesehen worden (56). Als mögliche langfristige Komplikation wird die

Entstehung einer Anschlussdegeneration aufgrund einer Versteifung des lumbosakralen Überganges gesehen (56).

#### Transiliosakrale Schraubenosteosynthese (SI-Schraube)

Die Stabilisierung mittels einer transiliosakralen Schraubenosteosynthese (SI-Schraube) ist ein häufig angewandtes, minimalinvasives Verfahren zur Stabilisierung des dorsalen Beckenringes. Die zumeist kanülierte Schraube wird perkutan unter Röntgenkontrolle über einen Kirschner-Draht eingebracht. Zumeist werden ein bis zwei Schrauben von lateral durch das Os Ilium hindurch über das Iliosakralgelenk in den Wirbelkörper von S1 oder S2 eingebracht. Hierfür werden entweder Vollgewindeschrauben oder Teilgewindeschrauben verwendet, die bis über die Mittellinie eingebracht werden. Insbesondere über die Teilgewindeschrauben mit Unterlegscheiben lässt sich durch Anziehen der Schraube eine Kompression auf den Frakturspalt ausüben. Durch das minimalinvasive Vorgehen kommt es nur selten zu Infektionen und der Blutverlust ist zumeist gering (57). Eine Modifikation dieser Technik ist das Einbringen von Knochenzement, wodurch eine bessere Lastverteilung erreicht werden soll (58).

#### Transsakraler Positionsstab

Insbesondere für Patienten mit einer bilateralen Sakruminsuffizienzfraktur besteht die Möglichkeit des Einbringens eines Transsakralen Positionsstabs. Hierbei wird in Bauchlage durch den hinteren Beckenkamm der Positionsstab über die beiden Iliosakralgelenke sowie durch den Wirbelkörper von S1 und den kontralateralen Beckenkamm eingebracht. Anschließend wird über das Anziehen der Muttern der Frakturspalt komprimiert. Bei häufig osteoporotisch veränderter Knochenstruktur besteht allerdings das Risiko des Einsinkens der Muttern, da dort eine große Kraft auf eine geringe Fläche verteilt wird (59).

### Ilioiliakale Plattenosteosynthese

Hauptsächlich bei Becken-C-Verletzungen kann eine minimalinvasive ilioiliakale Plattenosteosynthese durchgeführt werden. Hierbei wird über zwei kleine Inzisionen an der dorsalen Crista iliaca ein Tunnel durch die Muskulatur zwischen den Inzisionen freipräpariert. Nach Bestimmung der nötigen Länge wird eine Osteosyntheseplatte in den Tunnel eingebracht und durch Drehung um 180° positioniert. Anschließend wird diese mit drei bis vier Schrauben an der Crista iliaca posterior fixiert (60).

## **1.6. Rehabilitation und berufliche Reintegration**

### Rehabilitation

Das Behandlungskonzept der Rehabilitation ist interdisziplinär. Das übergeordnete Behandlungsziel ist die gesellschaftliche Reintegration. Dies wird durch verschiedene Maßnahmen wie Bewegungstherapie, Schmerztherapie durch manuelle Therapie, Schmerzmedikation sowie physikalische Therapie, Innervationsschulung der Muskulatur mittels medizinischer Trainingstherapie und Reduktion des Lymphödems mittels Lymphdrainage und Kompressionsstrümpfen gefördert. Außerdem wird eine Mobilisierung mit Verbesserung der Geh- und Stehfähigkeit durch Koordinations- und Propriozeptionsschulung, der Selbsthilfefähigkeit mittels individuellem Training und Hilfsmittelberatung und der körperlichen Belastbarkeit durch Konditionierung und Herz-Kreislauf-Training angestrebt. Des Weiteren werden die Teilhabe am gesellschaftlichen und beruflichen Leben gefördert (61).

Die Physiotherapie beginnt im Sinne einer Frührehabilitation bereits im erstversorgenden Krankenhaus. Zumeist wird zuerst am liegenden Patienten Physiotherapie in Rückenlage durchgeführt. Hier können isometrische Spannungsübungen, axiale Bewegungen und Kräftigungsübungen durchgeführt werden. Im Rahmen der weiteren Rehabilitation kann ebenfalls ein Bewegungsbad nach erfolgter Abheilung der Wunden genutzt werden. Das Aufbaustraining wird hauptsächlich durch die medizinische Trainingstherapie durchgeführt. Hier steht die Verbesserung der Bewegungstechnik, der Belastbarkeit und der Kraftausdauer im Mittelpunkt. Die Gangschule erarbeitet mit dem Patienten die korrekte Umsetzung der vom Operateur angeordneten Belastung. Dieses Konzept sorgt

auch für die Sicherheit des Patienten. Durch die korrekte Umsetzung ist schon nach kurzer Zeit eine Entlastung der operierten Seite messbar (61).

Die posttraumatische Belastbarkeit richtet sich primär nach dem Verletzungsmuster und der Entscheidung des Operateurs. So können Patienten mit Beckenringfrakturen vom Typ A bei konservativer Therapie zumeist eine schmerzadaptierte Vollbelastung durchführen. Konservativ sowie operativ versorgte Beckenringfrakturen vom Typ B können mit einer Abrollbelastung auf der ipsilateralen Seite für mindestens 6 Wochen behandelt werden. Bei Beckenringfrakturen vom Typ C wird nach Entscheidung des Operateurs eine Abrollbelastung für mindestens 6 Wochen, eine Mobilisation im Rollstuhl oder Gehwagen oder eine schmerzadaptierte Vollbelastung durchgeführt. Bei allen Frakturen erfolgt die Entscheidung zur Aufbelastung nach klinischen und radiologischen Kontrollen (61).

### Berufliche Reintegration

Da Beckenringfrakturen zumeist bei Patienten im erwerbsfähigen Alter zwischen dem 2. und 3. Lebensjahrzehnt auftreten, wird der beruflichen Reintegration eine große Bedeutung beigemessen (7). Insbesondere auch aus Sicht der Kostenträger und der Solidargemeinschaft ist die berufliche Reintegration ein wichtiges Ziel (62).

Eine Studie von Nusser *et al.* verglich die Erwerbstätigkeit 13-24 Monate nach dem Rehabilitationsende mit der Erwerbstätigkeit 24-13 Monate vor dem Rehabilitationsende auf Basis von Daten der Deutschen Rentenversicherung in Baden-Württemberg. 41,6% der wieder erwerbstätigen Patienten mit Beckenringfraktur wechselte die berufliche Tätigkeit. Der Anteil der voll Erwerbstätigen sank von 60,5% vor der Fraktur auf 48,4% nach der Fraktur. Der Anteil der nicht Erwerbstätigen stieg von 22,9% vor der Fraktur auf 35,7% nach der Fraktur. Der Anteil der teilweise Erwerbstätigen veränderte sich kaum und sank von 16,6% auf 15,9%. Insbesondere die Gruppe der 18- bis 30-Jährigen weist im Vergleich zu den 51- bis 63-Jährigen eine etwa 3-fach höhere Wahrscheinlichkeit für eine berufliche Wiedereingliederung auf. Nervenverletzungen und Frakturen der Wirbelsäule wirken sich negativ auf die berufliche Reintegration aus (62).

Ähnliche Zahlen liefern Papatotiriou *et al.* bei einem griechischen Kollektiv mit 77 Patienten. Hier kehrten 46,7% der Patienten vollständig in ihren alten Beruf zurück. Es

wurden 7,8% der Patienten frühverrentet, 11,7% kehrten eingeschränkt in ihren alten Beruf zurück, 11,7% kehrten in ihren Beruf mit abgewandelten Aufgaben zurück, während 13% der Patienten den Beruf wechselten (63).

## **1.7. Fragestellung**

Dorsale Beckenringfrakturen stellen eine große therapeutische Herausforderung dar. Trotz steigender Inzidenz hat sich bislang kein operatives Verfahren in der operativen Versorgung des dorsalen Beckenrings durchsetzen können. Die vorliegende retrospektive Studie vergleicht den minimalinvasiven Transiliakalen Fixateur interne sowie die spinopelvine Fixation hinsichtlich perioperativer Parameter sowie klinischer Funktion, Komplikationen und Lebensqualität.

## **2. Methodik**

### **2.1. Studiendesign und eingeschlossene Patienten**

Für die vorliegende Arbeit wurden alle Patienten eingeschlossen, die im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité am Campus Virchow-Klinikum zwischen Mai 2015 und Dezember 2018 aufgrund einer Beckenringfraktur mit TIFI oder SPF operativ versorgt wurden. Die Patienten wurden sechs Monate nach ihrer operativen Versorgung des Beckenrings kontaktiert und in die Sprechstunde einbestellt. Patienten, die das 18. Lebensjahr noch nicht vollendet hatten, sowie Patienten, die aufgrund einer pathologischen Fraktur bei maligner Grunderkrankung operiert wurden, wurden ausgeschlossen. Ein positives Votum der Ethikkommission lag vor (EA2/036/16 vom 18.02.2016).

### **2.2. Operative Therapie**

#### Transiliakaler Fixateur interne

##### *Indikationsstellung*

Als Indikationen zur operativen Therapie wurden unilaterale Frakturen des Iliosakralgelenks (C1.2) und des Sakrums (C1.3) angesehen. Lag eine unilaterale Fraktur des Iliosakralgelenks (C2.2) oder des Sakrums (C2.3) mit kontralateral teilweise stabilem Beckenring vor, war der TIFI ebenfalls indiziert. Die Anwendung war bei einer bilateralen instabilen Sakrumfraktur (C3.3) möglich und fand im eigenen Patientenkollektiv ebenfalls Anwendung. Bei einer bilateralen Beckenringfraktur mit einseitig sakraler und extrasakraler Fraktur der Gegenseite (C3.2) wurde ebenfalls als Indikation für den TIFI betrachtet. Becken-B-Verletzungen wurden ebenfalls in Einzelfällen als Indikation gesehen.

Als Kontraindikation wurden bilaterale Instabilitäten und Unterbrechungen des Iliosakralgelenks mit begleitenden Verletzungen des dorsalen Iliums angesehen (64, 65).

*Eigenes operatives Vorgehen*

Zu Beginn des Eingriffes wurde, sofern vorhanden und indiziert, in Rückenlage die ventrale Pathologie versorgt, im eigenen Vorgehen zumeist durch eine Kleinfragment-Rekonstruktionsplatte. Für die Operation des dorsalen Beckenrings wurden die Patienten in Bauchlage gelagert. Anschließend erfolgten das desinfizierende Abwaschen sowie die sterile Abdeckung. In der seitlichen Durchleuchtungskontrolle wurde die Spina iliaca posterior inferior aufgesucht und eine ca. 3 cm Inzision beidseits durchgeführt. Die Subcutis wurde nun scharf durchtrennt, die Faszie gespalten und der Knochen aufgesucht. Anschließend erfolgte die Darstellung der Spina iliaca posterior inferior und unter seitlicher Durchleuchtungskontrolle die Eröffnung des Knochens mit dem Pfriem. Nun erfolgte das Vortreiben der Ahle im supraacetabulären Kanal und der Ausschluss einer Perforation des Knochens mit dem Pedikelfühler. Anschließend wurde bilateral je eine 8 x 100 mm Schraube (Expedium System, DePuy Synthes, Raynham, Massachusetts, Vereinigte Staaten) eingedreht und in der Durchleuchtung nochmals kontrolliert. Zur Lagekontrolle der Schrauben wurde intraoperativ ein 3-D-Scan angefertigt. Die Verbindungsstange wurde W-förmig vorgebogen und subfaszial nach entsprechender Tunnelung zwischen den Inzisionen durchgeschoben. Die Schraubenköpfe wurden daraufhin mit der Stange verbunden. Mit Hilfe der Kompressionszange wurde nun beidseits Kompression auf das Konstrukt ausgeübt und die Schrauben mit dem entsprechenden Drehmoment fixiert. Die abschließende BV-Kontrolle erfolgte in 3 Ebenen (a.p., inlet, outlet Projektion). Zuletzt erfolgte die Spülung des Situs, die Z-Naht der Faszie über beiden Zugängen und eine subkutane Nahtreihe. Abschließend wurde die Wundranddesinfektion und die Hautnaht in Donati-Rückstichtechnik über beiden Zugängen durchgeführt sowie ein steriler Verband angelegt.

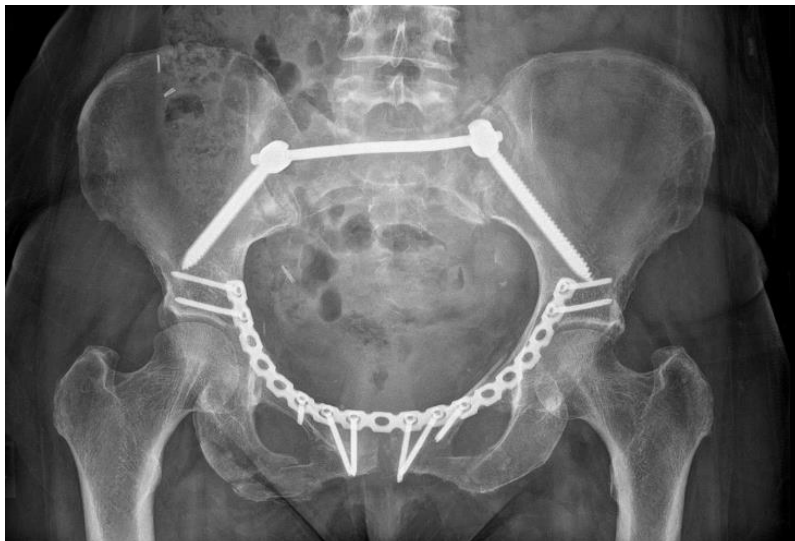


Abbildung 1: Transiliakaler Fixateur interne (Patient aus eigenem Kollektiv)

## Spinopelvine Fixation

### *Indikationsstellung*

Bei den meisten Patienten mit C3-Fraktur wurde eine spinopelvine Fixation durchgeführt. Weiterhin wurde sie bei einem Patienten mit C2-Fraktur mit Begleitfrakturen des LWK II, LWK IV und LWK V, bei einer Patientin mit C2.3-Fraktur und bei einem Patienten mit C1.3-Fraktur durchgeführt.

Als Kontraindikationen werden ausgedehnte Weichteilschäden wie Morel-Lavallée-Läsionen gesehen.

