

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie (ZOU)
der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Sakroiliakale Verschraubungen

-

Ein Patientenreview aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie (ZOU) der
Universitätsmedizin in Mainz
von 2005 bis 2014

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der

Medizin

der Universitätsmedizin

der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Eva Mareike Nolte

aus Offenbach am Main

Mainz, 2020

Wissenschaftlicher Vorstand:	Univ.-Prof. Dr.
1. Gutachter:	Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c.
2. Gutachter:	Univ.- Prof. Dr.
Tag der Promotion:	30. Juni 2020

Für "Nøle"

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Eva Mareike Nolte geb. Klenk, erkläre hiermit, dass die vorgelegte Dissertation von mir selbstständig, ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel, angefertigt wurde.

Alle von mir benutzten Veröffentlichungen, ungedruckten Materialien, sonstige Hilfsmittel sowie Textstellen, die ich wörtlich oder inhaltlich aus gedruckten oder ungedruckten Arbeiten übernommen habe, habe ich als solche gekennzeichnet und mit den erforderlichen bibliographischen Angaben nachgewiesen.

Unterstützungsleistungen, die ich von anderen Personen erhalten habe, wurden in der Dissertationsschrift als solche benannt.

Die Dissertation wurde bei keiner anderen Fakultät oder einem anderen Fachbereich vorgelegt, weder im In- noch im Ausland.

Überdies bin ich nicht im Besitz eines anderen Doktorgrades. Ein bisher erworbener Doktorgrad wurde mir nicht aberkannt.

Ich habe bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet.

Die Gelegenheit zum Promotionsverfahren wurde mir nicht kommerziell vermittelt, insbesondere nicht durch Organisationen oder Personen, die gegen Entgelt Betreuungen für Dissertationen vermittelt oder anbietet.

Mir ist bekannt, dass die Zulassung zur Promotion zu versagen ist, wenn die Unterlagen unvollständig oder die Angaben unrichtig sind. Ich bin darüber informiert, dass ich zur Führung des Dokortitels erst mit Aushändigung der Promotionsurkunde berechtigt bin.

Die aktuell gültige Fassung der „Satzung der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg –Universität Mainz zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ wurde beachtet und ihre Grundsätze bei der wissenschaftlichen Arbeit eingehalten.

Es bestehen aktuell keine strafrechtlichen, dienstordnungsrechtlichen oder berufsständischen Verfahren gegen mich. Es besteht insbesondere kein einschlägiges Berufsverbot gegen mich.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Einleitung.....	1
1.1. Anatomie des Beckens.....	4
1.1.1 Knöcherne Anteile.....	4
1.1.2 Verbindungen zwischen den knöchernen Anteilen	5
1.1.3 Muskelgruppen	7
1.1.4 Gefäß- und Nervenbahnen	12
1.1.5 Organstrukturen des kleinen Beckens	15
1.2. Mechanische Grundlagen und Verletzungsmechanik des Beckenrings	16
1.2.1. Grundlagen der physiologischen Kräfteverteilung.....	16
1.2.2. Verletzungsmechanik.....	19
1.3. Epidemiologie der Beckenfrakturen.....	20
1.4. Diagnostik.....	21
1.4.1. Präklinische Maßnahmen	21
1.4.2. Klinische Diagnostik.....	22
1.4.3. Bildgebende Diagnostik	25
1.5. Frakturklassifikationen.....	29
1.5.1. Tile/AO-Klassifikation	29
1.5.2. Young/Burgess	31
1.5.3. FFP	34

1.5.4. Denis.....	36
1.6. Indikation zur operativen Versorgung vs. konservativen Therapie	37
1.7. Die sichere Schraubenplatzierung.....	39
2. Fragestellung.....	41
3. Patienten, Material und Methoden.....	42
3.1. Patientenkollektiv.....	44
3.2. Unfallursache	45
3.3. Frakturmorphologie	46
3.4. Implantate.....	50
3.5. OP-Technik	51
3.5.1. Bildwandlergestützte perkutane sakroiliakale-Verschraubung.....	51
3.5.2. Offene Reposition und sakroiliakale Verschraubung	52
3.6. Postoperative Verhaltensempfehlungen.....	54
3.7. Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle	54
4. Ergebnisse	55
4.1. Präklinische und perioperative Daten.....	55
4.2. Begleitverletzungen	56
4.3. Operative Versorgung	57
4.3.1 Exemplarische Darstellung von Frakturen und operativer Versorgung im Patientenkollektiv	59
4.4. Komplikationen.....	63
4.4.1. Allgemeine Komplikationen.....	63

4.4.2. Operationsassoziierte Komplikationen.....	64
4.4.3. Revisionseingriffe aufgrund operationsassoziiierter Komplikationen	65
4.5. Stationäre Aufenthaltsdauer	65
4.6. Postoperatives Follow-up	66
4.7. Materialentfernung.....	68
5. Diskussion	70
6. Zusammenfassung	73
7. Literaturverzeichnis	74
8. Abbildungsverzeichnis.....	80
9. Abkürzungsverzeichnis.....	84
10. Danksagungen.....	85
11. Curriculum vitae	86
Persönlich	86
Beruflicher Werdegang	86
Universitäre Ausbildung	86
Klinische Ausbildung.....	87
Schulische Ausbildung.....	87

1. Einleitung

Mit der Entdeckung der Röntgenstrahlung im Dezember 1895 wurde es möglich, bei Verletzungen Knochenstrukturen betrachten zu können ohne invasiv tätig zu werden [1]. Diese Entdeckung führte nicht nur zu großen Veränderungen in der Strahlenphysik, sondern auch in der medizinischen Versorgung Verletzter und Kranker. Zu diagnostischen Zwecken wurden Röntgenstrahlen bereits im Januar 1896 verwendet. Auch Strahlentherapien wurden entwickelt und im Juni 1896 schon an den ersten Patienten durchgeführt [1].

Vor der Röntgendiagnostik war es nur indirekt möglich Knochenbrüche nachzuweisen. Durch das Röntgenbild konnten nun Frakturen bildmorphologisch sichtbar gemacht, diagnostiziert und klassifiziert werden um Behandlungsstandards zu entwickeln.

Im 20. Jahrhundert wurden zahlreiche Versuche unternommen, die Beckenfrakturen in verschiedenen Klassifikationen einzuteilen. Beispielsweise publizierten Huittinen und Slätis im Jahr 1972 eine Klassifikation der Beckenfrakturen anhand der Verletzungsmechanismen [2]. 1980 veröffentlichten Pennal und Tile die heute gebräuchlichste Klassifikation [3]. Sie berücksichtigt die Wirkungsrichtung der Kräfte, welche bei einem Unfall zur Fraktur des Beckenringes führen [3]. Ebenso klassifizierten Burgess und Young 1990 nach den einwirkenden Kräftevektoren und dem verursachten Verletzungsbild [4].

Mithilfe von Klassifikationen lassen sich Behandlungsempfehlungen und Standards festlegen, die für den Patienten eine zügige Diagnostik und Therapiefindung ermöglichen [5]. Methoden können verglichen werden und somit größtmögliche Qualität in der Behandlung im Hinblick auf das subjektive Empfinden des Patienten und die Effizienz der Behandlung im objektiven Ergebnis (Röntgenkontrolle und vollständige Frakturkonsolidierung mit oder ohne Deformierung) sichergestellt werden.

Seit der Einteilung in Klassifikationen von Beckenfrakturen haben sich die Unfallmechanismen im Rahmen des zunehmenden Verkehrsaufkommens bzw. der generellen Umstrukturierung des Straßen- und Verkehrswesens auffällig verändert [6, 7]. Welchen Einfluss der motorisierte Verkehr hat, wird durch das deutlich höhere Aufkommen von Beckenfrakturen in Industrienationen gegenüber Entwicklungsländern und urbanen Gebieten gegenüber ländlichen Gebieten deutlich.[6, 8, 9]

Weitere Risikofaktoren für Beckenringfrakturen sind auch in einer erhöhten Osteoporoseinzidenz z.B. in den skandinavischen Ländern gegenüber dem Rest Europas zu sehen. Die geringsten Raten an Osteoporose finden sich in Afrika. Hierzu trägt auch die vergleichsweise hohe Sonnenlichtexposition bei [9-11].

Frakturen, welche auf eine erniedrigte Knochenqualität zurückzuführen sind, haben oftmals niedrig energetische Traumata zur Ursache. Hämodynamisch relevante Begleitverletzungen kommen bei Fragilitätsfrakturen in der Regel nicht vor [12].