### *Eigenes operatives Vorgehen*

Zunächst erfolgte analog zur TIFI Gruppe bei gegebener Indikation die Stabilisierung des ventralen Beckenringes in Rückenlage mit einer Rekonstruktionsplattenosteosynthese. Zu Beginn des Eingriffes wurde - sofern vorhanden - die ventrale Fraktur in Rückenlage versorgt, im eigenen Vorgehen zumeist durch eine 18-Loch Rekonstruktionsplatte. In Bauchlage wurde die dorsale Versorgung nach desinfizierendem Abwaschen und sterilem Abdecken durchgeführt. Der Hautschnitt verlief auf Höhe des kranial gewählten Lendenwirbelkörper nach distal bis oberhalb der Rima ani und die Subcutis wurde scharf durchtrennt. Anschließend erfolgte die Spaltung der Faszie. Die paravertebrale



Muskulatur wurde nach lateral präpariert. Es wurden die Facettengelenke LWK 4 und LWK 5 dargestellt und nach distal hin erfolgte die Präparation des dorsalen Sakrums. Es erfolgte das Aufsuchen der Spina iliaca posterior superior beidseits. Im eigenen Vorgehen fand sowohl die Versorgung durch L4/L5, als auch nur durch L5 auf das Ilium Anwendung. Nun erfolgte zunächst das Einstellen des gewählten LWK in der seitlichen Durchleuchtungskontrolle und das Aufsuchen der Schraubeneintrittspunkte für die Pedikelschrauben. Die Kortikalis wurde mittels Pfriem eröffnet und ein Schraubenkanal mit der Ahle geschaffen. Eine Perforation nach intraspinal wurde durch Austasten des Schraubenkanals ausgeschlossen. Anschließend wurde die Schraubenlänge bestimmt und die gewählte Schraube eingedreht, welche mittels Bildwandler im seitlichen und a.-p.-Strahlengang kontrolliert wurde. Im Bereich des Iliums erfolgte anschließend das Setzen der beiden Ilium-Schrauben. Diese wurden im supraacetabulären Kanal platziert. Hierzu wurde die Spina iliaca posterior superior mit dem Pfriem eröffnet und mit der Ahle nun der Schraubenkanal nach ventral geschaffen. Es wurden längenbestimmte Schrauben beidseits in das Ilium eingedreht und bis auf Knochenniveau versenkt. Zur Lagekontrolle der Schrauben wurde intraoperativ ein 3-D-Scan angefertigt. War eine Dekompression des Sakrums notwendig, wurde diese nun durchgeführt und darunterliegende Pathologien entsprechend adressiert. Daraufhin wurde das Längsgestänge für die Stabilisierung in Form gebogen und hierüber wurde die Verbindung zu den Pedikelschrauben (ggf. mit zusätzlichen Lateralkonnektoren) hergestellt. Nun wurde unter Distraction von L5 gegen das Ilium das Sakrum reponiert und alle Schraubverbindungen mit dem Drehmomentschlüssel fixiert. Abschließend erfolgte eine BV-Kontrolle in beiden Ebenen.



Abbildung 2: Spinopelvine Fixation (Patient aus eigenem Kollektiv)



Abbildung 3: Spinopelvine Fixation (Patient aus eigenem Kollektiv)

### 2.3. Postoperative Kontrolluntersuchungen

Insgesamt wurden zwischen 12/2015 und 12/2018 42 Patienten mittels TIFI oder SPF versorgt. Diese konnten alle in die statistische Auswertung der perioperativen Parameter eingeschlossen werden. Das Einschlusskriterien für eine klinische Nachuntersuchung war ein Mindestzeitraum zwischen Operation und dem letztmaligen Nachuntersuchungstermin (11.01.2019) und wurde von 34 Patienten erfüllt (34/42; 81,0%). Von diesen Patienten konnten 13 Patienten für eine klinische Nachuntersuchung

eingeschlossen werden erreicht werden. Dadurch ergibt sich eine Nachuntersuchungsquote von 13/34 (38,2%). Patienten konnten aus unterschiedlichen Gründen nicht in die Studie eingeschlossen werden. So war eine Patientin war bereits verstorben (1/34; 2,9%). Weitere Patienten lehnten eine Nachuntersuchung aufgrund der weiten Anreise ab (4/34; 11,8%). Fünf Patienten wurden telefonisch erreicht und lehnten eine Untersuchung ohne weitere Angabe von Gründen ab (5/34; 14,7%). Weitere elf Patienten wurden von uns weder telefonisch noch postalisch erreicht (11/34; 32,4%).

Die erfolgreich einbestellten Patienten wurden zwischen November 2017 und Januar 2019 untersucht. Für die Untersuchung wurden die Patienten sowohl postalisch als auch telefonisch, wenn nötig auch mehrfach, kontaktiert und für eine Nachuntersuchung einbestellt. Einige Patienten wurden direkt während einer routinemäßigen Kontrolluntersuchungen in der Poliklinik für diese Studie untersucht.

## **2.4. Epidemiologische Daten**

Es wurden das Patientenalter zum Operationszeitpunkt, das Geschlecht des Patienten und die Art der operativen Versorgung der Beckenringfraktur, die der Patienten erhalten hatte, dokumentiert. Der Unfallmechanismus wurde aus vorliegenden Entlassungsbriefen entnommen. Die Frakturen des dorsalen Beckenringes wurden nach AO klassifiziert. Es wurde die Zeit vom Zeitpunkt der operativen Versorgung des dorsalen Beckenrings bis zur Nachuntersuchung ausgewertet. Weiterhin wurden die Patienten erfasst, die einer Nachuntersuchung nicht zur Verfügung standen. Diese Daten wurden beim nachuntersuchten Patientenkollektiv noch einmal gesondert ausgewertet, um mögliche Confounder aufzudecken.

## **2.5. Chirurgische Details**

Verschiedene intraoperative Parameter, wie die Operationsdauer erfasst als Schnitt-Naht-Zeit und die Durchleuchtungszeit, sind mittels OP-Berichten ausgewertet worden. Weiterhin wurde noch die Dauer des Krankenhausaufenthaltes bestimmt, diese wurde der Dokumentation dem Krankenhausinformationssystem entnommen. Ebenfalls wurde das Auftreten von Wundheilungsstörungen als Parameter gemessen, da

Wundheilungsstörungen mit der Dauer und der Größe des operativen Eingriffs korrelieren und einfach quantifizierbar waren. Als weitere Komplikationen wurden noch thromboembolische Ereignisse, wie tiefe Beinvenenthrombosen und Lungenarterienembolien sowie Pneumonien erfasst. Ebenfalls wurden Todesfälle der Patienten dokumentiert, die nach Implantation eines TIFI oder einer SPF während des stationären Aufenthaltes aufgetreten waren. Diese Daten wurden Arzt- und Verlegungsbriefen entnommen. Alle Patienten wurden nach der Dauer ihrer stationären Rehabilitation – sofern stattgefunden - gefragt. Diese Daten wurden beim nachuntersuchten Patientenkollektiv ebenfalls noch einmal gesondert ausgewertet, um mögliche Confounder aufzudecken.

## **2.6. Outcomeparameter**

Die Patienten wurden im Rahmen einer Vorstellung in der unfallchirurgischen Poliklinik des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie am Campus Virchow Klinikum nachuntersucht. Es erfolgte eine klinische Untersuchung des Beckens, welche mit einer Inspektion und Palpation aller Zugänge begann. Des Weiteren wurde neben der Testung der klinischen Stabilität in allen drei Ebenen das Becken auf Druckschmerz und Schmerz bei Bewegung überprüft. Abschließend wurden die unteren Extremitäten hinsichtlich der Kraftgrade in allen Kennmuskeln, der peripheren Sensibilität sowie der Bewegungsumfänge nach der Neutral-Null-Methode als auch das Gangbild beurteilt.

Das Schmerz-Niveau mittels VAS (siehe Anlage 1) wurde zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung sowohl in Ruhe als auch bei Belastung erfragt. Es wurden weiterhin alle Patienten beim Nachuntersuchungstermin nach ihrer derzeitigen maximalen Gehstrecke gefragt. Zusätzlich wurde der berufliche Status der Patienten vor der Beckenringfraktur und zum aktuellen Zeitpunkt erfasst. Hierbei wurden mögliche Änderungen des beruflichen Status sowie, falls vorhanden, die Dauer bis zur Rückkehr in ein Beschäftigungsverhältnis dokumentiert. Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden alle Patienten noch hinsichtlich Störungen der Miktion oder Defäkation oder anderer urologischer Störungen um Auskunft gebeten.

Neben der klinischen Untersuchung wurden zur objektiven Beurteilung des klinischen Outcome verschiedene Fragebögen erhoben: Diese beinhalteten zur Beurteilung der

gesundheitsbezogenen Lebensqualität den „The Short Form (36) Health Survey“ (SF-36) und den „Short Musculoskeletal Function Assessment Questionnaire“ (SMFA), der Funktionseinschränkungen des Bewegungsapparates, allerdings nicht krankheitsspezifisch erfasst, eingesetzt. Der SF-36 umfasst 36 Fragen, die in die acht Domänen Vitalität, körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Schmerzen, allgemeine Gesundheitswahrnehmung, körperliche Rollenfunktion, emotionale Rollenfunktion, soziale Funktionsfähigkeit und psychisches Wohlbefinden aufgeteilt werden (66). Der SMFA ist in die beiden Hauptskalen Funktionsindex und Beeinträchtigungsindex aufgeteilt. Insgesamt wurden 46 Items erfasst (67). Sowohl der SMFA als auch der SF-36 liegen in deutscher Sprache vor und wurden an verschiedenen Krankheitsbildern bzw. Stichproben evaluiert (68, 69). Die verwendeten Fragebögen befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

Zusätzlich wurden zwei beckenspezifische und ein hüftspezifischer Score verwendet, welche sich ebenfalls im Anhang dieser Arbeit befinden.

Der „Majeed Pelvic Score“ (MPS) beurteilt das klinische Ergebnis nach einer Beckenringfraktur. Er besteht insgesamt aus 7 Kategorien, denen jeweils 4 bis zu 6 Abstufungen untergeordnet waren. Hierbei wird der Schmerz im Allgemeinen, der berufliche Werdegang, Schmerzen beim Sitzen und beim Geschlechtsverkehr abgefragt. Weiterhin wird die Nutzung von Gehhilfen, das Gangbild ohne Gehhilfen und die Gehstrecke betrachtet. Insgesamt lassen sich hier 100 Punkte erreichen (70).

Der „Iowa Pelvic Score“ (IPS) beurteilt das funktionelle Ergebnis nach einer Beckenringfraktur. Er besteht aus einem Teil, der 20 Entscheidungsfragen zu Alltagsaktivitäten stellt. Weiterhin wird der berufliche Werdegang nach dem Unfall, der Schmerz und die Gehbehinderung mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten abgefragt. Die Abfrage des Schmerzes mit einer visuellen Analogskala und der Kosmetik vervollständigen diesen Fragebogen. Beim IPS können maximal 100 Punkte erreicht werden. Im Gegensatz zum MPS wird hier vor allem die Ausführung von alltäglichen Aktivitäten höher gewichtet (71).

Lefavre *et al.* veröffentlichten, dass der MPS und der IPS häufig in Publikationen verwendet wurden. Sie evaluierten ebenfalls den MPS und IPS gegen den SF-36 und

den SMFA und fanden hohe Korrelationskoeffizienten zwischen den Fragebögen. Die Autoren sahen alle Fragebögen als valide und ähnlich gut an (72).

Der Score nach Merle d'Aubigné ist ein Fragebogen, der zur Beurteilung der Hüftfunktion genutzt wird. Er wurde von d'Aubigné und Postel erstmals beschrieben. Es werden in den drei Kategorien Schmerz, Beweglichkeit und Gehfähigkeit jeweils bis zu sechs Punkte vergeben. Hieraus wird das absolute Ergebnis, indem die Punkte aus den Kategorien Schmerz und Gehfähigkeit addiert werden, bestimmt. Bei 11-12 Punkten war das Ergebnis sehr gut, bei 10 Punkten gut, bei 9 Punkten mittel, bei 8 Punkten ausreichend und unterhalb von 8 Punkten ist das Ergebnis schlecht. Im Gegensatz zum MPS und IPS ist dieser Fragebogen deutlich kürzer und besteht lediglich aus drei Fragen (73).

## **2.7. Statistische Auswertung**

Alle Daten wurden in einer Excel-Tabelle primär erfasst und verwaltet.

Die statistische Auswertung wurde mittels SPSS Software (SPSS Inc., Chicago, Illinois), in der Version 25 durchgeführt. Der Test nach Mann-Whitney-U wurde verwendet, um die Variablen zu vergleichen, nachdem die Anwendbarkeit dieses Testes geprüft wurde. Ein p-Wert  $<0,05$  wurde als statistisches Signifikanzniveau definiert.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Epidemiologische Daten

##### Patientenkollektiv

Die Patienten wurden alle aufgrund einer Beckenringfraktur mittels der oben beschriebenen Techniken des TIFI (ab hier als „Gruppe A“) oder der SPF (ab hier als „Gruppe B“) stabilisiert. Es wurden 42 Patienten in die Studie einbezogen. In diesem Kapitel werden die epidemiologischen bzw. statistischen Daten dargestellt, stets beginnend mit allen 42 Patienten und folgend mit den Daten der 13 nachuntersuchten Patienten. In Kapitel 4.2. werden die klinischen Ergebnisse der 13 nachuntersuchten Patienten dargestellt.

##### Altersstruktur

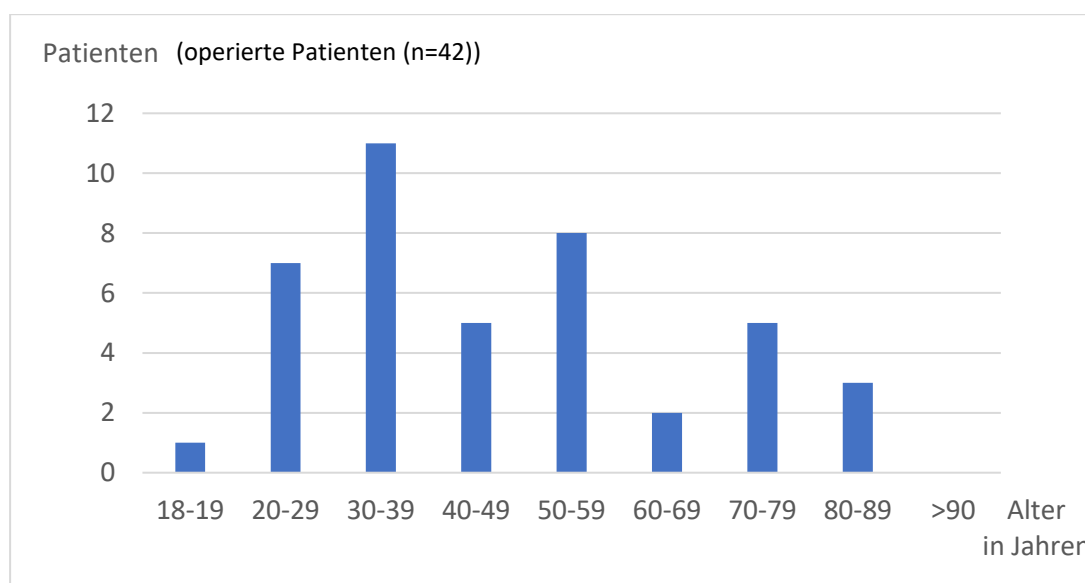


Abbildung 4: Altersstruktur aller operierten Patienten (n=42)

Das durchschnittliche Alter aller 42 Patienten lag zum Zeitpunkt der operativen Versorgung bei  $48 \pm 19$  Jahren. Der jüngste Patient war zum Verletzungszeitpunkt 19, der älteste Patient war 83 Jahre alt. Die Altersverteilung der Patienten wies ein Maximum in der Altersgruppe von 30-39 Jahren auf. Mit zunehmendem Alter sank die Inzidenz der operativ mittels TIFI oder SPF versorgten Beckenringfrakturen in unserem Patientenkollektiv.