Etwa 8% der Erwachsenen in Deutschland erleiden einen Unfall pro Jahr der ärztlicher Behandlung zugeführt wird [13]. Zwei Drittel dieser Unfälle betreffen das männliche Geschlecht [13]. Mit 20% zählen Knochenbrüche zu den häufigen Unfallfolgen. Die meisten betreffen Frauen und Männer über 65 Jahre [13, 14]. Beckenfrakturen sind dabei meist die Folge hochenergetischer Traumata. Auch degenerative Prozesse und Malignität spielen eine Rolle. Hierbei kommt es trotz verhältnismäßig niedrig energetischer Traumata zu teils schweren Knochenbrüchen. Etwa 4% aller Knochenbrüche betreffen das Becken [15]. Dabei erleiden etwa 25% aller Patienten mit multiplen Verletzungen ebenfalls Verletzungen im Bereich des Beckens [16]. 20% der unfallbedingten Beckenfrakturen enden mittelbar oder unmittelbar tödlich. Eine traumatische offene Beckenringverletzung wird auch als „The killing fracture“ bezeichnet [17]. Gehäuft treten Begleitverletzungen organischer Strukturen auf [18, 19].

Nicht alle Verletzungen im Beckenbereich sind operativ behandlungsbedürftig. So sind Frakturen, welche nicht die Stabilität des Beckenringes gefährden, häufig konservativ führbar, solange sich kein dramatischer Blutverlust entwickelt [20]. Verliert das knöcherne Becken seine Stabilität, meist durch Unterbrechungen des

knöchernen Gefüges oder der Band- und Knorpelstrukturen im vorderen und hinteren Beckenring, so ist eine operative Versorgung unbedingt anzustreben [21]. Aufgrund der Komplexität einer instabilen Beckenringfraktur ist eine primär definitive osteosynthetische Versorgung der Patienten oftmals nicht möglich. Es wird dann zur Stabilisierung der Fraktur und zur Minimierung des Blutungsrisikos zunächst minimalinvasiv eine Beckenschlinge, Beckenzwinge oder ein Fixateur externe, als sogenannte Damage-control-Prozedur, angebracht sowie die evtl. zusätzlich bestehenden lebensbedrohlichen Traumafolgen versorgt. Im Verlauf wird bei Herz/Kreislauf stabilisiertem Patient die definitive Osteosynthese der Fraktur sekundär durchgeführt [22].

Das Iliosakralgelenk bietet nur wenig Bewegungsfreiheit, dafür aber eine starke Stabilität. Es dient in erster Linie der Kraftübertragung des Rumpfes von der Wirbelsäule über den Beckenring auf die Beine um einen aufrechten Gang sicher zu ermöglichen [23]. Beinahe ausschließlich finden Nutations- und Kontranutationsbewegungen des Os Sacrum gegenüber den beiden Beckenschaufeln statt. Das bedeutet, dass nur leichte Kippbewegungen um eine horizontale Achse möglich sind [23]. Diese Kippbewegung im Beckenbereich führt dazu, dass sich die Ala ossis ilii einander zu neigen und sich die Tuber ischiadica voneinander entfernen [24]. Kommt es zu vermehrter Bewegungsmöglichkeit durch traumatische Zerreißung oder zur Dehnung des straffen Bandapparates am Übergang von Os sacrum zu Os ilium resultieren Schmerzen und Instabilität [4, 25]. Eine solche Verletzung ist meist Folge eines Hochrasanztraumas oder eines Sturzes aus großer Höhe [26-28]. Schwangerschaften stellen durch hormonelle Einflüsse und damit verbundener Lockerungen des Bandapparates im Iliosakralgelenk ebenfalls einen Risikofaktor zur Entwicklung einer Instabilität dar. Eine Studie von Iris Eshed et al. aus dem Jahre 2015 veranschaulicht, dass 46% der Frauen, welche an der Studie teilnahmen, bei MRT-Untersuchungen postpartum ein Knochenmarködem der Iliosacralgelenke, sowie 26% eine subchondrale Sklerose zeigten. Bei 3,8% der Studienteilnehmerinnen entwickelte sich eine Spondylarthropathie mit dauerhaften Beschwerden [29].

Bei Beschwerdepersistenz trotz Ausschöpfen aller konservativen Behandlungsmethoden mit Einschränkung der Lebensqualität oder bei absoluter Instabilität ist die Indikation zur operativen Therapie gegeben. Eine operative

Möglichkeit stellt die Stabilisierung des Gelenkes mittels Schraubenosteosynthese dar.

1.1. Anatomie des Beckens

Frei nach Prometheus Lernatlas der Anatomie [30] im Folgenden:

Die zentrale Verbindung zwischen Rumpf und unterer Extremität ist das Becken. Es verbindet knöchern die Wirbelsäule mit den Oberschenkelknochen. Es dient als Ansatzpunkt von Muskeln und Bändern. Die Organe des Beckens liegen gut geschützt zwischen den knöchernen Darmbeinschaufeln.

Anatomisch sind die einzelnen Knochen des Beckens so straff durch Bänder miteinander verbunden, dass ein in sich stabiler Ring resultiert.

1.1.1 Knöcherne Anteile

Die beiden knöchernen Ossa coxae setzen sich jeweils aus drei Knochenteilen zusammen: dem Os ilium, dem Os ischii und dem Os pubis (siehe Abbildung 1) [31].

Dorsal liegt zwischen den beiden Ossa ilii das Os sacrum. Das Os sacrum ist entwicklungsgeschichtlich durch Verschmelzung der kaudalen Wirbelkörper entstanden. Durch die Verschmelzung der Wirbelkörper und Wirbelbögen ist das Os sacrum mit breiten Gelenkflächen an den Iliosakralgelenken beteiligt.

Seitlich an den Verbindungsstellen der drei Anteile der Ossa coxae liegt das Acetabulum, die Pfanne des Hüftgelenks. Im kindlichen Becken befindet sich im Zentrum des Acetabulums die sogenannte Y-Fuge. Sie ist eine knorpelige Wachstumsfuge, die bis zum 14. Lebensjahr verknöchert und die drei Anteile zum Os coxae knöchern verbindet. Das knöcherne Becken wird in sich über straffe Bandverbindungen zusammengehalten.

By eight centers { Three primary (Ilium, Ischium, and Pubis)
 { Five secondary

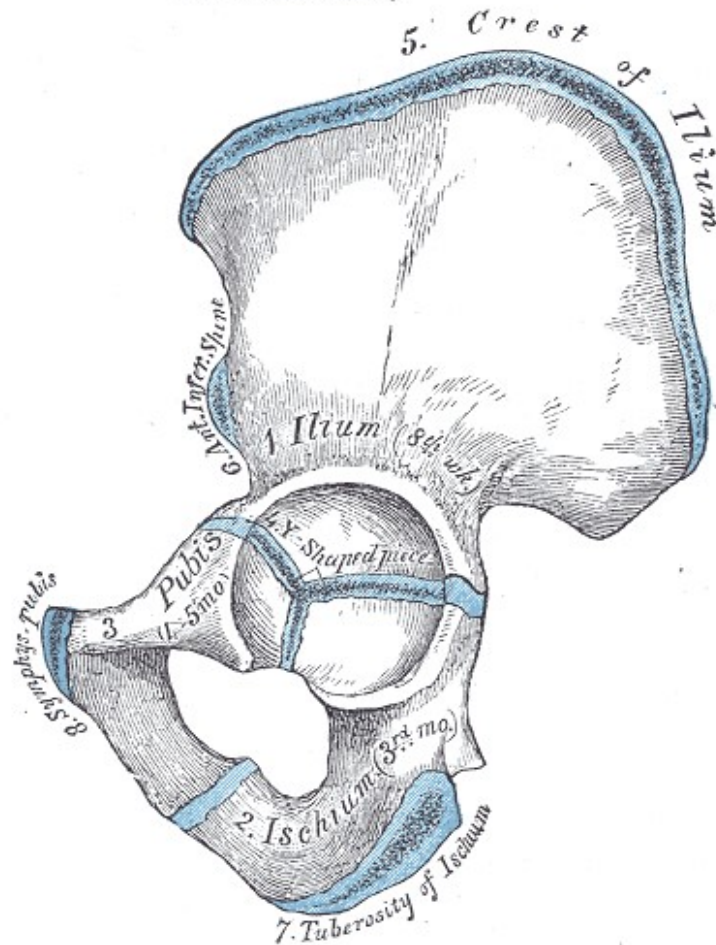


Abbildung 1 Die knöchernen Anteile des Beckens [32]

1.1.2 Verbindungen zwischen den knöchernen Anteilen

Die Symphyse, oder genauer Symphysis pubica, verbindet die beiden Schambeinäste im ventralen Anteil des knöchernen Beckens. Sie ist eine Verbindung von zwei Knochen durch Faserknorpel (Discus interpubicus) und gehört zu den Synchronosen. Stabilisiert wird die Symphyse durch verschiedene Bänder; kranial durch das Ligamentum pubicum superius. Der Discus interpubicus ist fest mit dem Ligamentum pubicum superius verwachsen. Die Unterseite der Symphyse wird durch das Ligamentum arcuatum pubis gestützt. Ventral gibt es mehrere unterstützende ligamentäre Züge. Insgesamt schützt der Bandapparat das Becken vor Scherkräften, die während des Gehens und der abwechselnden Belastung von rechtem und linkem Bein auftreten. Die Symphyse ist wegen ihrer knorpeligen Verbindung, welche fest

mit beiden Ossa pubica verbunden ist, den *Junctura cartilaginea* der Synchondrosen zuzuordnen [33].