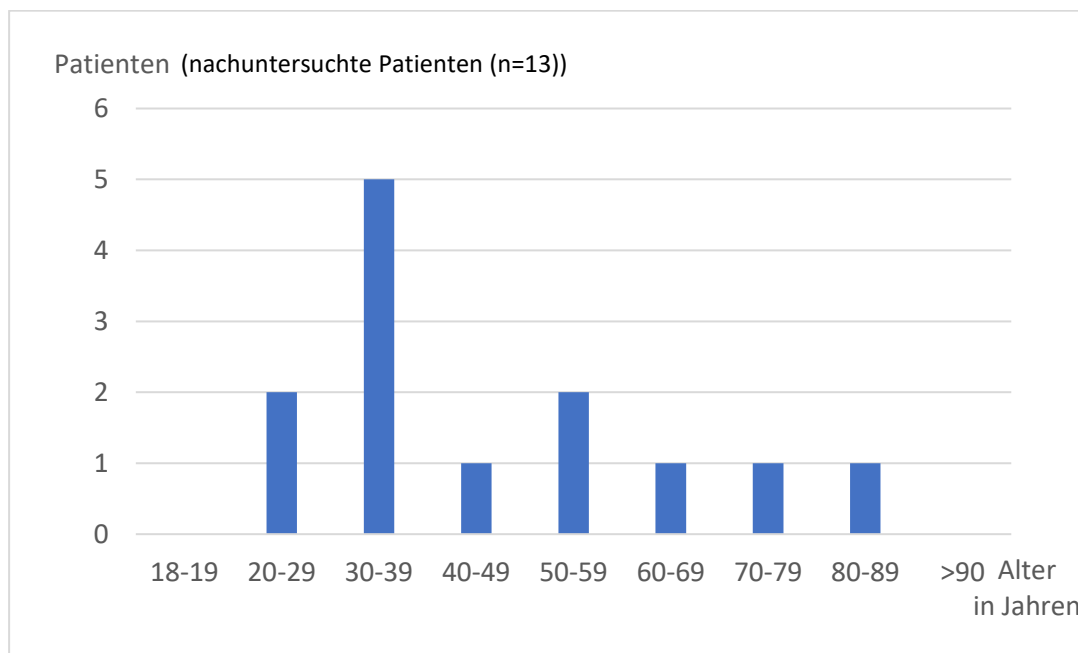


Abbildung 5: Altersstruktur der nachuntersuchten Patienten (n=13)

Bei den 13 klinisch nachuntersuchten Patienten zeigte sich eine ähnliche Altersverteilung wie beim gesamten Patientenkollektiv. So war der größte Teil der Patienten in der Altersgruppe von 30-39 Jahren (fünf Patienten). Jeweils zwei Patienten waren in der Altersgruppe zwischen 20-29 und 50-59. Das durchschnittliche Alter der nachuntersuchten Patienten zum Zeitpunkt der operativen Versorgung lag bei  $46 \pm 19$  Jahren. Der Median betrug 38 Jahre. Der jüngste nachuntersuchte Patient war zum Verletzungszeitpunkt 29, der älteste Patient war 82 Jahre alt.



## Unfallmechanismus

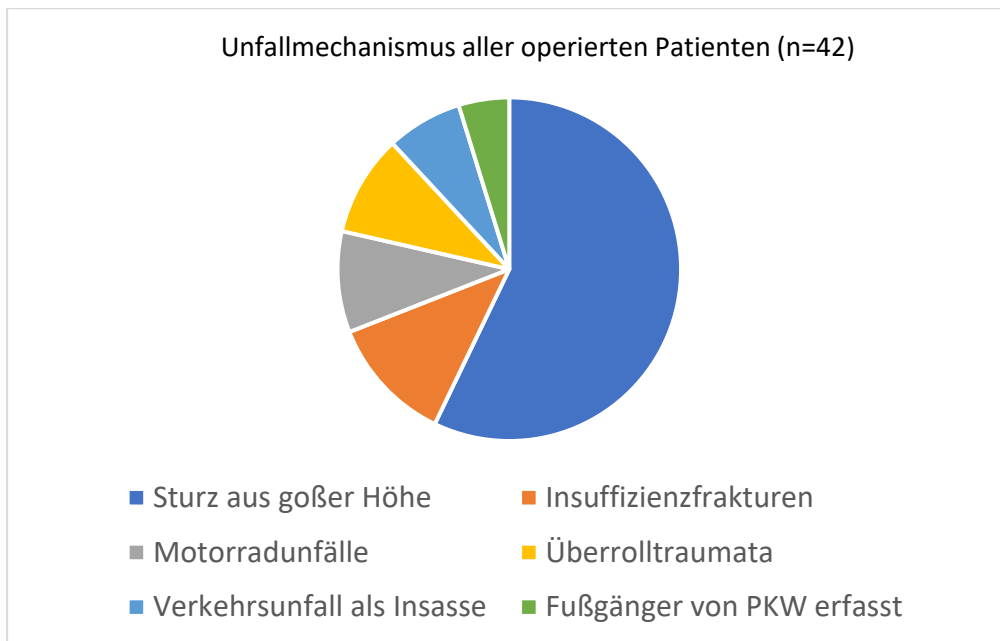


Abbildung 6: Unfallmechanismus aller operierten Patienten (n=42)

Der Unfallmechanismus wurde bei allen 42 Patienten erfasst. Dabei zeigte sich, dass ein Sturz aus großer Höhe sowie Verkehrsunfälle ursächlich für die Verletzungen war. Eine genaue Übersicht der Unfallmechanismen gibt Abb. 7.

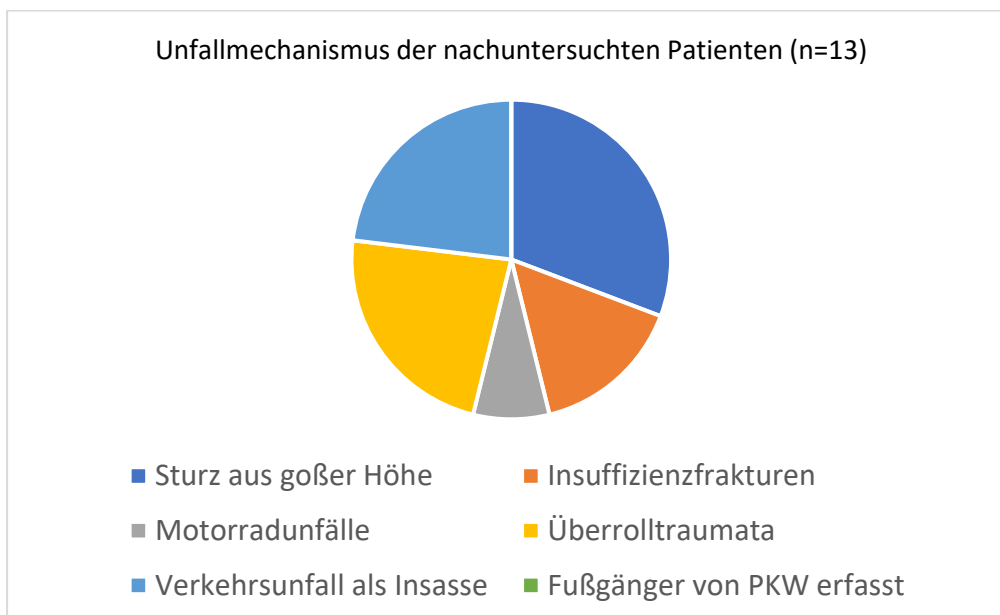


Abbildung 7: Unfallmechanismus der nachuntersuchten Patienten (n=13)

Von den 42 operierten Patienten konnten 13 klinisch nachuntersucht werden. Hiervon stürzten 4/13 Patienten (30,8%) der Patienten aus großer Höhe. Weitere 2 Patienten

erlitten eine Insuffizienzfraktur (15,4%) sowie ein Patient hatte einen Motorradunfall (7,7%). Es konnten jeweils 3 Patienten mit einem Überrolltrauma sowie einem Verkehrsunfall als PKW-Insasse nachuntersucht werden (je 23,1%).

### OP-Verfahren

In unserem Haus wurden 25 von 42 Patienten (59,5%) mittels TIFI versorgt. Mit 17 von 42 Patienten erhielt ein etwas geringerer Anteil an Patienten eine operative Versorgung mittels SPF (40,5%).

Von den 13 klinisch nachuntersuchten Patienten wurden sieben mittels TIFI (53,8%) und sechs Patienten mittels SPF (46,2%) versorgt.

### Geschlechterverteilung

Es konnten 25 Männer und 17 Frauen in unsere Studie eingeschlossen werden. Damit war die Mehrheit der Patienten männlich (59,5%). Patienten in Gruppe A waren größtenteils männlich (17/25 (68,0%)), während die Patienten in Gruppe B mehrheitlich weiblich waren (9/17 (52,9%)).

Insgesamt konnten sieben Männer (53,8%) und sechs Frauen (46,2%) nachuntersucht werden. In Gruppe A waren vier von sieben Patienten männlich (57,1%) während in Gruppe B ebenso viele Männer wie Frauen waren.

### Alter nach OP-Verfahren

Das Durchschnittsalter im gesamten Patientenkollektiv zum Zeitpunkt der operativen Versorgung der Beckenringfraktur lag bei Gruppe A bei 50,5 Jahren (SD  $\pm$  20,4). Patienten in Gruppe B waren im Durchschnitt 43,2 Jahre alt und damit etwas jünger. Die Standardabweichung betrug 15,6 Jahre. Der Altersunterschied war jedoch nicht statistisch signifikant ( $p=0,249$ ).

Das Durchschnittsalter der nachuntersuchten Patienten zum Zeitpunkt der operativen Versorgung der Beckenringfraktur betrug bei Gruppe A 48,4 Jahren (SD  $\pm$  18,3).

Patienten in Gruppe B waren im Durchschnitt 42,8 Jahre alt (SD  $\pm$  21,1) und damit etwas jünger. Der Altersunterschied war nicht signifikant ( $p=0,234$ ).

### Frakturklassifikation

Alle Patienten, die eine operative Versorgung erhielten, wiesen entweder eine Typ-B-Verletzung oder eine Typ-C-Verletzung auf. Insgesamt hatte mit 38 von 42 Patienten die deutliche Mehrheit der Patienten (90,5%) eine Becken-C-Verletzung. Patienten mit Becken-B-Verletzung wurden etwas häufiger mittels TIFI versorgt (12,0% zu 5,9%).

Zwei von sieben nachuntersuchten Patienten in Gruppe A wurden aufgrund einer Becken-B-Verletzung operiert (28,6%). Die übrigen nachuntersuchten Patienten in Gruppe A sowie alle Patienten in Gruppe B wurden aufgrund einer Becken-C-Verletzung operiert.

### Tod

Ein eingeschlossener Patient verstarb – unfallunabhängig – ca. 1,5 Monate nach der Implantation eines TIFI an einer Ruptur eines vorbestehenden Aortenaneurysmas, ansonsten waren in beiden Gruppen nach operativer Versorgung mittels TIFI oder SPF keine Todesfälle während des stationären Aufenthaltes eingetreten.

### Tabellarische Ergebnisse

Parameter	Gruppe A (TIFI)	Gruppe B (SPF)	p-Werte
<b>OP-Verfahren (alle Patienten; n=42)</b>	25/42 (59,5%)	17/42 (40,5%)	
<b>OP-Verfahren (nachuntersuchte Patienten; n=13)</b>	7/13 (53,8%)	6/13 (46,2%)	
<b>Geschlechterverteilung (alle Patienten; n=42)</b>			
Männer (n=25)	17/25 (68,0%)	8/25 (32,0%)	
Frauen (n=17)	8/17 (47,1%)	9/17 (52,9%)	
<b>Geschlechterverteilung (nachuntersuchte Patienten; n=13)</b>			
Männer (n=7)	4/7 (57,1%)	3/7 (42,9%)	
Frauen (n=6)	3/6 (50,0%)	3/6 (50,0%)	
<b>Alter zum OP-Zeitpunkt (alle Patienten; n=42)</b>	50,5 ± 20,4 Jahre	43,2 ± 15,6 Jahre	0,249
<b>Alter zum OP-Zeitpunkt (nachuntersuchte Patienten; n=13)</b>	49,4 ± 18,3 Jahre	42,8 ± 21,1 Jahre	0,234
<b>Frakturklassifikation (alle Patienten; n=42)</b>			
Becken-B-Verletzungen (n=4)	3/4 (75,0%)	1/4 (25,0%)	
Becken-C-Verletzungen (n=38)	22/38 (57,9%)	16/38 (42,1%)	
<b>Frakturklassifikation (nachuntersuchte Patienten; n=13)</b>			
Becken-B-Verletzung (n=2)	2/2 (100,0%)	0/2 (0,0%)	
Becken-C-Verletzung (n=11)	5/11 (45,5%)	6/11 (54,5%)	

Tabelle 1: Epidemiologische Daten

## 3.2. Chirurgische Details

### Schnitt/Naht-Zeit

Die mittlere Schnitt-Naht-Zeit der OP, bei der zuerst die ventrale Versorgung durchgeführt wurde und dann auch der TIFI implantiert wurde, betrug bei Patienten in Gruppe A 227 Minuten (SD  $\pm$  107). Wurde eine SPF nach der ventralen Versorgung durchgeführt, lag die durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit bei 291 Minuten (SD  $\pm$  148). Die Unterschiede bei der Schnitt-Naht-Zeit waren nicht statistisch signifikant ( $p=0,163$ ). Bei der Interpretation der Daten muss bemerkt werden, dass die Schnitt/Naht-Zeit hier die Umlagerungszeit von Rücken- auf Bauchlage mit beinhaltet.

Bei acht Patienten konnte die Schnitt-Naht-Zeit bei einer isolierten Versorgung mittels TIFI oder SPF erfasst werden. In Gruppe A wurde bei drei Patienten eine durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit von 78,3 Minuten (SD  $\pm$  24,9) erfasst. In Gruppe B konnte bei fünf Patienten eine längere mittlere Schnitt-Naht-Zeit von 146,8 Minuten (SD  $\pm$  52,1) erfasst werden. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p=0,143$ ).

### Durchleuchtungszeit

Die intraoperative Durchleuchtungszeit der Implantation des TIFIs oder der SPF konnte bei 39 Patienten erfasst werden. Allerdings wurde hier die kombinierte Durchleuchtungszeit der dorsalen und ventralen Versorgung und ggf. noch ein intraoperativer 3D-Scan gemeinsam erfasst. Die mittlere Durchleuchtungszeit lag bei Gruppe A bei 8,53 Minuten (SD  $\pm$  4,27). Bei Gruppe B war die Durchleuchtungszeit mit 11,9 Minuten (SD  $\pm$  9,08) etwas höher. Die Unterschiede bei der Durchleuchtungszeit waren statistisch nicht signifikant ( $p=0,138$ ).

Bei sieben Patienten konnte die Durchleuchtungszeit bei der isolierten Implantation eines TIFI oder einer SPF erfasst werden. Bei zwei Patienten in Gruppe A lag die mittlere Durchleuchtungszeit bei 8,04 (SD  $\pm$  5,32). Bei fünf Patienten in Gruppe B lag die mittlere Durchleuchtungszeit bei 8,49 Minuten (SD  $\pm$  2,82). Die Unterschiede waren nicht statistisch signifikant ( $p=1,000$ ).

### Krankenhausverweildauer

Die durchschnittliche Verweildauer vom Unfallzeitpunkt bis zur Entlassung oder Verlegung in eine Rehabilitationseinrichtung betrug bei den 25 Patienten in Gruppe A 31,8 Tage (SD  $\pm$  17,8). Bei den 17 Patienten in Gruppe B lag die durchschnittliche Verweildauer bei 31,0 Tagen (SD  $\pm$  15,8). Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p=0,939$ ).

Die durchschnittliche Krankenhausverweildauer vom Unfallzeitpunkt bis zur Entlassung oder Verlegung in eine Rehabilitationseinrichtung betrug bei den sieben nachuntersuchten Patienten in Gruppe A 38,7 Tage (SD  $\pm$  20,9). Bei Patienten in Gruppe B lag die durchschnittliche Verweildauer bei 29,3 Tagen (SD  $\pm$  16,2) und war damit geringer. Ein statistisch signifikanter Unterschied lag nicht vor ( $p=0,295$ ).

### Komplikationen

Wundheilungsstörungen traten in der Gruppe A bei 2/25 Patienten (8%) auf. Patienten, die mittels SPF versorgt wurden (Gruppe B), entwickelten bei 5/17 Fällen (29,4%) und damit häufiger Wundheilungsstörungen ( $p=0,071$ ). Bei 3/25 Patienten in Gruppe A kam es während des stationären Aufenthalts zu einer Pneumonie (12%), während 5/17 Patienten in Gruppe B (29,4%) eine Pneumonie entwickelten ( $p=0,163$ ). Thromboembolische Ereignisse, wie eine Lungenarterienembolie oder tiefe Beinvenenthrombose, traten in Gruppe A bei 2/25 Patienten (8%) und in Gruppe B bei 2/17 Patienten (11,8%) auf ( $p=0,687$ ).

Wundheilungsstörungen traten in der Gruppe A bei keinem nachuntersuchten Patienten auf. Patienten, die mittels SPF versorgt wurden (Gruppe B), entwickelten in 3/6 Fällen (50%) Wundheilungsstörungen ( $p=0,138$ ). Jeweils ein Patient in Gruppe A entwickelte während des stationären Aufenthaltes eine Pneumonie sowie ein thromboembolisches Ereignis. In Gruppe B kam es weder zu Pneumonien noch zu thromboembolischen Ereignissen. Diese Unterschiede waren ebenfalls nicht signifikant ( $p=0,731$ ;  $p=0,731$ ).

Dauer der stationären Rehabilitation

Die nachuntersuchten Patienten in Gruppe A gaben 12,6 Wochen (SD  $\pm$  8,8) als Aufenthaltsdauer in stationären Rehabilitationseinrichtungen an. Bei Patienten in Gruppe B wurde die durchschnittliche Dauer mit 4,7 Wochen (SD  $\pm$  3,7) angegeben. Die Unterschiede in den Aufenthaltsdauern waren statistisch jedoch nicht signifikant ( $p=0,101$ ).

Tabellarische Ergebnisse

Parameter	Gruppe A (TIFI)	Gruppe B (SPF)	p-Werte
<b>Schnitt-Naht-Zeit</b>			
<i>Schnitt-Naht-Zeit (ventrodorsale Versorgung; n=42)</i>	227 $\pm$ 107 min	291 $\pm$ 148 min	0,163
<i>Schnitt-Naht-Zeit (isolierte dorsale OP; n=8)</i>	78,3 $\pm$ 24,9 min	146,8 $\pm$ 52,1 min	0,143
<b>Durchleuchtungszeit</b>			
<i>Durchleuchtungszeit (ventrodorsale Versorgung; n=39)</i>	8,53 $\pm$ 4,27 min	11,9 $\pm$ 9,08 min	0,138
<i>Durchleuchtungszeit (isolierte dorsale OP; n=7)</i>	8,04 $\pm$ 5,32 min	8,49 $\pm$ 2,82 min	1,000
<b>Krankenhausverweildauer (n=42)</b>	31,8 $\pm$ 17,8 d	31,0 $\pm$ 15,8 d	0,939
<b>Komplikationen (alle Patienten; n=42)</b>			
<i>Wundheilungsstörungen</i>	2/25 (8%)	5/17 (29,4%)	0,071
<i>Pneumonie</i>	3/25 (12%)	5/17 (29,4%)	0,163
<i>Thromboembolische Ereignisse</i>	2/25 (8%)	2/17 (11,8%)	0,687
<b>Komplikationen (nachuntersuchte Patienten; n=13)</b>			
<i>Wundheilungsstörungen</i>	0/7 (0%)	3/6 (50%)	0,138
<i>Pneumonie</i>	1/7 (14,3%)	0/6 (0%)	0,731
<i>Thromboembolische Ereignisse</i>	1/7 (14,3%)	0/6 (0%)	0,731
<b>Rehabilitation und Berufliche Reintegration (n=13)</b>			
<i>Stationäre Rehadauer</i>	12,6 $\pm$ 8,8 Wochen	4,7 $\pm$ 3,7 Wochen	0,101

Tabelle 2: Chirurgische Details

### 3.3. Outcomeparameter

#### Follow-up Zeit

Zum Untersuchungszeitpunkt waren bei Patienten in Gruppe A im Durchschnitt 553 Tage (SD  $\pm$  257) seit der operativen Versorgung der Beckenringfraktur vergangen. Patienten in Gruppe B wurden im Durchschnitt nach 524 Tagen (SD  $\pm$  188) und damit etwas früher nachuntersucht. Die Untersuchungszeitpunkte der beiden Gruppen wichen damit nicht statistisch signifikant voneinander ab ( $p=0,731$ ). Der minimale Zeitraum bis zur Nachuntersuchung lag bei 179 Tagen, der maximale Zeitraum bis zur Nachuntersuchung lag bei 980 Tagen.

#### Urologie und Störung der Defäkation, Sexualfunktion

Auf direkte Nachfrage berichtete kein Patient über posttraumatisch oder postoperativ neu aufgetretene sexuelle Funktionsstörungen sowie über Störungen der Miktion oder Defäkation.

#### Schmerzintensität

Ein signifikanter Unterschied wurde bei den mittels visueller Analogskala erfassten Ruheschmerzen gefunden. Patienten in Gruppe A gaben einen mittleren Ruheschmerz von 3,71 (SD  $\pm$  2,14) an, während Patienten in Gruppe B einen mittleren Ruheschmerz von 1,33 (SD  $\pm$  1,37) angaben ( $p=0,073$ ).

Die Patienten in Gruppe A gaben einen durchschnittlichen Belastungsschmerz von 4,71 (SD  $\pm$  2,43) an. In Gruppe B betrug der Belastungsschmerz im Schnitt 4,17 (SD  $\pm$  2,71) auf. Eine statistische Signifikanz war damit nicht gegeben ( $p=0,731$ ).

#### Gehstrecke

Die Patienten wurden um eine Schätzung ihrer maximalen Gehstrecke gebeten. Die durchschnittliche maximale Gehstrecke bei Patienten in Gruppe A wurde mit 4071 Metern (SD  $\pm$  4325) angegeben. Patienten in Gruppe B haben im Mittel 5500 Meter (SD  $\pm$  3834)



angegeben. Die etwas längere Gehstrecke in Gruppe B war allerdings nicht signifikant ( $p=0,366$ ).

### Berufliche Reintegration

Von den sieben Patienten in Gruppe A waren sechs vor dem Unfall berufstätig. Vier Patienten (66.7%) konnten zum Untersuchungszeitpunkt noch keine berufliche Tätigkeit wieder aufnehmen. Die beiden Patienten, die in die Berufstätigkeit zurückkehrten, kehrten nach vier und zwölf Monaten in ihren Beruf zurück, das entspricht im Mittel 8,0 Monaten ( $SD \pm 5,7$ ). Von den sechs Patienten in Gruppe B waren drei vor dem Unfall berufstätig. Diese drei Patienten waren zum Untersuchungszeitpunkt alle bereits nach sechs, acht und 16 Monaten in eine berufliche Tätigkeit zurückgekehrt, was im Schnitt 10,0 Monate ( $SD \pm 5,3$ ) dauerte. Die Wahrscheinlichkeit auf die Rückkehr in ein sozialversicherungspflichtiges Beschäftigungsverhältnis war in unserem Patientenkollektiv bei der Gruppe B höher. Die Unterschiede bei der Zeit bis zur beruflichen Reintegration waren nicht signifikant ( $p=1,000$ ).

### Merle d'Aubigné

Die Patienten in Gruppe A erreichten einen mittleren Merle d'Aubigné-Score von 8 Punkten ( $SD \pm 2,83$ ). Die Patienten in Gruppe B erreichten im Mittel 10,83 Punkte ( $SD \pm 0,75$ ). Damit erreichten die Patienten, die mittels SPF versorgt wurden, ein signifikant besseres klinisches Ergebnis, gemessen mit dem Merle d'Aubigné Score ( $p=0,022$ ).

### Iowa Pelvic Score (IPS)

Das klinische Ergebnis mittels Iowa Pelvic Score (IPS) betrug in Gruppe A (TIFI) 71,4 Punkte ( $SD \pm 21,5$ ). In Gruppe B (SPF) lag der IPS bei 86,2 Punkten ( $SD \pm 16,0$ ) und damit etwas höher. Der höhere IPS in Gruppe B war statistisch allerdings nicht signifikant ( $p=0,234$ ).

Majeed Pelvic Score (MPS)

Das klinische Ergebnis, ermittelt anhand des Majeed Pelvic Scores (MPS), betrug bei Gruppe A (TIFI) 59,9 Punkte (SD  $\pm$  23,6). Der MPS in Gruppe B (SPF) lag bei 83,3 Punkten (SD  $\pm$  13,2). Der MPS in Gruppe B lag damit etwas höher als in Gruppe A (TIFI) ( $p=0,051$ ).

Tabellarische Ergebnisse

Parameter	Gruppe A (TIFI)	Gruppe B (SPF)	p-Werte
<b>Follow-up-Zeit (n=13)</b>	553 $\pm$ 257 Tage	524 $\pm$ 188 Tage	0,731
<b>Schmerzintensität (n=13)</b>			
<i>Schmerz in Ruhe (VAS 0-10)</i>	3,71 $\pm$ 2,14	1,33 $\pm$ 1,37	0,073
<i>Schmerz bei Belastung (VAS 0-10)</i>	4,71 $\pm$ 2,43	4,17 $\pm$ 2,71	0,731
<b>Gehstrecke (n=13)</b>	4071 $\pm$ 4325 m	5500 $\pm$ 3834 m	0,366
<b>Beckenspezifische Scores (n=13)</b>			
<i>Merle d'Aubigné</i>	8 $\pm$ 2,83	10,83 $\pm$ 0,75	<b>0,022</b>
<i>Iowa Pelvic Score</i>	71,4 $\pm$ 21,5	86,2 $\pm$ 16,0	0,234
<i>Majeed Pelvic Score</i>	59,9 $\pm$ 23,6	83,3 $\pm$ 13,2	0,051

Tabelle 3: Outcomeparameter

SF-36

Die Auswertung des SF-36 Fragebogens zeigte, dass Gruppe A (TIFI) insgesamt schlechter abschnitt als Gruppe B (SPF). Obwohl die meisten Einzelparameter keine signifikanten Unterschiede aufwiesen, so zeigte sich in einigen Parametern des SF-36, wie dem Physischen Summenscore (PCS), der Physischen Gesundheit und den Körperlichen Schmerzen, zumindest eine Tendenz zu besseren Ergebnissen der Gruppe B. Einzig die Einzelparameter „Vitalität“ sowie „Soziale Funktionsfähigkeit“ erreichten statistische Signifikanz. Die Tabelle 5 fasst die Ergebnisse des SF-36 detailliert zusammen.

Parameter	Gruppe A (TIFI)	Gruppe B (SPF)	p-Werte
<b>Short Form (36) Gesundheitsfragebogen (n=13)</b>			
<i>PCS</i>	30,0 ± 14,3	43,8 ± 9,0	0,073
<i>Physische Gesundheit</i>	40,0 ± 29,4	71,7 ± 18,1	0,051
<i>Körperliche Rollenfunktion</i>	25,0 ± 35,4	37,5 ± 49,4	1,000
<i>Körperliche Schmerzen</i>	42,7 ± 29,7	76,8 ± 16,6	0,051
<i>Allgemeiner Gesundheitszustand</i>	44,3 ± 24,1	63,3 ± 15,4	0,138
<i>MCS</i>	39,9 ± 13,1	50,3 ± 11,6	0,138
<i>Vitalität</i>	40,0 ± 13,8	66,7 ± 17,2	<b>0,014</b>
<i>Soziale Funktionsfähigkeit</i>	43,1 ± 37,3	91,8 ± 14,9	<b>0,022</b>
<i>Emotionale Rollenfunktion</i>	47,6 ± 50,4	50,0 ± 54,5	1,000
<i>Psychisches Wohlbefinden</i>	60,0 ± 26,5	75,3 ± 16,9	0,445

Tabelle 4: Short Form (36) Gesundheitsfragebogen

SMFA-D

Die Auswertung des SMFA-D Fragebogens zeigte, dass Gruppe A (TIFI) überall tendenziell schlechter abschnitt als Gruppe B (SPF). Einige Einzelparameter wiesen Tendenzen zugunsten der SPF, wie der Bereich tägliche Aktivität und der Bereich emotionaler Zustand, auf. Die Einzelparameter „Bereich Mobilität“, der „Funktionsindex“ sowie der „Beeinträchtigungsindex“ erreichten statistische Signifikanz. Für einzelne Ergebnisse sei auf Tabelle 5 verwiesen.