Die Iliosakralgelenke bezeichnet man wegen ihrer straffen Bandstabilisierung und dem daraus resultierenden geringen Bewegungsumfang als Amphiarthrosen (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3). Von vorn stabilisieren die *Ligamenta sacroiliaca anteriora* das Os sacrum zwischen den beiden Ossa ilii, von hinten entsprechend die *Ligamenta sacroiliaca posteriora*. Zwischen den Gelenkflächen sorgen die *Ligamenta sacroiliaca interossea* für noch mehr Stabilität gegen Scherkräfte [34]. Das *Ligamentum sacrotuberale* verbindet das Kreuzbein mit dem *Tuber ischiadicum* und das *Ligamentum sacrospinale* zieht vom Kreuzbein zur *Spina ischiadica*. Diese Bänder stabilisieren die Ringstruktur des knöchernen Beckens in sich. Die *Crista iliaca* wird durch das *Ligamentum iliolumbale* mit dem *Processus transversus* des 5. Lendenwirbelkörpers verspannt [30].

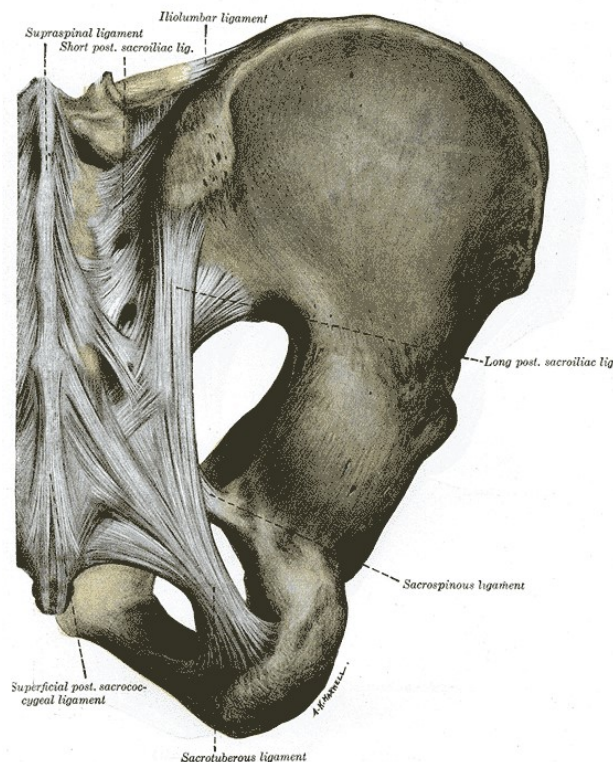


Abbildung 2 Der dorsale Bandapparat des Beckens [32]

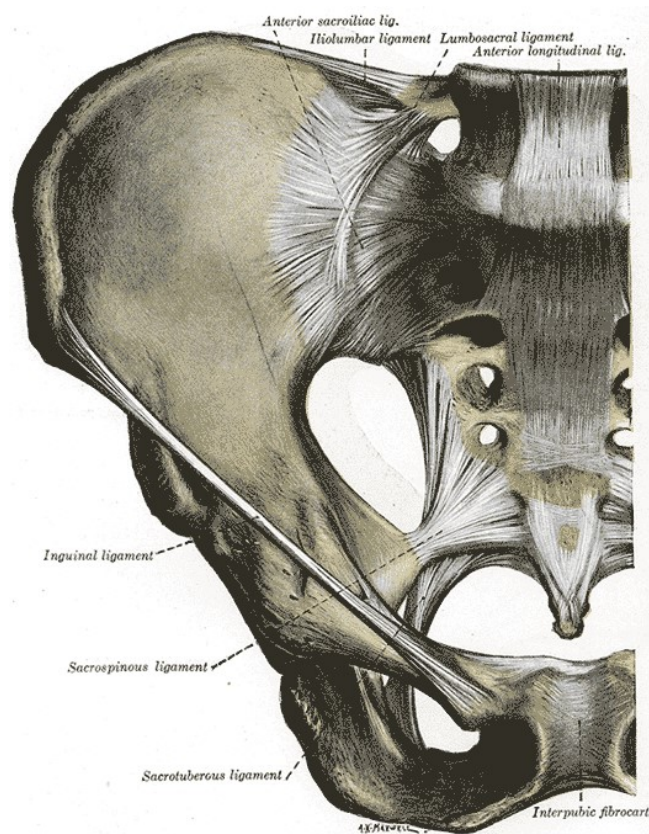


Abbildung 3 Der ventrale Bandapparat des Beckens [32]

1.1.3 Muskelgruppen

1.1.3.1 Äußere Beckenmuskulatur

Funktionell lassen sich am äußeren Becken fünf Muskelgruppen unterscheiden:

Außenrotatoren: Diese Muskelgruppe hat ihren Ursprung am Os sacrum und setzt am Trochanter major und an der Fossa trochanterica an.

Adduktoren: Dreigeschichtet entspringen diese Muskeln allesamt kreisförmig um das Foramen Obturatum herum. Sie setzen an der Linea aspera des Femurs an (siehe Abbildung 4).

Flexoren des Hüftgelenks: unter anderem flektieren diese Muskeln alle das Hüftgelenk. Sie entspringen mitunter vom Becken und Ziehen in verschiedenen Sehnentractus zur Tibia. Nur der Musculus ilio-*psoas* setzt am Trochanter minor des

proximalen Femurs an. Die übrigen Muskeln dieser Gruppe sind somit zusätzlich als Extensoren im Kniegelenk tätig.

Gluteale Muskulatur: Diese drei Muskeln haben ihre Ursprünge am Sacrum und den beiden Darmbeinschaufeln und verlaufen aufgefächert bis zum proximalen Femuranteil. Der Musculus gluteus maximus fungiert als Extensor im Hüftgelenk, die beiden anderen, Musculi gluteus minimus et medius, wirken als Abduktoren des Oberschenkels.

Ischiocrurale Muskulatur: Der gemeinsame Ursprung dieser Muskeln liegt am Tuber ischiadicum. Sie bewirken vornehmlich eine Streckung im Hüftgelenk.

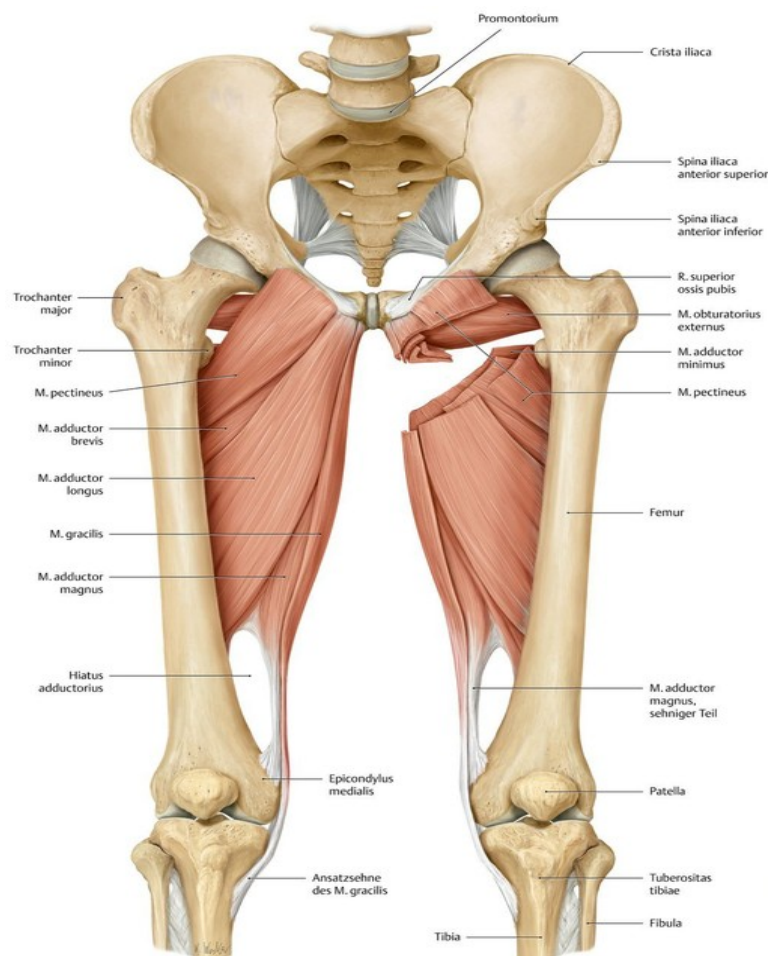


Abbildung 4 Hüft- und Oberschenkelmuskulatur: Adduktorengruppe Ansicht von vorne [35]

1.1.3.2 Innere Beckenmuskulatur

Im Inneren des knöchernen Beckenringes liegt der Beckenboden (siehe Abbildung 5), eine mehrschichtige Platte aus Muskulatur und Bindegewebe. Er dient quasi als Boden der Abdominalhöhle und damit als Halterung der inneren Organe sowie als Sphinkter für Anus und Urethra. Die lateralen Anteile des Musculus ischiocavernosus umgeben beim Mann die Schwellkörper des Penis und bei der Frau die der Klitoris.