Parameter	Gruppe A (TIFI)	Gruppe B (SPF)	p-Werte
<b>Funktionsfragebogen Bewegungsapparat (SMFA-D) (n=13)</b>			
<i>Bereich tägliche Aktivität</i>	51,8 ± 26,5	23,8 ± 28,4	0,073
<i>Bereich emotionaler Zustand</i>	42,3 ± 13,4	20,2 ± 20,7	0,073
<i>Bereich Arm- und Handfunktion</i>	17,9 ± 22,3	3,1 ± 6,2	0,101
<i>Bereich Mobilität</i>	51,2 ± 17,9	20,9 ± 22,7	<b>0,035</b>
<i>Funktionsindex</i>	41,7 ± 18,8	17,4 ± 17,8	<b>0,035</b>
<i>Beeinträchtigungsindex</i>	50,6 ± 20,7	19,8 ± 17,8	<b>0,014</b>

Tabelle 5: Funktionsfragebogen Bewegungsapparat (SMFA-D)

## 4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war der Vergleich der beiden Operationsmethoden SPF und TIFI anhand von Patienten, die zwischen 12/2015 und 12/2018 am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité operiert wurden. Hierzu erfolgte eine Auswertung an perioperativen Parametern und Komplikationen bei 42 Patienten und eine klinische Nachuntersuchung sowie die Erfassung der Lebensqualität bei 13 Patienten mittels Fragebögen.

Patienten, die mittels TIFI versorgt wurden (Gruppe A), hatten tendenziell weniger Wundinfektionen, Pneumonien und thromboembolische Ereignisse als die Patienten, die mittels SPF versorgt wurden (Gruppe B). Schnitt-Naht-Zeit und Durchleuchtungszeit waren bei Gruppe A (TIFI) niedriger als in Gruppe B (SPF). Im Gegensatz dazu zeigten die Patienten in Gruppe B (SPF) ein signifikant besseres klinisches Ergebnis gemessen mit dem beckenspezifischen Score Merle d'Aubigné und postoperativ tendenziell weniger Schmerzen als Gruppe A (TIFI). Die postoperative Lebensqualität, bestimmt anhand des SF-36, war in beiden Gruppen vergleichbar, die Patienten in Gruppe B (SPF) berichteten jedoch über eine frühere berufliche Reintegration. Die vorliegende Arbeit ist, soweit bekannt, die erste, die einen klinischen Vergleich zwischen Patienten mit TIFI und SPF zum Ziel hat.

### Klinische Ergebnisse

#### *Scores*

Die klinischen Ergebnisse wurden anhand verschiedener Scores quantifiziert. Patienten mit SPF erreichten im Iowa Pelvic Score (IPS) ein etwas besseres Ergebnis (86,2/100 vs. 71,4/100). Patienten mit SPF erreichten im Merle d'Aubigné Score im Mittel ebenfalls ein statistisch signifikant besseres klinisches Ergebnis als Patienten mit TIFI (10,83 vs. 8 Punkte). In der Literatur bei Versorgung mittels TIFI oder SPF wurden kein IPS und kein Merle d'Aubigné angegeben. Templeman *et al.* fanden bei unterschiedlichen OP-Techniken bei Sakrumfrakturen einen mittleren IPS von 79/100 Punkten, die grundsätzlich vergleichbar mit den eigenen Ergebnissen sind (71). Beim Majeed Pelvic Score (MPS) erreichten Patienten mit SPF ein signifikant besseres Ergebnis als Patienten mit TIFI (83,3 vs. 59,9/100 Punkte). Die eigenen Patienten mit TIFI erreichten

im MPS mit 59,9/100 Punkten ein etwas schlechteres klinisches Ergebnis als Salášek *et al.*, die 80,64/100 Punkte angegeben haben (65). Der mittlere MPS wird bei der SPF in der Literatur mit 84,5/100 Punkten bei Yu *et al.* (74), mit 78/100 Punkten von Sobhan *et al.* (75) und von Tan *et al.* mit 73,4/100 Punkten angegeben (76). Damit liegt das eigene klinische Ergebnis der SPF, anhand des MPS, mit 83,3/100 Punkten im oberen Bereich. In der Literatur waren die Ergebnisse des MPS zwischen beiden Methoden bisher in vergleichbarer Höhe angegeben worden. Die besseren klinischen Ergebnisse der SPF können auf die höhere biomechanische Stabilität der SPF zurückgeführt werden.

### Lebensqualitätsbezogene Ergebnisse

#### SF-36

Hinsichtlich der Ergebnisse des SF-36 zeigten sich bei Patienten, die mit SPF versorgt worden sind, lediglich bei den Untergruppen soziale Funktionsfähigkeit ( $43,1 \pm 37,3$  vs.  $91,8 \pm 14,9$ ;  $p=0,022$ ) und Vitalität ( $40,0 \pm 13,8$  vs.  $66,7 \pm 17,2$ ;  $p=0,014$ ) statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich einer besseren postoperativen Lebensqualität. In den Summenscores MCS und PCS wiesen die Ergebnisse dahingegen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf. Das Ergebnis von MCS und PCS ist mit den Ergebnissen von Kerschbaum *et al.* vergleichbar (77). In allen Subscores des SF-36 zeigt sich, verglichen mit der deutschen Normalbevölkerung, eine etwas reduzierte Lebensqualität (69). Dies steht ebenfalls im Einklang mit den Ergebnissen von Kerschbaum *et al.*, die ebenfalls eine etwas reduzierte Lebensqualität beschrieben (77). Die gesundheitsbezogene Lebensqualität wird selbstverständlich auch noch von vielen anderen persönlichen Faktoren, die hier nicht erfasst wurden, beeinflusst.

#### SMFA-D

Die körperliche Funktionsfähigkeit gemessen mit dem SMFA-D konnte ebenfalls bei allen Patienten erfasst werden. Die Unterschiede erreichten im „Bereich Mobilität“, der „Funktionsindex“ sowie der „Beeinträchtigungsindex“ statistische Signifikanz zugunsten der SPF. Im Bereich „tägliche Aktivität“ sowie im Bereich „emotionaler Zustand“ fand sich hingegen keine statistisch signifikanten Unterschiede. Jones *et al.* verwendete diesen

Fragebogen bei 15 Patienten mit instabilen komplexen Sakrumfrakturen, die mittels SPF versorgt wurden sind (78). Verglichen mit den Daten von Jones *et al.* zeigt sich ein etwas besseres Ergebnis bei Versorgung mittels SPF im eigenen Vorgehen (78). Die etwas schlechteren Ergebnisse bei Versorgung mittels SPF bei Jones *et al.* können möglicherweise auf die ausschließliche Versorgung von komplexeren Frakturen bei Jones *et al.* zurückgeführt werden. Für den TIFI finden sich in der Literatur keine Zahlen. Verglichen mit der amerikanischen Normalbevölkerung sind die Ergebnisse beider Gruppen erwartungsgemäß etwas schlechter (68). Die etwas besseren Ergebnisse der SPF im Bereich Mobilität, Funktionsindex und Beeinträchtigungsindex können auf die höhere biomechanische Stabilität bei der SPF zurückgeführt werden. Die schlechteren Ergebnisse der Patienten mit SPF im Bereich Arm- und Handfunktion kann als Indikator für die schwereren Begleitverletzungen gewertet werden, da dieser Bereich durch die Beckenringfraktur nicht beeinflusst wird. Der SMFA-D wird als nicht beckenspezifischer Fragebogen natürlich stark vom übrigen Gesundheitszustand und den Begleitverletzungen beeinflusst, weshalb eine Ableitung eines besseren OP-Verfahrens aufgrund dieser Ergebnisse schwierig ist.

#### *Follow-up-Zeit*

Die mittlere Follow-up-Zeit bei beiden Gruppen war mit 18,2 Monaten (TIFI) und 17,2 Monaten (SPF) vergleichbar hoch. Kerschbaum *et al.* gaben bei einer TIFI und SPF vergleichenden Studie eine mittlere Follow-up Zeit von 60,5 Monaten an. Die geringere Nachuntersuchungszeit im eigenen Haus war zum Teil auch mit der Einführung des TIFI im eigenen Haus im Jahr 2014 zu erklären. Ebenfalls mussten bei unserer Studie im Gegensatz zu Kerschbaum *et al.* die Patienten klinisch nachuntersucht werden, weshalb auf eine längere Follow-up-Zeit verzichtet wurde, da es erfahrungsgemäß mit zunehmender Zeit schwieriger wird, die Patienten zu erreichen (77).

#### *Schmerzintensität*

Die von uns nachuntersuchten Patienten zeigten einen höheren Ruheschmerz nach TIFI ((3,71/10 vs. 1,33/10), wobei unter Belastungsbedingungen vergleichbare Werte angegeben wurden (4,71 (TIFI) vs. 4,17 (SPF)). Obwohl wir keine direkten

Vergleichsdaten in der Literatur finden konnten, sind chronische Schmerzen nach Beckenringverletzungen ein häufiges Problem (mehr als 50% nach Beckenringfrakturen) (79). Obgleich Schmerz eine höchst subjektive Wahrnehmung ist, zeigen Literaturdaten, dass auch bei der operativen Therapie von großen Röhrenknochen vergleichbare Werte angegeben werden (3,7/10 bei Sanders et al.) (80). Die höheren Schmerzen in der Patientengruppe mit TIFI kann auch zum Teil auf die geringere biomechanische Stabilität zurückgeführt werden.

#### *Dauer der stationären Rehabilitation und Berufliche Reintegration*

Die Patienten, die mit TIFI versorgt wurden, verbrachten eine längere Zeit in einer Einrichtung der stationären Rehabilitation als Patienten mit SPF (12,6 Wochen vs. 4,7 Wochen). In der Literatur fanden sich hier keine Daten für TIFI oder SPF. Diese Unterschiede lassen sich zum Teil durch weitere, verlaufsbestimmende Begleitverletzungen erklären, da Beckentraumata selten isoliert auftreten (77).

Die nachuntersuchten Patienten, insbesondere nach Versorgung mittels TIFI, hatten häufig Schwierigkeiten bei der beruflichen Reintegration. So gelang nur 33,3% der Patienten mit TIFI in ein sozialversicherungspflichtiges Beschäftigungsverhältnis zurückzukehren, während es bei der SPF allen Patienten gelang. Je ein Patient pro Gruppe war bereits berentet. Die Zeit bis zur beruflichen Wiedereingliederung war mit acht Monaten (TIFI) und 10 Monaten (SPF) vergleichbar. Nusser *et al.* berichteten einen Rückgang der Erwerbstätigkeit um 16,6 Prozentpunkten bei Beckenringfrakturen (62). Ein Teil der geringen Anzahl an Patienten, die in die Erwerbstätigkeit zurückkehren, kann durch die schwerwiegenden begleitenden Verletzungen begründet werden.

#### Patienten- und Versorgungscharakteristika

##### *Alters- und Geschlechtsverteilung*

Hinsichtlich Alter und Geschlechtsverteilung zeigte sich unser Kollektiv vergleichbar mit anderen Studien zu diesem Thema (1, 6, 7, 77).



Die Altersverteilung der nachuntersuchten Patienten (n=13) entspricht im Wesentlichen der Gesamtstichprobe (n=42). Die Geschlechterverteilung im nachuntersuchten Patientengut ist ebenfalls mit dem Gesamtkollektiv vergleichbar. So waren 54% der nachuntersuchten Patienten männlichen Geschlechts, während 59% der insgesamt operierten Patienten männlich waren. Innerhalb der Gruppen ist die Geschlechterverteilung ebenfalls vergleichbar.

Das Patientenalter der Patienten, die mittels TIFI versorgt wurden, lag im Mittel etwas höher (50,5 Jahre) als bei Patienten, die mit SPF versorgt wurden (43,2 Jahre). In der Literatur ist das Durchschnittsalter der Patienten bei Versorgung mit TIFI von Dienstknecht *et al.* mit 36,7 Jahren beschrieben worden (64). Lindahl *et al.* gaben bei Patienten, die mit SPF versorgt wurden, ein Durchschnittsalter von 30,5 Jahren an (81). Ayoub gab bei Patienten, die eine SPF erhalten haben, ebenfalls ein niedrigeres Durchschnittsalter von 33,7 Jahren an (82). Kerschbaum *et al.* hingegen gaben ein mittleres Alter von 51,6 Jahren für ihr gesamtes Patientenkollektiv (SPF und TIFI) an (77). Das im oberen Bereich liegende Durchschnittsalter unserer Patienten kann zu einem Teil durch den fortschreitenden demografischen Wandel und der damit verbundenen Zunahme geriatrischer Beckenringfrakturen sowie einer unterschiedlichen Indikationsstellung begründet werden (2).

### *Unfallmechanismus*

Anhand des Vergleiches mit anderen Studien zeigt sich der Einfluss der geographischen Lage der an den Studien beteiligten Zentren. Beispielsweise konnte Gänsslen *et al.* zeigen, dass in deren Patientengut ein Sturz aus großer Höhe nur in 8% ursächlich war, wohingegen in unseren Daten 57,1% der Patienten aus großer Höhe abstürzten (1). Die Daten von Gänsslen *et al.* stammen aus einem ländlich gelegenen Zentrum, was eine Verschiebung hin zu Verkehrsunfällen als Ursache bedingt (1). Unser Zentrum liegt im Ballungsraum Berlin, sodass hier Unfälle mit hohen Geschwindigkeiten seltener auftreten. In unseren Daten treten andere Unfallursachen wie z. B. der Sturz aus großer Höhe in den Vordergrund, was hauptsächlich im Rahmen von Arbeitsunfällen auf einer der unzähligen Baustellen im Großraum Berlin erfolgte oder aber im Rahmen von

suizidalen Stürzen. Auch Überrolltraumata sind in unserem Kollektiv mit 9,5% relativ häufig (Lindahl *et al.* geben diese beispielsweise mit 3,8% an (81)), was vermutlich ebenfalls auf den geographischen Faktor und die relative Häufung von Verkehrsunfällen mit „ungleichen“ Gegnern – Fußgänger/Fahrradfahrer vs. PKW/LKW – zurückzuführen ist. Es konnten nur vier Patienten nachuntersucht werden, die aus großer Höhe gestürzt waren. Somit liegt der Anteil der nachuntersuchten Patienten nach einem Sturz aus großer Höhe mit 30,8% nur etwa halb so hoch wie im Gesamtkollektiv. Bei diesen Patienten waren Sprünge in suizidaler Absicht die häufigste Ursache, sodass erhebliche psychiatrische Komorbiditäten vorlagen, was die geringe Nachuntersuchungsrate bei diesen Patienten erklären kann. Die übrigen Unfallmechanismen, mit Ausnahme der Motorradunfälle und den von PKW erfassten Fußgängern, sind dadurch eher überrepräsentiert.