Von Innen nach Außen kann man den Beckenboden in drei Etagen einteilen:

1. Das Diaphragma pelvis. Es wird von zwei Faszien, jeweils einer Oberen und einer Unteren eingefasst: Fascia diaphragmatis pelvis superior et inferior.

Die Hauptaufgaben sind die Erschlaffung zur Defäkation und somit die Kontinenzhaltung ebenso wie eine Haltefunktion der kranial gelegenen Organe.

2. Das „Diaphragma urogenitale“. Der Musculus transversus perinei profundus bildet eine Muskelplatte, welche die vordere Hälfte des Eingangs in das kleine Becken mit quer verlaufenden Faserzügen über dem Hiatus levatorius bis vor den Hiatus analis verschließt. Dorsal liegt der Musculus transversus perinei superficialis schmal dieser Muskelplatte auf.

Das Centrum perinei besteht aus Bindegewebe. Es dient am dorso-medialen Rand gelegen als Insertionspunkt für andere Muskeln des Beckenbodens. Das Centrum perinei ist die muskuläre Schwachstelle des Beckenbodens.

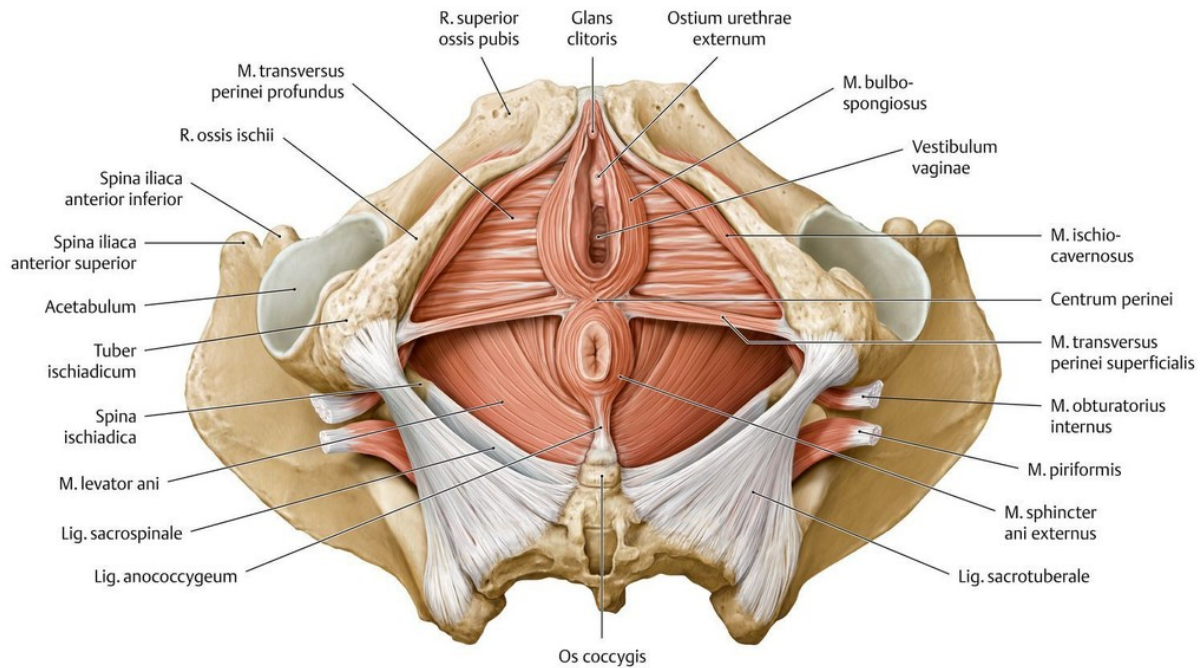


Abbildung 5 Beckenbodenmuskulatur von kaudal (weiblich) [30]

3. Schwellkörpermuskulatur und Sphinkteren bilden die superficiale Schicht. Sowohl beim Mann als auch bei der Frau dient der Musculus sphinkter ani externus der Stuhlkontinenz. Im Weiblichen Beckenboden wird ebenfalls der Scheideneingang umfasst. Der Musculus bulbospongiosus zieht dem Musculus sphinkter ani externus ähnlich ebenfalls in einer Achterfigur um Scheideneingang und Anus und dient gleichwohl der Kontinenz und Stabilisierung des Centrum perinei. Beim Mann ist diese Stabilisierung die einzige Funktion (siehe Abbildung 6).

Klitorisschwellkörper bei der Frau und Penisschwellkörper beim Mann werden vom Musculus ischiocavernosus umgeben. Er liegt lateral den Schambeinen von Kaudal an und kann deshalb leicht von Verletzungen betroffen sein.

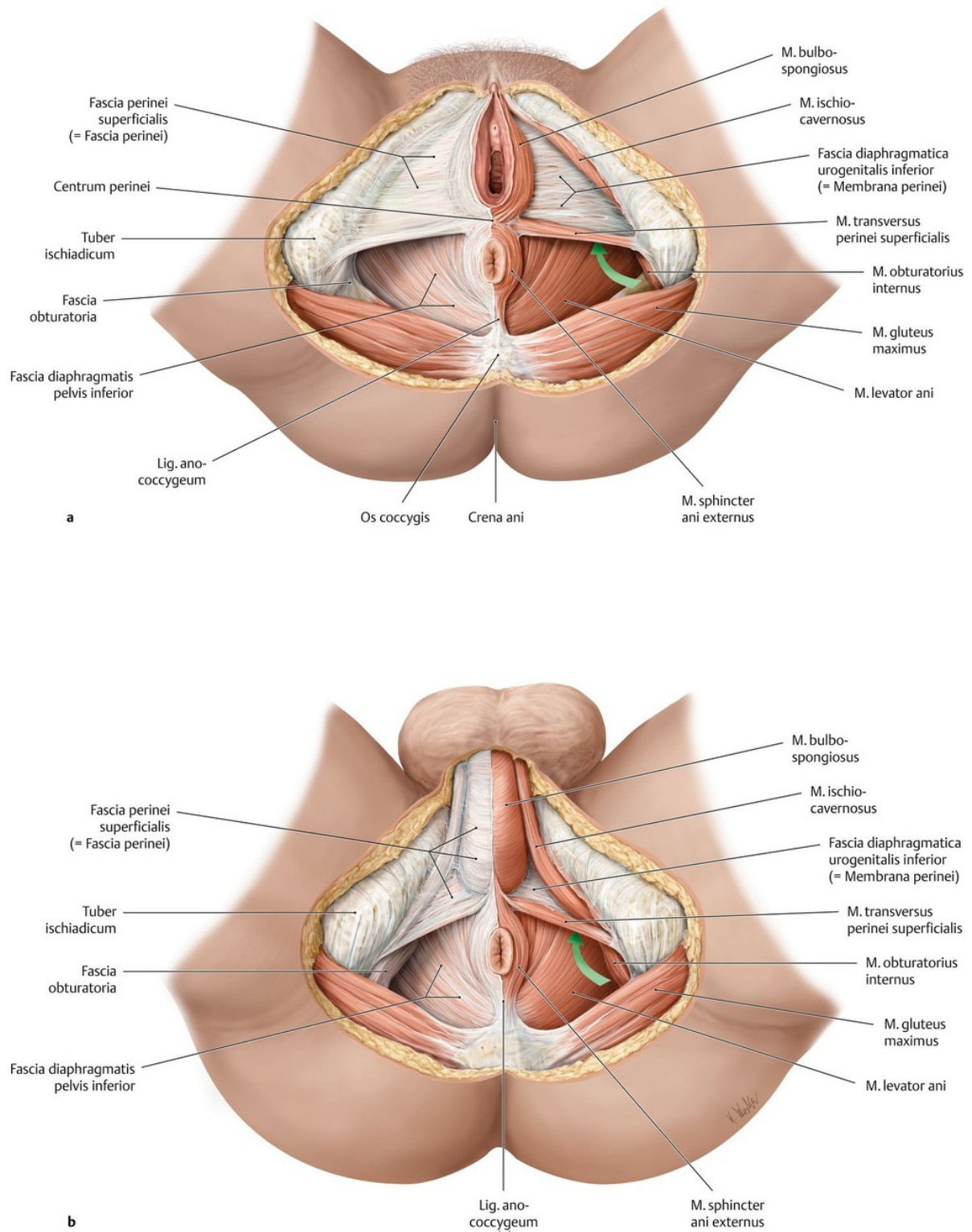


Abbildung 6 Unterschiede des weiblichen (a) und männlichen (b) Beckenbodens [30]