#### *Frakturklassifikation und operative Versorgung*

In der eigenen Patientenkohorte hatten 90,5% der Patienten Becken-C-Frakturen, die übrigen 9,5% Becken-B-Frakturen erlitten. Die retrospektive Arbeit von Kerschbaum *et al.* fand mit 78,3% einen etwas geringeren Anteil an Becken-C-Verletzungen (77). Der höhere Anteil an Becken-C-Verletzungen kann primär durch die Einschlusskriterien erklärt werden, da Becken-B-Frakturen selten mit den hier verglichenen Verfahren operiert werden sowie mit einer möglicherweise sich unterscheidenden Indikationsstellung hinsichtlich des operativen Verfahrens.

Das nachuntersuchte Patientenkollektiv ist bezüglich der Frakturklassifikation mit unserem Gesamtkollektiv gut vergleichbar. Allerdings sind Becken-B-Verletzungen bei Patienten, die mittels TIFI operativ versorgt wurden, etwas überrepräsentiert (28,6% zu 11,5%).

In unserem Kollektiv wurde als operative Versorgung die TIFI geringgradig häufiger eingesetzt (59,5% vs. 40,5%). Dies spiegelt sich ähnlich bei anderen Autoren wie Kerschbaum *et al.* wieder, welche bei 82% der Patienten die Implantation eines TIFI beschrieben (77).

## Perioperative Parameter

### *Operationsdauer*

Dienstknecht publizierte eine mittlere OP-Dauer von 29 Minuten für eine TIFI (64). Unsere OP-Zeiten zeigen hier deutlich höhere Werte, wobei erwähnt werden muss, dass in 85,7% der Fälle eine 360° Stabilisierung erfolgte, was ein intraoperatives Umlagern notwendig machte. Hier erfolgte in unserem zentralen Krankenhausinformationssystem keine gesonderte Dokumentation der beiden Schnitt-Naht-Zeiten, sondern der Eingriff wurde im Gesamten dokumentiert. Daher sind unsere Daten nicht mit den in der Literatur genannten Zeiten vergleichbar.

Die mittlere OP-Dauer zur Durchführung einer SPF variiert in der Literatur sehr stark. Williams und Quinnan haben bei 17 Patienten eine perkutane SPF von L4 und L5 ohne Segmentfusion bis zum dorsalen Beckenkamm und in einigen Fällen zusätzlich perkutan eine SI-Schraube eingebracht. Die mittlere OP-Dauer betrug 144 Minuten (83). Koshimune *et al.* verglichen in ihrer Publikation die konventionelle, offene SPF, mit der acht Patienten behandelt wurden, und die minimalinvasive SPF, mit der ebenfalls acht Patienten behandelt wurden. Bei allen Patienten lag eine spinopelvine Dissoziation vor. Die mittlere OP-Zeit lag beim offenen Vorgehen bei 345 Minuten und beim minimalinvasiven Vorgehen bei 208 Minuten (84). He *et al.* fanden bei 21 Patienten mit spinopelviner Dissoziation und offener SPF eine mittlere OP-Dauer von 190 Minuten (85). Tan *et al.* publizierten eine Fallserie mit neun Patienten mit spinopelviner Dissoziation, die mittels SPF versorgt wurden. Die mittlere OP-Dauer lag bei 137 Minuten (76).

Mit einer mittleren OP-Dauer von 146,8 Minuten ist im eigenen Vorgehen die OP-Dauer tendenziell etwas geringer als in der Literatur angegeben. Auch hier beziehen sich unsere Daten zur OP-Dauer nur auf fünf Fälle.

Da im eigenen Haus bei den Patienten häufig in der gleichen Operation eine Verletzung des ventralen Beckenringes versorgt wurde und der Patient anschließend umgelagert wurde, kann man anhand der Gesamtdauer der Operation ebenfalls einen Trend zu einer kürzeren Dauer bei der TIFI (227 Minuten) im Vergleich zur SPF (291 Minuten) erkennen.

### *Durchleuchtungszeit*

Zur intraoperativen Durchleuchtungszeit finden sich in der Literatur sehr uneinheitliche Angaben. In unserem Kollektiv waren die Durchleuchtungszeiten zwischen den beiden Gruppen vergleichbar (TIFI 8,04 min, SPF 8,49 min), wobei die kürzere Durchleuchtungszeit bei der TIFI auch so in der vorhandenen Literatur beschrieben ist. Bislang gibt es in der Literatur jedoch keine Studie, die die beiden Verfahren bezüglich Durchleuchtungszeit direkt gegeneinander vergleicht. So gaben Füchtmeier *et al.* beim TIFI die mittlere intraoperative Durchleuchtungszeit mit 0,3 Minuten an (48). William und Quinnan publizierten bei der SPF eine mittlere intraoperative Durchleuchtungszeit von 2,3 Minuten (83). Hier müssen starke methodische Unterschiede in der Dokumentation der Durchleuchtungszeiten angenommen werden. In der eigenen Dokumentation sind die perioperativen Durchleuchtungszeiten nicht nach der genauen operativen Versorgung aufgeteilt, sondern häufig alle Durchleuchtungszeiten eines Patienten an einem Tag addiert. Da fast immer noch Begleitverletzungen wie Verletzungen des ventralen Beckenringes und gegebenenfalls noch weitere Frakturen versorgt wurden, ist unsere Durchleuchtungszeit hoch. Weiterhin findet sich bei Füchtmeier *et al.* und William und Quinnan keine Angaben, wie und zu welchem Zeitpunkt die Durchleuchtungszeit erhoben wurde. Im eigenen Vorgehen wurde häufig auch ein intraoperativer 3D-Scan durchgeführt, der ebenfalls zu einer erheblichen Erhöhung der Durchleuchtungszeit beigetragen hat.

### *Krankenhausverweildauer*

Die mittlere Krankenhausverweildauer war mit 31,8 bzw. 31,0 Tagen in beiden Gruppen vergleichbar. Buller *et al.* berichteten bei 48.361 amerikanischen Patienten mit multiplen Beckenringfrakturen zwischen 1990 und 2007 eine mittlere Verweildauer von 13,3 Tagen (4). Vergleichbare Zahlen aus den USA wurden von Connor *et al.* publiziert, die 12,2 Tage bei operativer Versorgung innerhalb der ersten Woche und 20,5 Tage bei späterer Versorgung angaben (86). Die höhere Krankenhausverweildauer kann durch das in beiden Gruppen recht häufige Auftreten von Komplikationen, die nicht unmittelbar auf die operative Versorgung, sondern auf vielmehr auf Immobilisation und Beatmung zurückgeführt werden. Häufig vorliegende schwerere therapiebedürftige

Begleitverletzungen können ebenfalls die lange Verweildauer erklären. Ein weiterer möglicher Erklärungsansatz sind die unterschiedlichen Gesundheitssysteme zwischen Deutschland und den USA, hier gibt es erhebliche Unterschiede bezüglich der akutstationären und poststationären Versorgung. Weiterhin sind in beiden Studien, im Gegensatz zum eigenen Patientenkollektiv, Patienten mit Typ-A-Frakturen eingeschlossen. Diese Patienten weisen selten relevante Begleitverletzungen auf und sind deshalb früher mobilisiert und somit auch entlassungsfähig. Ein weiterer Faktor kann die Wartezeit auf eine poststationäre Rehabilitation sein. So konnte ein Großteil der Patienten vor Beginn der Rehabilitation nicht nach Hause entlassen werden, so dass hier die Wartezeit ebenfalls die Dauer des stationären Aufenthaltes erhöht.

Die Krankenhausverweildauer der Patienten, die mittels TIFI versorgt wurden, lag im nachuntersuchten Patientenkollektiv mit 38,7 Tagen etwas höher als beim Gesamtkollektiv, hier betrug sie 31,8 Tage. Dies kann möglicherweise zum Teil auf die schweren Begleitverletzungen dieser Patienten zurückzuführen sein. Bei Patienten mit SPF waren die Krankenhausverweildauern vergleichbar.

### Komplikationen und unerwünschte Ereignisse

#### *Tod*

Die Krankenhausmortalität von Beckenringverletzungen wurde in Deutschland im Jahr 2006 mit 5% angegeben (3). Kerschbaum *et al.* berichteten bei 105 Patienten nach operativer Versorgung mittels TIFI oder SPF nur einen Todesfall auf 105 Patienten (1%) (77). In unserer Kohorte verzeichneten wir hingegen keinen Todesfall, womit die postoperative Mortalität unserer Patienten mit den Werten aus der Literatur vergleichbar gering ist. Jedoch gilt es zu bedenken, dass die Vergleichbarkeit mit der Literatur eingeschränkt ist, da hier ein sehr kleiner Auszug aus allen Beckenverletzungen abgebildet ist und in der Literatur meist die Gesamtleletalität der Beckenverletzungen angegeben wird.

### *Wundheilungsstörungen*

Es traten in der Gruppe der SPF häufiger Wundheilungsstörungen auf als in der Gruppe des TIFI (29,4% vs. 8%). In der Literatur gaben Dienstknecht *et al.* die Rate an Wundinfektion beim TIFI mit 6% an, womit unsere Ergebnisse vergleichbar sind. Bei der offen durchgeführten SPF variieren die Zahlen in der Literatur sehr stark: Wundheilungsstörungen und Wundinfektionen werden je nach Autor und Studie mit 0% bis 38% angegeben (74, 81, 85, 87). Bei minimalinvasivem oder perkutanem Vorgehen beschrieben Williams und Quinnan in 6% der Fälle Wundheilungsstörungen (83), Jazini *et al.* in 8,3% (88). Die höchsten Wundinfektionsraten wurden von Sobhan *et al.* (21,4% (75)) und Koshimune *et al.* (38%) publiziert (84). Bei der SPF liegt die Rate an Wundheilungsstörungen im eigenen Patientenkollektiv im Vergleich zur Literatur im Mittelfeld. Dies kann durch die häufig schweren Begleitverletzungen, die zu einer verzögerten Mobilisation sowie zu einer prolongierten Rückenlage der Patienten mit SPF geführt haben, erklärt werden. Weiterhin ist der Begriff Wundheilungsstörung nicht klar definiert und muss vom in der Literatur häufig verwendeten Begriff Wundinfektion abgegrenzt werden. Nicht alle Wundheilungsstörungen im eigenen Patientenkollektiv benötigten eine operative Revision, weshalb wir bei der eigenen Patientengruppe den Anteil der Wundinfektionen überschätzen.

### *Pneumonie*

Postoperative Pneumonien werden bei diesen Verletzungen in der Literatur bei Versorgung mittels TIFI mit 19,4% und bei Versorgung mittels SPF mit 3,6-9% angegeben (56, 64, 82). In unserer Kohorte entwickelte sich bei Versorgung mittels TIFI in 12% und nach Versorgung mittels SPF in 29,4% der Fälle eine postoperative Pneumonie, was bezüglich des TIFI im Einklang mit publizierten Daten ist.

Das Risiko, eine Pneumonie zu entwickeln, scheint im eigenen Kollektiv im Vergleich bei der SPF etwas erhöht zu sein, auch wenn die Daten in der Literatur dies eher nicht zu bestätigen scheinen. Die Literaturangaben basieren allerdings bei der SPF auf geringen Fallzahlen. Für die Prävention der Entwicklung einer Pneumonie ist eine schnelle Mobilisation und Beendigung der maschinellen Beatmung entscheidend (89). Die eigenen Patienten wiesen insbesondere in der SPF-Gruppe Begleitverletzungen auf, die,

unabhängig von der Beckenringfraktur, eine schnelle Mobilisation bzw. Entwöhnung unmöglich machten.

### *Thromboembolische Ereignisse*

Postoperative thromboembolische Ereignisse werden bei diesen Verletzungen in der Literatur bei Versorgung mittels TIFI mit 3% und bei Versorgung mittels SPF mit 6,7-10,7% angegeben (56, 64, 78, 82). In unserer Kohorte zeigte sich bei Versorgung mittels TIFI in 8% und bei der Versorgung mittels SPF in 11,8% der Fälle ein postoperatives thromboembolisches Ereignis, was somit im Einklang mit publizierten Daten ist.

Sowohl die Literatur als auch die eigenen Ergebnisse weisen auf ein etwas geringeres Risiko für die Entwicklung eines thromboembolischen Ereignisses bei Versorgung mittels TIFI hin. Vergleichbar mit dem Risiko der Entwicklung einer Pneumonie korreliert das Risiko der Entwicklung eines thromboembolischen Ereignis ebenfalls mit der Schwere der Begleitverletzungen bzw. der Dauer des Aufenthaltes auf einer Intensivstation und anderen nicht beeinflussbaren patientenspezifischen Faktoren (90).

Die Komplikationsraten der nachuntersuchten Patienten, die mit einem TIFI versorgt wurden, waren im Wesentlichen mit denen aller mit TIFI operierten Patienten vergleichbar. In der Patientengruppe, die mittels SPF versorgt wurde, waren Wundheilungsstörungen bei den nachuntersuchten Patienten im Vergleich zu allen mittels SPF versorgten Patienten etwas überrepräsentiert. Pneumonien und thromboembolische Ereignisse waren hingegen unterrepräsentiert. Vergleicht man die gesamte Häufigkeit an Komplikationen, sind die nachuntersuchten Patienten aber gut mit dem gesamten Patientenkollektiv vergleichbar. Anhand des Vergleiches aller operierten Patienten mit den Patienten, die für eine Nachuntersuchung zur Verfügung standen, lässt sich bei den Patienten, die mittels TIFI versorgt wurden, aufgrund der längeren Krankenhausverweildauer ein komplizierter Verlauf mit schwerwiegenden Begleitverletzungen ableiten. Die nachuntersuchte Patientengruppe, die mittels SPF versorgt worden ist, ist anhand der perioperativ erhobenen Daten sehr gut mit allen mittels SPF operierten Patienten vergleichbar.