1.1.4 Gefäß- und Nervenbahnen

Nachdem die beiden Arteriae iliacae communes aus der Aorta abgezweigt sind, setzt sich diese als Arteria sacralis mediana fort. Jede Arteria iliaca communis zweigt sich nach ca. 3-4 cm in die Arteria iliaca externa, zur Versorgung des Beines, und in die Arteria iliaca interna, zur Versorgung des Beckens, auf. Diese Gabelung liegt ventral der Iliosacralgelenke. Das venöse System verläuft parallel zu den Arterien (siehe Abbildung 7).

Die Arteria iliaca interna liegt der Linea terminalis des Os sacrum an und ist bei Frakturen des Os sacrum oft mitverletzt. Sie versorgt nicht nur den Bewegungsapparat des Beckens, sondern sie zweigt sich auch in viszerale Äste auf. Die Arteria iliolumbalis versorgt die Beckenwand hinter dem Musculus psoas major in Richtung Fossa iliaca; das Os sacrum und der Musculus piriformis werden von den nach dorso-kaudal ziehenden Arteriae sacrales laterales versorgt. Die Arteria pudenda interna zieht durch das Foramen infrapiriforme aus dem Becken und folgt dem Nervus pudendus durch den Alcock-Kanal zur Versorgung der äußeren Geschlechtsorgane und des Beckenbodens.

Untereinander bilden die beiden Arteriae iliacae communes Anastomosen zur Versorgung des Bewegungsapparates aus. Die Arteria obturatoria zieht durch den Canalis obturatorius und umkreist mit ihren Ästen das Foramen obturatum; Die Arteriae glutealis superior et inferior ziehen zu den Foramina supra- et infrapiriforme. Der venöse Abfluss erfolgt über die den Arterien folgenden gleichnamigen Venen.

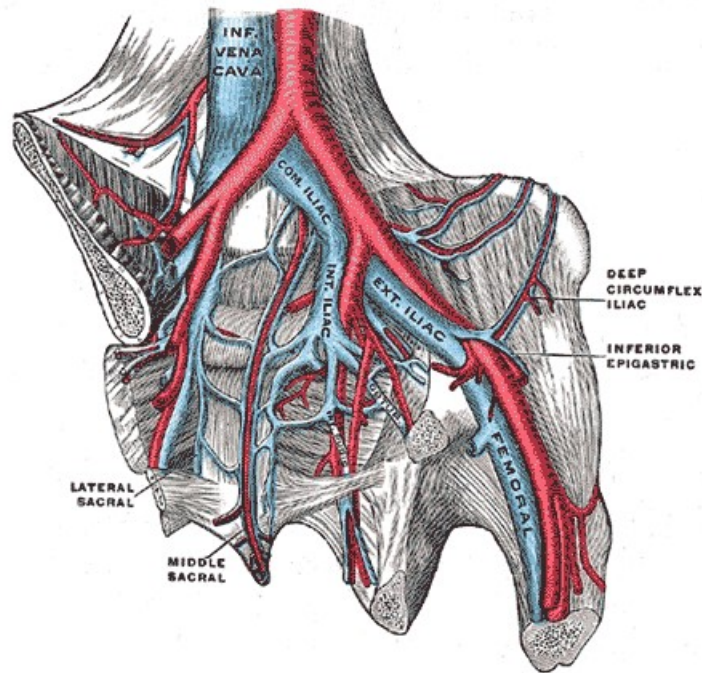


Abbildung 7 Gefäßversorgung der inneren Beckenorgane [32]

Beim Erwachsenen endet der Conus medullaris des Rückenmarks etwa auf Höhe des zweiten Lendenwirbelkörpers. Von dort an ziehen die Nervenfasern als Cauda equina zu ihren Austrittspunkten als Spinalnerven an den Lendenwirbelkörpern. Die Cauda equina ist vom Duralsack ummantelt und durch die Dura mater und den Liquor cerebrospinalis geschützt. Auf Höhe der Austrittspunkte der Nervenwurzeln S2 und S3 endet der Duralsack und die Nerven des Plexus sacralis und coccygeus liegen, durch Fettgewebe geschützt, bis zu Ihren Austrittspunkten im Wirbelkanal. Die sensible Versorgung der Haut an der Hüfte und der Glutealregion erfolgt über Fasern der Rami dorsales der Nervenwurzeln L1-L3 als Nervi clunium superiores und der Nervenwurzeln S1-S3 als Nervi clunium medii medialwärts. Die Nervi anococcyges (S5/Co1) versorgen nur eine kleine Region zwischen Steißbein und Anus sensibel. Ventral davon versorgt der Nervus pudendus aus dem Plexus sacralis (S2-S4) die Dammregion und das Skrotum beim Mann sowie die Labia majores der Frau. Die untere Gesäßregion wird durch die Nervi clunium inferiores sensibel innerviert. Der Nervus cutaneus femoris posterior (S1-S3) versorgt den medio-dorsalen Oberschenkel. Die Vorderseite wird sowohl vom Nervus ilioinguinalis (L1)

als auch vom Ramus genitalis des Nervus genitofemoralis innerviert. Aufgrund seiner anatomischen Nähe sind alle Teile des Plexus lumbosacralis (siehe Abbildung 8) besonders bei Beckenfrakturen und insbesondere bei Frakturen des Os sacrum verletzungsgefährdet. Dabei kommt es nicht nur zu motorischen Ausfällen (Nervenwurzeln L4-S1), sondern es können auch Ausfälle der Sensibilität oder der willkürlichen Blasen- und Mastdarmtölerung resultieren (Nervenäste der Wurzeln S3-S5) [36].

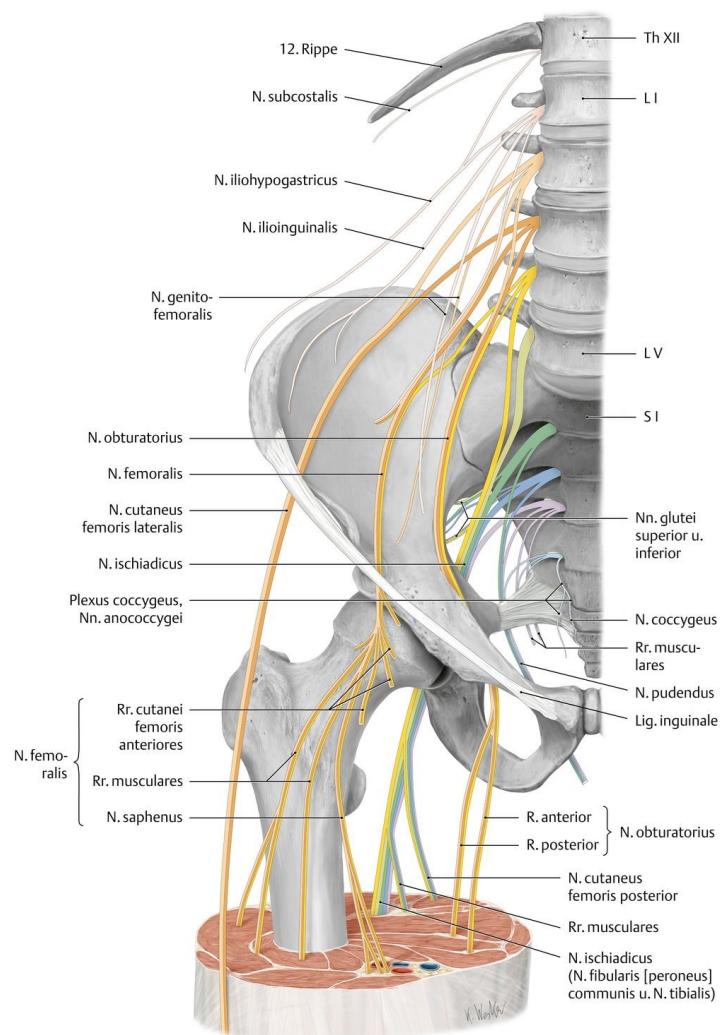


Abbildung 8 Plexus lumbosacralis [30]

1.1.5 Organstrukturen des kleinen Beckens

In enger anatomischer Beziehung zum knöchernen Anteil des Beckens stehen sowohl ableitende Harnwege als auch Geschlechtsorgane (Urogenitalorgane).