### Limitationen

Die größte Limitation dieser Arbeit ist sicherlich die niedrige Nachuntersuchungsquote sowie das heterogene Patientenkollektiv. Jedoch war es nicht möglich, eine höhere Nachuntersuchungsquote dieser an sich seltenen schweren Beckenverletzungen zu erreichen. Um die Heterogenität der Kollektive zu eliminieren, bedürfte es immenser Fallzahlen und Jahrzehnte der Patientenakquise, was dann allerdings im Kontrast zu den sich entwickelnden operativen Verfahren stünde und somit auch keine vergleichenden Studien möglich wären. Ferner handelt es sich um eine retrospektive Analyse mit ihren bekannten Limitationen hinsichtlich der Auswertbarkeit und Aussagekraft. Allerdings bleibt anzumerken, dass es sich hierbei um eine operative Serie eines einzigen Chirurgen handelt und somit ein Bias durch unterschiedliche Ausbildungsstände von Operateuren ausgeschlossen werden kann. Jedoch muss noch erwähnt werden, dass die Indikation zur SPF versus TIFI anhand der zugrundeliegenden Frakturmorphologie gestellt wurde, sodass eine egalisierte Verteilung von Frakturtypen auf die verglichenen Verfahren nicht gewährleistet werden konnte.



## 5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war der Vergleich der beiden Operationsmethoden SPF und TIFI anhand der Patienten, die zwischen 12 /2015 und 12/2018 in der Charité operiert wurden. Hierzu erfolgte eine statistische Auswertung an perioperativen Parametern und Komplikationen bei 42 Patienten. Weiterhin erfolgte eine klinische Nachuntersuchung sowie die Erfassung der Lebensqualität bei 13 Patienten mittels Fragebögen. Dies ist die erste Arbeit, die einen klinischen Vergleich zwischen Patienten mit TIFI und SPF zum Ziel hat.

Die Patienten in der Gruppe A (TIFI) zeigten einen Verlauf während des stationären Aufenthaltes mit tendenziell weniger Komplikationen, wie Wundinfektionen, Pneumonien und thromboembolischen Ereignissen als die Patienten in Gruppe B (SPF). Die Schnitt-Naht-Zeit und die Durchleuchtungszeit bei Gruppe A (TIFI) waren ebenfalls niedriger als in Gruppe B (SPF). Verglichen mit Gruppe A (TIFI) zeigten die Patienten in Gruppe B (SPF) ein geringfügig besseres klinisches Ergebnis, gemessen anhand des beckenspezifischen Scores Merle d'Aubigne und etwas weniger Schmerzen. In weiteren beckenspezifischen Scores fand sich hingegen kein statistisch signifikanter Vorteil zugunsten der SPF. In Gruppe B (SPF) lag die postoperative Lebensqualität, ermittelt anhand des SF-36, zwar in einigen Subscores signifikant höher als in Gruppe A (TIFI), jedoch fand sich in den globalen Scores MCS und PCS ein vergleichbares Ergebnis. Im SMFA-D hingegen erreichten die Patienten in Gruppe B (SPF) sowohl im Funktions- als auch im Beeinträchtigungsindex signifikant bessere Ergebnisse. Diese statistisch signifikanten Unterschiede in der postoperativen Lebensqualität sind in dieser Arbeit erstmalig beschrieben worden. Die Patienten in Gruppe B (SPF) berichteten weiterhin über eine schnellere und bessere berufliche Reintegration. Die geringere Komplikationsrate bei Implantation eines TIFI, verglichen mit der SPF, ist in der Literatur bereits beschrieben und in unserem Kollektiv vergleichbar niedrig. Die in der Literatur beschriebenen höheren Komplikationsraten nach Implantation einer SPF, insbesondere bezüglich Wundinfektionen, fanden sich in unserer Arbeit ebenfalls wieder. Das Patientenkollektiv war hinsichtlich der epidemiologischen Daten ebenfalls mit anderen Publikationen vergleichbar.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die TIFI der SPF hinsichtlich Komplikationsraten und perioperativer Parameter überlegen ist. Bei geringgradig

besseren klinischen Ergebnissen der SPF, jedoch in Anbetracht möglicher Langzeitfolgen wie Anschlussdegeneration bei der SPF sollte daher die Indikationsstellung individuell geprüft und - wenn möglich und vertretbar - die TIFI eingesetzt werden. Die Indikation sollte dementsprechend auf Einzelfallbasis hinsichtlich Frakturmorphologie und dem speziellen Patientenfall getroffen werden. Eine abschließende Empfehlung kann bislang nicht getroffen werden, hier sind weitere Untersuchungen notwendig.

## V. Literaturverzeichnis

1. Gänsslen A, Pohlemann T, Paul C, Lobenhoffer P, Tscherne H. Epidemiology of pelvic ring injuries. *Injury*. 1996;27 Suppl 1:S-A13-20.
2. Kannus P, Parkkari J, Niemi S, Sievänen H. Low-Trauma Pelvic Fractures in Elderly Finns in 1970-2013. *Calcif Tissue Int*. 2015;97(6):577-80.
3. Pohlemann T, Stengel D, Tosounidis G, Reilmann H, Stuby F, Stöckle U, Seekamp A, Schmal H, Thannheimer A, Holmenschläger F, Gänsslen A, Rommens PM, Fuchs T, Baumgärtel F, Marintschev I, Krischak G, Wunder S, Tscherne H, Culemann U. Survival trends and predictors of mortality in severe pelvic trauma: estimates from the German Pelvic Trauma Registry Initiative. *Injury*. 2011;42(10):997-1002.
4. Buller LT, Best MJ, Quinnan SM. A Nationwide Analysis of Pelvic Ring Fractures: Incidence and Trends in Treatment, Length of Stay, and Mortality. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2016;7(1):9-17.
5. Höch A, Özkurtul O, Pieroh P, Josten C, Böhme J. Outcome and 2-Year Survival Rate in Elderly Patients With Lateral Compression Fractures of the Pelvis. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2017;8(1):3-9.
6. Pohlemann T, Tscherne H, Baumgärtel F, Egbers HJ, Euler E, Maurer F, Fell M, Mayr E, Quirini WW, Schlickewei W, Weinberg A. [Pelvic fractures: epidemiology, therapy and long-term outcome. Overview of the multicenter study of the Pelvis Study Group]. *Unfallchirurg*. 1996;99(3):160-7.
7. Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H, Pohlemann T. [Pelvic fracture. Diagnostics and current treatment options]. *Chirurg*. 2003;74(7):687-98; quiz 99-700.
8. Küper MA, Trulson A, Stuby FM, Stöckle U. Pelvic ring fractures in the elderly. *EFORT Open Rev*. 2019;4(6):313-20.
9. Schiebler TH, Korf H-W. Anatomie Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie ; unter Berücksichtigung des Gegenstandskatalogs ; mit 111 Tabellen / Theodor H. Schiebler ; Horst-W. Korf. Heidelberg]: Heidelberg : Steinkopff; 2007.
10. Schünke M. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: Prometheus - LernAtlas der Anatomie. Stuttgart: Stuttgart : Georg Thieme Verlag; 2014.
11. Marsh JL, Slongo TF, Agel J, Broderick JS, Creevey W, DeCoster TA, Prokuski L, Sirkin SM, Ziran B, Henley B, Audige L. Fracture and dislocation classification compendium - 2007: Orthopaedic Trauma Association classification, database and outcomes committee. *J Orthop Trauma*. 2007;21(10 Suppl):S1-133.
12. Finkenzeller G, Baierlein SA. AO/OTA-Klassifikation. Frakturklassifikationen: Georg Thieme Verlag; 2011.
13. Pelvic Ring. *J Orthop Trauma*. 2018;32 Suppl 1:S71-S6.
14. Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;227:67-81.
15. Beckmann NM, Chinapuvvula NR. Sacral fractures: classification and management. *Emerg Radiol*. 2017;24(6):605-17.
16. Roy-Camille R, Saillant G, Gagna G, Mazel C. Transverse fracture of the upper sacrum. Suicidal jumper's fracture. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985;10(9):838-45.
17. Tötterman A, Glott T, Madsen JE, Røise O. Unstable sacral fractures: associated injuries and morbidity at 1 year. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(18):E628-35.
18. Baumgärtel F. Tscherne Unfallchirurgie. Becken und Acetabulum / H. Tscherne ... (Hrsg.); unter Mitarb. von F. Baumgaertel 1998. XVI, 498 S. : Ill.-XVI, S. : Ill. p.

19. Ji MX, Yu Q. Primary osteoporosis in postmenopausal women. *Chronic Dis Transl Med.* 2015;1(1):9-13.
20. Stahel P, E. Heyde C, Wyrwich W, Ertel W. Aktuelle Konzepte des Polytraumamanagements: Von ATLS zu „Damage Control“. September 2005, Volume 34, Issue 9, pp 823–836.
21. Pohlemann T, Gänsslen A, Tscherne H. Die Sakrumfraktur. *Unfallchirurg.* 2000;103:769-786.
22. McCormack R, Strauss EJ, Alwattar BJ, Tejwani NC. Diagnosis and management of pelvic fractures. *Bull NYU Hosp Jt Dis.* 2010;68(4):281-91.
23. Gonzalez RP, Fried PQ, Bukhalo M. The utility of clinical examination in screening for pelvic fractures in blunt trauma. *J Am Coll Surg.* 2002;194(2):121-5.
24. den Boer TA, Geurts M, van Hulsteijn LT, Mubarak A, Slingerland J, Zwart B, van der Heijden GJMG, Blokhuis TJ. The value of clinical examination in diagnosing pelvic fractures in blunt trauma patients: a brief review. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2011;37(4):373-7.
25. Leone A, Cassar-Pullicino VN, Pérez MH, Guglielmi G. Emergency and Trauma of the Pelvic Ring. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2017;21(3):210-7.
26. Berg EE, Chebuhar C, Bell RM. Pelvic trauma imaging: a blinded comparison of computed tomography and roentgenograms. *J Trauma.* 1996;41(6):994-8.
27. Gary JL, Mulligan M, Banagan K, Sciadini MF, Nascone JW, O’toole RV. Magnetic resonance imaging for the evaluation of ligamentous injury in the pelvis: a prospective case-controlled study. *J Orthop Trauma.* 2014;28(1):41-7.
28. Halawi MJ. Pelvic ring injuries: Emergency assessment and management. *J Clin Orthop Trauma.* 2015;6(4):252-8.
29. Comai A, Zatelli M, Haglmuller T, Bonatti G. The Role of Transcatheter Arterial Embolization in Traumatic Pelvic Hemorrhage: Not Only Pelvic Fracture. *Cureus.* 2016;8(8):e722.
30. Reilly MC, Zinar DM, Matta JM. Neurologic injuries in pelvic ring fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1996(329):28-36.
31. Siebler JC, Hasley BP, Mormino MA. Functional outcomes of Denis zone III sacral fractures treated nonoperatively. *J Orthop Trauma.* 2010;24(5):297-302.
32. Basta AM, Blackmore CC, Wessells H. Predicting urethral injury from pelvic fracture patterns in male patients with blunt trauma. *J Urol.* 2007;177(2):571-5.
33. Cass AS. Urethral injury in the multiple-injured patient. *J Trauma.* 1984;24(10):901-6.
34. Fallon B, Wendt JC, Hawtrey CE. Urological injury and assessment in patients with fractured pelvis. *J Urol.* 1984;131(4):712-4.
35. Palmer JK, Benson GS, Corriere JN. Diagnosis and initial management of urological injuries associated with 200 consecutive pelvic fractures. *J Urol.* 1983;130(4):712-4.
36. Bosch U, Pohlemann T, Haas N, Tscherne H. [Classification and management of complex pelvic trauma]. *Unfallchirurg.* 1992;95(4):189-96.
37. Tosounidis G, Holstein JH, Culemann U, Holmenschlager F, Stuby F, Pohlemann T. Changes in epidemiology and treatment of pelvic ring fractures in Germany: an analysis on data of German Pelvic Multicenter Study Groups I and III (DGU/AO). *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2010;77(6):450-6.
38. Gaski GE, Manson TT, Castillo RC, Slobogean GP, O’Toole RV. Nonoperative treatment of intermediate severity lateral compression type 1 pelvic ring injuries with minimally displaced complete sacral fracture. *J Orthop Trauma.* 2014;28(12):674-80.

39. Sembler Soles GL, Lien J, Tornetta P. Nonoperative immediate weightbearing of minimally displaced lateral compression sacral fractures does not result in displacement. *J Orthop Trauma*. 2012;26(10):563-7.
40. Hagen J, Castillo R, Dubina A, Gaski G, Manson TT, O'Toole RV. Does Surgical Stabilization of Lateral Compression-type Pelvic Ring Fractures Decrease Patients' Pain, Reduce Narcotic Use, and Improve Mobilization? *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(6):1422-9.
41. Trafton P, Banerjee R, Brink P, Cimerman M, Pohlemann T, Tomazevic M. Pelvic ring 2015 [14.04.2019]. Available from: <https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery?showPage=diagnosis&bone=Pelvis&segment=Ring>.
42. Burkhardt M, Culemann U, Seekamp A, Pohlemann T. [Strategies for surgical treatment of multiple trauma including pelvic fracture. Review of the literature]. *Unfallchirurg*. 2005;108(10):812, 4-20.
43. Seekamp A. Externe Fixation am Beckenring. *Trauma Berufskrankh (2007)* 9(Suppl 2): S149.
44. Vaidya R, Colen R, Vigdorichik J, Tonnos F, Sethi A. Treatment of unstable pelvic ring injuries with an internal anterior fixator and posterior fixation: initial clinical series. *J Orthop Trauma*. 2012;26(1):1-8.
45. Vaidya R, Woodbury D, Nasr K. Anterior Subcutaneous Internal Pelvic Fixation/INFIX: A Systemic Review. *J Orthop Trauma*. 2018;32 Suppl 6:S24-S30.
46. Gänsslen A, Krettek C. Retrograde transpubic screw fixation of transpubic instabilities. *Oper Orthop Traumatol*. 2006;18(4):330-40.
47. Breuer R, David A. Beckenringfrakturen - interne Stabilisation. *OP-JOURNAL2003*.
48. Füchtmeier B, Maghsudi M, Neumann C, Hente R, Roll C, Nerlich M. [The minimally invasive stabilization of the dorsal pelvic ring with the transiliacal internal fixator (TIFI)--surgical technique and first clinical findings]. *Unfallchirurg*. 2004;107(12):1142-51.
49. Salasek M, Jansova M, Kren J, Pavelka T, Weisova D. Biomechanical comparison of a transiliac internal fixator and two iliosacral screws in transforaminal sacral fractures: a finite element analysis. *Acta of bioengineering and biomechanics / Wroclaw University of Technology*. 2015;17(1):39-49.
50. Dienstknecht T, Berner A, Lenich A, Zellner J, Mueller M, Nerlich M, Fuechtmeier B. Biomechanical analysis of a transiliac internal fixator. *Int Orthop*. 2011;35(12):1863-8.
51. Böhme J, Lägel A, Schmidt F, Tiemann AH, Josten C. [Ligament healing results after type C pelvic ring fractures. Results of triangular vertebropelvic support]. *Unfallchirurg*. 2010;113(9):734-40.
52. Schildhauer TA, Ledoux WR, Chapman JR, Henley MB, Tencer AF, Routt ML. Triangular osteosynthesis and iliosacral screw fixation for unstable sacral fractures: a cadaveric and biomechanical evaluation under cyclic loads. *J Orthop Trauma*. 2003;17(1):22-31.
53. Min KS, Zamorano DP, Wahba GM, Garcia I, Bhatia N, Lee TQ. Comparison of two-transsacral-screw fixation versus triangular osteosynthesis for transforaminal sacral fractures. *Orthopedics*. 2014;37(9):e754-60.
54. Jazini E, Klocke N, Tannous O, Johal HS, Hao J, Salloum K, Gelb DE, Nascone JW, Belin E, Hoshino CM, Hussain M, O'Toole RV, Bucklen B, Ludwig SC. Does Lumbopelvic Fixation Add Stability? A Cadaveric Biomechanical Analysis of an Unstable Pelvic Fracture Model. *J Orthop Trauma*. 2017;31(1):37-46.