Sowohl im weiblichen als auch im männlichen Becken liegt die Harnblase der Symphyse und den Rami ossis pubis direkt an. Knöcherne Verletzungen in diesem Bereich sind besondere Risikofaktoren für Verletzungen der Harnblase und der ableitenden Harnwege. So weisen etwa 10% der Patienten mit Beckenringfrakturen Verletzungen des Urogenitaltraktes auf [37-40].

Frakturen des Os sacrum führen aufgrund der strukturellen Nähe eher zu Nervenläsionen des Plexus lumbosacralis und somit zu Dysfunktionen der Sphinkterfunktionen des Enddarms als auch dem Urogenitaltrakt. Der Darm wird bei etwa 2% der Patienten mitverletzt [37, 39-41].

1.1.5.1 Im weiblichen Becken

Die weiblichen Geschlechtsorgane, wie Gebärmutter sowie die Eierstöcke liegen gut geschützt im kleinen Becken an breiten Bändern aufgehängt (siehe Abbildung 9).

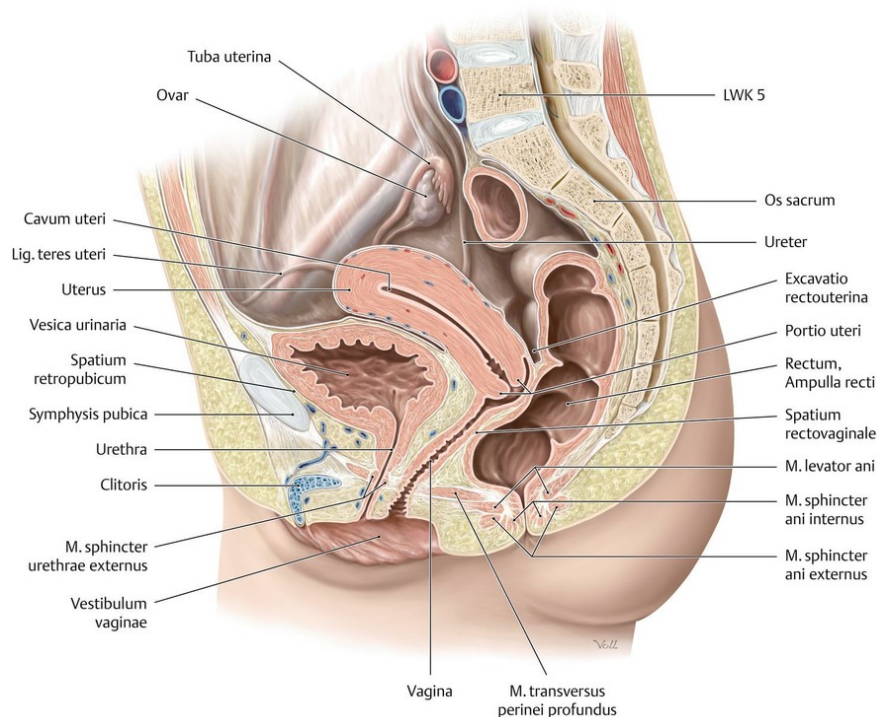


Abbildung 9 Situs im weiblichen Becken[30]

1.1.5.2 Im männlichen Becken

Die teilweise nach außen reichenden männlichen Geschlechtsteile wie Penis mit Schwellkörpern und das Scrotum sind nahe der Symphyse gelegen, sodass sie bei Verletzungen im vorderen Beckenring auch verletzungsgefährdet sind (siehe Abbildung 10).

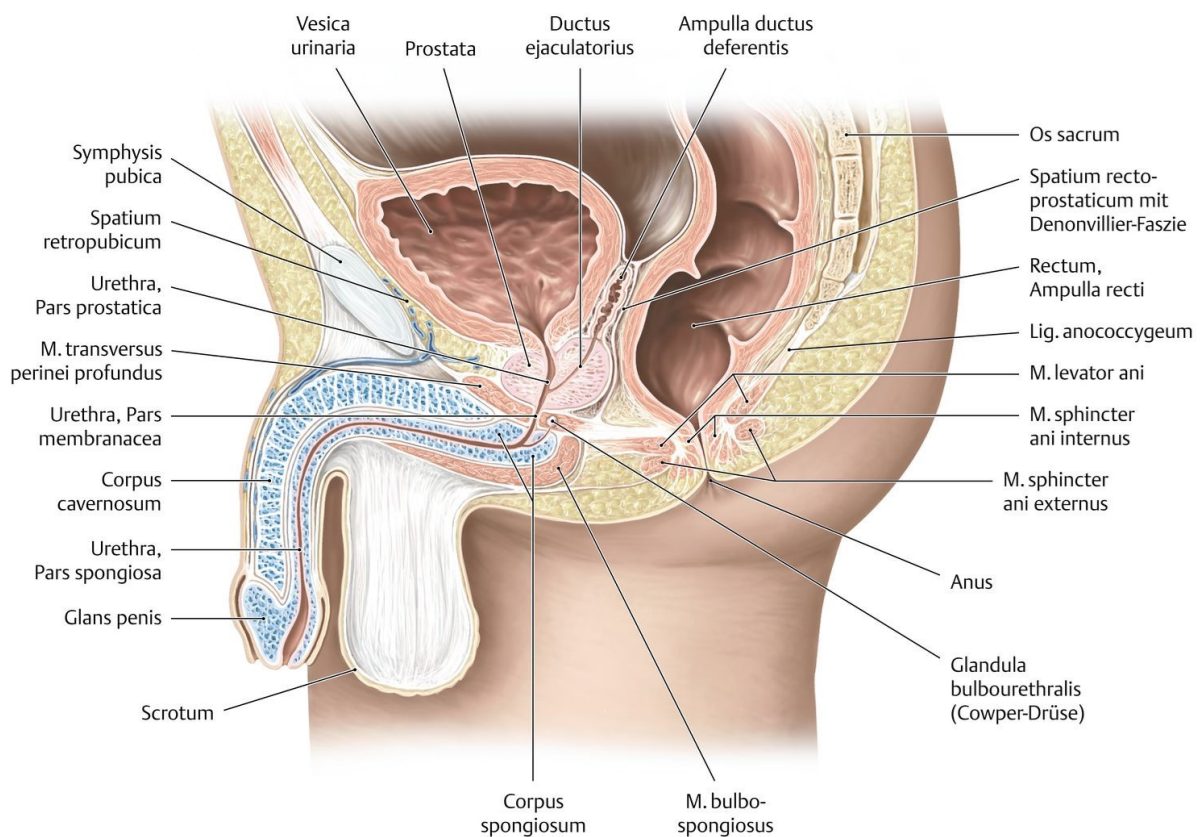


Abbildung 10 Situs im männlichen Becken [30]

1.2. Mechanische Grundlagen und Verletzungsmechanik des Beckenrings

1.2.1. Grundlagen der physiologischen Kräfteverteilung

Die Kraftübertragung beim aufrechten Gang erfolgt von der Wirbelsäule auf das Kreuzbein als Druck von kranial (siehe Abbildung 11). Dieser Druck auf S1 führt zu einem Drehmoment, da das Kreuzbein nicht parallel zur einwirkenden Gewichtskraft des Körpers ausgerichtet, sondern kranial um etwa 40-45° nach ventral geneigt ist.

Die Ligamenta sacrospinalia et sacrotuberalia wirken diesem Drehmoment entgegen (siehe Abbildung 12) Das Promontorium sinkt also bei Belastung von oben nicht nach unten ab [34].

Die Bandverbindungen in den Iliosakralgelenken erlauben nur geringe Beweglichkeit, dienen jedoch gleichzeitig als Stoßdämpfer beim aufrechten Gang. Damit wird den wechselnden Belastungen aus Zug- und Scherkräften sowie der Druckbelastung Rechnung getragen. Die Kraftverteilung im hinteren knöchernen Becken ist geprägt von Zugkräften über den straffen Bandapparat auf die Darmbeinschaufeln. Dabei nähern sich die Sitzbeinhöcker beim Stand auf zwei Beinen einander an, sodass das Kreuzbein zentriert eingekeilt wird. Wird nur ein Bein belastet, wird die untere Kante im sakroiliakalen Gelenk des betroffenen Beines mehrbelastet [34, 42].