55. Song W, Zhou D, He Y. The biomechanical advantages of bilateral lumbo-iliac fixation in unilateral comminuted sacral fractures without sacroiliac screw safe channel: A finite element analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(40):e5026.
56. De Iure F, Cappuccio M, Palmisani M, Pascarella R, Commessatti M. Lumboiliac fixation in lumbosacral dislocation and associated injuries of the pelvis and lumbosacral junction: a long-term radiological and clinical follow-up. *Injury*. 2016;47 Suppl 4:S44-S8.
57. Stuby FM, Schäffler A, Haas T, König B, Stöckle U, Freude T. [Insufficiency fractures of the pelvic ring]. *Unfallchirurg*. 2013;116(4):351-64; quiz 65-6.
58. Mears SC, Sutter EG, Wall SJ, Rose DM, Belkoff SM. Biomechanical comparison of three methods of sacral fracture fixation in osteoporotic bone. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(10):E392-5.
59. Mehling I, Hessmann MH, Rommens PM. Stabilization of fatigue fractures of the dorsal pelvis with a trans-sacral bar. Operative technique and outcome. *Injury*. 2012;43(4):446-51.
60. Krappinger D, Larndorfer R, Struve P, Rosenberger R, Arora R, Blauth M. Minimally invasive transiliac plate osteosynthesis for type C injuries of the pelvic ring: a clinical and radiological follow-up. *J Orthop Trauma*. 2007;21(9):595-602.
61. Herm F. Rehabilitation nach Becken- und Azetabulumverletzung. *Trauma Berufskrankh* 2012;14(Suppl 2): 224.
62. Nusser M, Holstiege J, Kaluscha R, Tepohl L, Stuby F, Röderer G, Krischak G. [Return to Work after Fractures of the Pelvis and the Acetabulum]. *Z Orthop Unfall*. 2015;153(3):282-8.
63. Papatiriu AN, Prevezas N, Krikonis K, Alexopoulos EC. Recovery and Return to Work After a Pelvic Fracture. *Saf Health Work*. 2017;8(2):162-8.
64. Dienstknecht T, Berner A, Lenich A, Nerlich M, Fuechtmeier B. A minimally invasive stabilizing system for dorsal pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(11):3209-17.
65. Salasek M, Pavelka T, Kren J, Weisova D, Jansova M. [Minimally invasive stabilization of posterior pelvic ring injuries with a transiliac internal fixator and two iliosacral screws: comparison of outcome]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2015;82(1):41-7.
66. Ware JE, Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care*. 1992;30(6):473-83.
67. Swiontkowski MF, Engelberg R, Martin DP, Agel J. Short musculoskeletal function assessment questionnaire: validity, reliability, and responsiveness. *J Bone Joint Surg Am*. 1999;81(9):1245-60.
68. Hunsaker FG, Cioffi DA, Amadio PC, Wright JG, Caughlin B. The American academy of orthopaedic surgeons outcomes instruments: normative values from the general population. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84-A(2):208-15.
69. Ellert U, Kurth BM. [Health related quality of life in adults in Germany: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2013;56(5-6):643-9.
70. Majeed SA. Grading the outcome of pelvic fractures. *J Bone Joint Surg Br*. 1989;71(2):304-6.
71. Templeman D, Goulet J, Duwelius PJ, Olson S, Davidson M. Internal fixation of displaced fractures of the sacrum. *Clin Orthop Relat Res*. 1996(329):180-5.
72. Lefavre KA, Slobogean GP, Ngai JT, Broekhuysen HM, O'Brien PJ. What outcomes are important for patients after pelvic trauma? Subjective responses and psychometric

- analysis of three published pelvic-specific outcome instruments. *J Orthop Trauma*. 2014;28(1):23-7.
73. d'Aubigné RM, Postel M. Functional results of hip arthroplasty with acrylic prosthesis. *J Bone Joint Surg Am*. 1954;36-A(3):451-75.
74. Yu YH, Lu ML, Tseng IC, Su CY, Hsu YH, Yeh WL, Wu CC. Effect of the subcutaneous route for iliac screw insertion in lumbopelvic fixation for vertical unstable sacral fractures on the infection rate: A retrospective case series. *Injury*. 2016;47(10):2212-7.
75. Sobhan MR, Abrisham SM, Vakili M, Shirdel S. Spinopelvic Fixation of Sacroiliac Joint Fractures and Fracture-Dislocations: A Clinical 8 Years Follow-Up Study. *Arch Bone Jt Surg*. 2016;4(4):381-6.
76. Tan GQ, He JL, Fu BS, Li LX, Wang BM, Zhou DS. Lumbopelvic fixation for multiplanar sacral fractures with spinopelvic instability. *Injury*. 2012;43(8):1318-25.
77. Kerschbaum M, Hausmann N, Worlicek M, Pfeifer C, Nerlich M, Schmitz P. Patient-related outcome of unstable pelvic ring fractures stabilized with a minimal invasive screw-rod system. *Health Qual Life Outcomes*. 2017;15(1):248.
78. Jones CB, Sietsema DL, Hoffmann MF. Can lumbopelvic fixation salvage unstable complex sacral fractures? *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(8):2132-41.
79. Sen RK, Veerappa LA. Outcome analysis of pelvic ring fractures. *Indian J Orthop*. 2010;44(1):79-83.
80. Sanders DW, MacLeod M, Charyk-Stewart T, Lydestad J, Domonkos A, Tieszer C. Functional outcome and persistent disability after isolated fracture of the femur. *Can J Surg*. 2008;51(5):366-70.
81. Lindahl J, Mäkinen TJ, Koskinen SK, Söderlund T. Factors associated with outcome of spinopelvic dissociation treated with lumbopelvic fixation. *Injury*. 2014;45(12):1914-20.
82. Ayoub MA. Displaced spinopelvic dissociation with sacral cauda equina syndrome: outcome of surgical decompression with a preliminary management algorithm. *Eur Spine J*. 2012;21(9):1815-25.
83. Williams SK, Quinnan SM. Percutaneous Lumbopelvic Fixation for Reduction and Stabilization of Sacral Fractures With Spinopelvic Dissociation Patterns. *J Orthop Trauma*. 2016;30(9):e318-24.
84. Koshimune K, Ito Y, Sugimoto Y, Kikuchi T, Morita T, Mizuno S, et al. Minimally Invasive Spinopelvic Fixation for Unstable Bilateral Sacral Fractures. *Clin Spine Surg*. 2016;29(3):124-7.
85. He S, Zhang H, Zhao Q, He B, Guo H, Hao D. Posterior approach in treating sacral fracture combined with lumbopelvic dissociation. *Orthopedics*. 2014;37(11):e1027-32.
86. Connor GS, McGwin G, MacLennan PA, Alonso JE, Rue LW. Early versus delayed fixation of pelvic ring fractures. *Am Surg*. 2003;69(12):1019-23; discussion 23-4.
87. Keel MJ, Benneker LM, Siebenrock KA, Bastian JD. Less invasive lumbopelvic stabilization of posterior pelvic ring instability: technique and preliminary results. *J Trauma*. 2011;71(3):E62-70.
88. Jazini E, Weir T, Nwodim E, Tannous O, Saifi C, Caffes N, Costales T, Koh E, Banagan K, Gelb D, Ludwig SC. Outcomes of lumbopelvic fixation in the treatment of complex sacral fractures using minimally invasive surgical techniques. *Spine J*. 2017;17(9):1238-46.
89. Ranjan N, Chaudhary U, Chaudhry D, Ranjan KP. Ventilator-associated pneumonia in a tertiary care intensive care unit: Analysis of incidence, risk factors and mortality. *Indian J Crit Care Med*. 2014;18(4):200-4.

90. Cloney MB, Goergen J, Hopkins BS, Dhillon ES, Dahdaleh NS. Factors associated with venous thromboembolic events following ICU admission in patients undergoing spinal surgery: an analysis of 1269 consecutive patients. *J Neurosurg Spine*. 2018;30(1):99-105.



## VI. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Transiliakaler Fixateur interne (Patient aus eigenem Kollektiv) .....	30
Abbildung 2: Spinopelvine Fixation (Patient aus eigenem Kollektiv) .....	32
Abbildung 3: Spinopelvine Fixation (Patient aus eigenem Kollektiv) .....	32
Abbildung 4: Altersstruktur aller operierten Patienten (n=42) .....	37
Abbildung 5: Altersstruktur der nachuntersuchten Patienten (n=13) .....	38
Abbildung 6: Unfallmechanismus aller operierten Patienten (n=42) .....	39
Abbildung 7: Unfallmechanismus der nachuntersuchten Patienten (n=13) .....	39

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Epidemiologische Daten .....	42
Tabelle 2: Chirurgische Details .....	45
Tabelle 3: Outcomeparameter .....	48
Tabelle 4: Short Form (36) Gesundheitsfragebogen .....	49
Tabelle 5: Funktionsfragebogen Bewegungsapparat (SMFA-D) .....	50

## VII. Anhang

### Anlage 1:

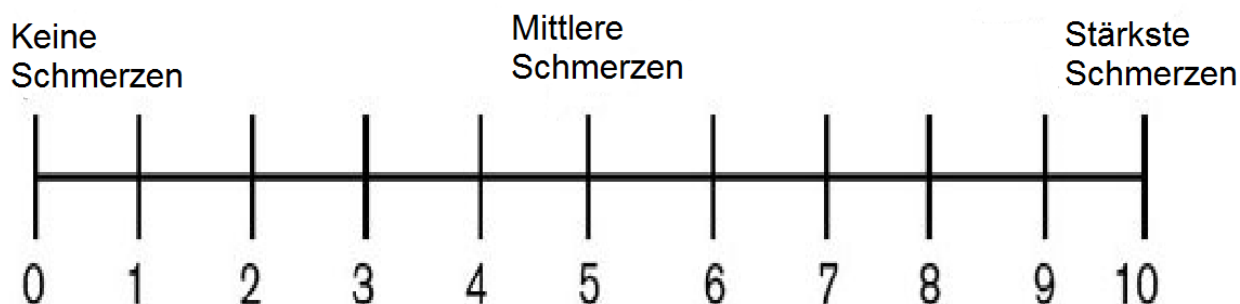
Patientenname: \_\_\_\_\_

Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_

Fallnummer: \_\_\_\_\_

Schmerzintensität

### 0-10 Visuelle Analogskala



Lokalbefund Zugang

- reizlos     Rötung     Schwellung  
 Sekretion     Überwärmung

Druckschmerz über Zugang

- ja     nein

Time back to work

\_\_\_\_\_

Berufsstatus

- gleicher Beruf     Berufswechsel     Berentung

Welcher Beruf?

\_\_\_\_\_

Reha

- stationär                       ambulant                       keine

Dauer der Reha

\_\_\_\_\_

Röntgen Becken in 3 Ebenen

- erfolgt, Datum: \_\_\_\_\_                       nicht erfolgt

Radiologischer Befund:

## VIII. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Erik Hempel, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleichende Evaluation von klinischen Ergebnissen nach operativer Stabilisierung des dorsalen Beckenrings mittels Spinopelviner Fixation oder Transiliakalem Fixateur interne“ 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.

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](http://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

### **Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen**

Erik Hempel hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1: Hempel E., Seemann R., Rau D., Lembke V., Tsitsilonis S. Schwabe P., Märdian S., Klinische Ergebnisse nach operativer Stabilisierung von dorsalen Pathologien des Beckenringes, Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2019). Berlin, 22.-25.10.2019. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; DocAB15-1027, 2019  
Einbestellung und klinische Untersuchung aller Patienten, Auswertung des Krankenhausinformationssystems hinsichtlich perioperativer Parameter und statistische Auswertung dieser, Untersuchung der Patienten, statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse und der Ergebnisse der Fragebögen, Erstellung aller Grafiken

---

Unterschrift, Datum und Stempel des/der erstbetreuenden Hochschullehrers/in

---

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

## **IX. Lebenslauf**

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

## **X. Publikationsliste**

Hempel E., Seemann R., Rau D., Lembke V., Tsitsilonis S., Schwabe P., Märdian S. Klinische Ergebnisse nach operativer Stabilisierung von dorsalen Pathologien des Beckenrings. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2019). Berlin, 22.-25.10.2019. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2019. DocAB15-1027

## **XI. Danksagung**

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Sven Märdian für die Überlassung des Themas und der Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit sowie der Publikation meiner Arbeit auf dem DKOU 2019.

Besonderer Dank gilt auch Dr. med. Ricarda Seemann, die mir für alle Fragen jederzeit zur Verfügung stand und mich mit Rat und Tat bei dieser Arbeit unterstützte. Mein besonderer Dank gilt ihr auch im Hinblick auf die Motivation, die Ergebnisse auf dem DKOU 2019 zu publizieren und der tatkräftigen Unterstützung dabei sowie der konstruktiven Kritik an meiner Arbeit.

Weiterhin danke ich allen Ärzten und den Mitarbeitern der Poliklinik des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie, die mich bei der Untersuchung der Patienten unterstützt haben sowie allen Patienten, die sich für die Nachuntersuchung zur Verfügung gestellt haben.

Großer Dank gilt auch meiner Familie, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.