Die Hauptkraftübertragung findet im hinteren Beckenring statt. Somit spielt er die Hauptrolle in der Beurteilung der Stabilität. Die Symphyse im vorderen Beckenring ist jedoch ebenso wechselnden Kraftvektoren ausgesetzt. Werden beide Beine gleichmäßig belastet, ziehen die Ossa pubis die Symphyse auseinander während sie beim Stand auf einem Bein eher zusammengedrückt wird. Der Wechsel des Gewichtes beim Gehen von einem auf das andere Bein setzt Scherkräfte in sagittaler Richtung frei [24, 34, 42].

Über die Ligamenta sacroiliaca dorsalia et iliolumbalia wird das Körpergewicht vom Os sacrum auf die Ossa ilium übertragen und in die Acetabula weitergeleitet. Dort findet die Kraftübertragung in die untere Extremität statt [24, 34, 42].

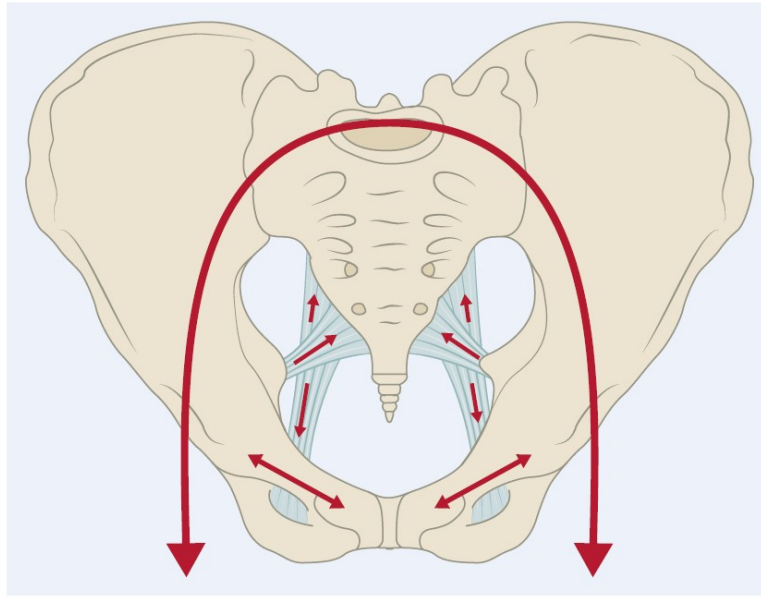


Abbildung 11 Kraffteinwirkung der Wirbelsäule über die Iliosakralgelenke beidseits auf die Acetabuli, ligamentäre Zuggurtung intrapelvin [34]

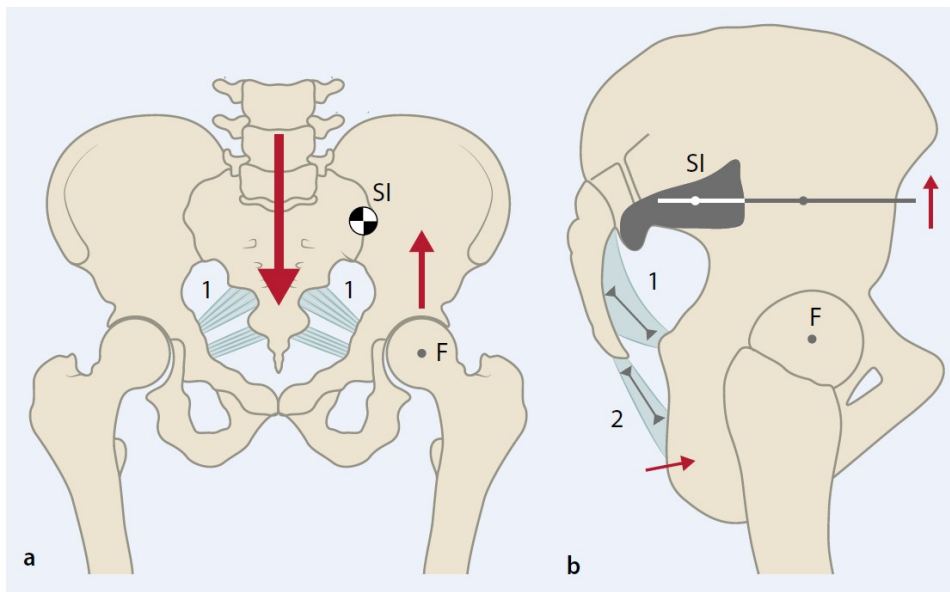


Abbildung 12 Darstellung der Rotationskräfte des Beckens: a) A.-p.-Ansicht: Drehachse sagittal im Bereich der Iliosakralgelenke (SI) medial vom Mittelpunkt des Femurkopfes (F), ausgeglichene Situation bei intakten Beckenbodenbändern (1). b) Seitliche Ansicht: transversale Drehachse im Bereich der Iliosakralgelenke (SI) dorsal vom Mittelpunkt des Femurkopfes (F), ausgeglichene Situation bei intakten Ligg. sacrospinale (1) und sacrotuberale (2) [34]

1.2.2. Verletzungsmechanik

Verletzungen im Bereich des Beckens entstehen entweder durch großflächig/generalisiert angreifende oder durch sehr lokal begrenzt angreifende Kräfte [2, 6, 43-45]. Die Verletzungsmuster unterscheiden sich dann durch die verursachte Instabilität. Es können vor allem anhand der knöchernen Verletzung Rückschlüsse auf den Unfallmechanismus erfolgen. (siehe auch Kapitel Klassifikationen).

Die Aufzählung erfolgt in zunehmender Instabilitätsreihenfolge.

1.2.2.1. *Lokal begrenzt angreifende Kräfte/ Unfallimpact*

Die hierdurch entstehenden Verletzungen sind in aller Regel als stabile Frakturen zu werten. Häufig entstehen isolierte Schambeinast- oder Beckenschaufelfrakturen.

1.2.2.2. *Flächig/generalisiert angreifende Kräfte*

a.p.-Kompression (AO-Klassifikation Typ B1)

Der Unfall setzt Kräfte von der Symphyse in Richtung Os sacrum ziehend, oder umgekehrt, frei. Die Symphyse weitet sich und eine oder beide Beckenschaufeln rotieren nach außen [37]. Es entsteht eine Sprengung der Symphyse oder Fraktur des Ramus superior und des Ramus inferior des Os pubis. Ab einer Symphysenweite von 25 mm in der a.p.-Röntgenaufnahme des Beckens unter Belastung ist eine partielle Schädigung der dorsalen Bandstrukturen, welche die Iliosakralgelenke umgreifen, wahrscheinlich. Vertikal bleiben diese Verletzungen stabil, sind jedoch horizontal instabil [46]. Bei der „Open-book-Verletzung“ können vor allem Begleitverletzungen des Urogenitaltrakts (Uretra, Harnblase) sowie Blutungen aus dem prävesikalen Venenplexus auftreten [40]

Laterale Kompression (AO-Klassifikation Typ B 2)

Wirkt die Kraft des Unfalls von der Seite auf das Becken ein, wie es z.B. bei einem Sturz auf eine Körperseite der Fall ist, so dreht sich die betroffene Beckenhälfte im ventralen Beckenring vor der kontralaterale Seite nach innen ein [37]. Seltener rotiert die kontralaterale Beckenhälfte nach außen. Im dorsalen Beckenring werden die ventralen Gelenkflächen des betroffenen Sakroiliakgelenkes einander angenähert. Hierbei kann es zur Impression kommen, da der dorsale Bandapparat das Gelenk

straff zusammenhält und nicht rupturiert. Wie die Verletzungen nach anterior/posterior Belastung weisen die Verletzungen nach lateraler Kompression eine horizontale Instabilität ohne Beeinträchtigung der vertikalen Stabilität auf [47].

Mit steigender Krafteinwirkung steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Gegenseite ebenfalls geschädigt ist, so kann die kontralaterale Beckenhälfte außenrotiert werden. Es entstehen hier ähnliche Verletzungsmuster einer a.p.-Kompressions-Verletzung [47].

Vertikale Abscherverletzung (vertical shear; AO-Klassifikation TYP C)

Wirkt die Kraft von distal auf eine Beckenhälfte ein, führt dies zu horizontaler und vertikaler/ translatorischer Instabilität durch Abscheren der betroffenen Beckenhälfte nach kranial [37]. Dabei rupturiert der Bandapparat des Iliosakralgelenks bzw. es entstehen Frakturen um das betroffene Gelenk. Die Processus transversi der unteren Lendenwirbelsäule werden häufig mitverletzt [18].

1.3. Epidemiologie der Beckenfrakturen

Die Inzidenz von Beckenfrakturen wird in der Literatur mit 3 - 8% aller auftretenden Frakturen angegeben [15, 48, 49] Dem gegenüber steht eine hohe Letalität dieser Frakturen von 5 - 33% [20, 50-53].

Etwa die Hälfte der Frakturen sind als stabile Frakturen ohne Indikation zur operativen Versorgung anzusehen. Meist handelt es sich dabei um nicht vollständige Unterbrechungen des stabilen Beckenringes. Die andere Hälfte bedarf der operativen Versorgung. Bei etwa 20% der Patienten mit Beckenfrakturen liegt eine Polytraumatisierung vor [54-56].

In der Literatur werden zwei Altersgipfel bei den Verteilungen der Beckenfrakturen im Allgemeinen beobachtet. Der erste im dritten Lebensjahrzehnt als Ursache von Unfällen mit hoher Energieeinwirkung. Hier wird beobachtet, dass Männer häufiger von Frakturen im Bereich des Beckens betroffen sind als Frauen. Das Verhältnis beträgt 2/3 Männern zu 1/3 Frauen [28]. Der zweite Altersgipfel liegt im Seniorenalter zwischen dem achtzigsten und neunzigsten Lebensjahrzehnt. Es werden vermehrt

Stürze aus dem Stand und Frakturen ohne erinnerliches Trauma bei osteoporotischer Knochensubstanz beobachtet [57]. Hierbei wird die Geschlechterverteilung mit 1/5 Männern zu 4/5 Frauen angegeben [10].

1.4. Diagnostik

Schon die präklinische Behandlung eines Patienten mit Verdacht auf Beckenringfraktur ist von äußerster Wichtigkeit um eine effiziente und qualitativ hochwertige Behandlung zu gewährleisten. Nach Transport in die Klinik erfolgt zunächst die klinische Untersuchung des Patienten. Bei Verdacht auf Polytraumatisierung erfolgt die Einlieferung über den Schockraum. Komplettiert wird die Diagnostik durch bildgebende Verfahren. Die gesammelten Befunde werden dann zur Wahl des Therapieregimes und ggfs. zur Indikationsstellung der operativen Versorgung herangezogen [58-60].

1.4.1. Präklinische Maßnahmen

Ein Notarzt, welcher bei einem Unfallverletzten eintrifft, muss sich schnell einen Überblick über die möglichen Verletzungen verschaffen und hat dazu vorrangig die Klinik des Patienten, sowie den teilweise nicht valide berichteten Unfallmechanismus mit dazugehöriger vermuteter Energiewirkung als diagnostische Mittel zur Verfügung. Zunächst erfolgt, wenn möglich, eine kurze Anamneseerhebung zum Unfallhergang. Es schließt sich eine kurze orientierende Ganzkörperuntersuchung, sog. „Body-Check“, von Kopf bis Fuß an. Hierbei muss das Becken unbedingt mitberücksichtigt werden. Diese Untersuchung besteht aus der Inspektion des Integuments auf Prellmarken und Wunden sowie patientenspezifische Besonderheiten. Ein Pulsstatus wird erhoben und auch ein neurologischer Status wenn möglich [43]. Rektum und ggf. Vagina sollten auf Verletzungen hin inspiziert und ausgetastet werden. Die Ausführliche Stabilitätsprüfung des Beckens ist bei nur etwa 26,5% bis 44% Spezifität und der Gefahr einer weiteren Patientenschädigung besonders abzuwägen [61, 62].

Besteht der Verdacht auf eine instabile Beckenverletzung, resultiert ein hohes Risiko für organische Begleitverletzungen im Becken und Abdomen. Es besteht ein hohes Risiko für enormen Blutverlust. Es können bis zu 5 Liter Blut aus den Gefäßen in den Beckenraum verloren werden. 39% der letalen Beckenverletzungen sind auf ein Verbluten zurückzuführen [16, 17, 52]

Bei fraglicher Instabilität ist diese, bis zum Beweis des Gegenteiles, als eine solche zu behandeln.

Zur Stabilisierung sollte zusätzlich zur Vakuummatratze ein Beckengurt oder auch behelfsmäßig eine Kompression mit Tüchern und Binden angelegt werden. Wichtig ist die korrekte Positionierung des Beckengurts über den Trochanter majoris femoris mit Endrotation der unteren Extremität um eine Kompression im Becken zu bewerkstelligen und keine weiteren Dislokationen durch Scherkräfte auszulösen [63].

Eine ausreichende Volumentherapie ist durch geeignete großlumige Zugänge zu gewährleisten.

Beckenringverletzungen sind häufig Bestandteil des Verletzungsmusters polytraumatisierter Patienten [37, 44]. Begleitende Verletzungen, wie z.B. ein Wirbelsäulentrauma, müssen mitberücksichtigt und geeignete Immobilisationsmaßnahmen vorgenommen werden.

Die Maßnahmen am Unfallort sollten sich jedoch auch auf ein Mindestmaß beschränken, damit der Patient schnell in die nächstgelegene geeignete Klinik transportiert werden kann. Beim Transport gilt es den Zeitfaktor zu berücksichtigen. Unter Umständen kann nicht nur Boden gebunden, sondern auch mit dem Rettungshubschrauber, transportiert werden [64].

1.4.2. Klinische Diagnostik

Die klinische Diagnostik besteht klassischer Weise aus der Inspektion, der Funktionsuntersuchung sowie bildgebenden Maßnahmen [63]. Die klinische Vorstellung von Patienten mit Verdacht auf Beckenverletzung aufgrund traumatischer Ursache erfolgt meist durch den Rettungsdienst. Erfüllen Unfallhergang und

Verletzungsmuster sogenannte Schockraumkriterien erfolgt die Einlieferung über den Schockraum [63].

Die Kriterien der S3-Leitlinie des Traumanetzwerk-DGU (Stand 07/2016) werden nachfolgend aufgezählt.

Verletzungsbezogen:

- systolischer Blutdruck unter 90mmHg (altersadaptiert bei Kindern) nach Trauma
- Vorliegen von penetrierenden Verletzungen der Rumpf-Hals-Region
- Vorliegen von Schussverletzungen der Rumpf-Hals-Region
- GCS unter 9 nach Trauma
- Atemstörungen/Intubationspflicht nach Trauma
- Frakturen von mehr als 2 proximalen Knochen
- instabiler Thorax
- Beckenfrakturen
- Amputationsverletzung proximal der Hände/Füße
- Querschnittsverletzung
- offene Schädelverletzungen
- Verbrennungen >20% und Grad $\geq 2b$

Unfallbezogen:

- Sturz aus über 3 Metern Höhe
- Verkehrsunfall (VU) mit
- Frontalaufprall mit Intrusion von mehr als 50–75cm
- einer Geschwindigkeitsveränderung von Delta > 30km/h
- Fußgänger- /Zweiradkollision
- Tod eines Insassen
- Ejektion eines Insassen

Sollte eine Einlieferung über den Schockraum erfolgen wird ein hochstandardisiertes Verfahren bei dem die Funktionsprüfung sowie die körperliche Untersuchung auf ein Minimum beschränkt werden und rasch eine Spiral-CT-Bildgebung (siehe auch Kapitel 6.3.2) angestrebt wird.

Nach Niedrigenergietrauma erfolgt die Vorstellung oft wegen schmerzbedingter Immobilisation. Oftmals ist ein akutes Trauma nicht erinnerlich oder die Schmerzen bestehen schon seit längerem [12, 65].

1.4.2.1. *Inspektion*

Zunächst sollte man sich anhand folgender Fragestellungen einen raschen Überblick verschaffen:

- Sind Prellmarken vorhanden?
- Sind grobe Deformitäten oder Asymmetrien im Bereich des Beckens sichtbar?
- Hat der Patient eventuell sogar offene Verletzungen?

Blutantragungen über dem Anus oder dem Genitale können Hinweise auf Organverletzungen geben. Wichtig ist auch die Rückseite über Kreuz- und Steißbein zu betrachten. Falls es einen Verdacht auf multiple Verletzungen gibt, geschieht dies im Rahmen der Lockroll zur Inspektion der gesamten Patientenrückseite.

1.4.2.2. *Funktionsuntersuchung*

Bei schwerstverletzten Personen, welche eventuell sogar ohne Bewusstsein in die Klinik eingeliefert werden, ist eine Funktionsprüfung nicht vollständig durchführbar und sogar kontraindiziert [62, 63]. Bei wachem, stabilem Patienten kann palpatorisch das Punktum maximum des Schmerzes, oder die Schmerzhaftigkeit bei Bewegungen der Hüftgelenke einen Hinweis auf vorliegende Verletzungen geben. Grobe Instabilitäten werden durch Kompression oder Druck auf beide Spinae iliaca anteriores geprüft [8]. Die Stabilitätsprüfung ist jedoch sorgsam zu erwägen und vorsichtig durchzuführen [63].

1.4.3. Bildgebende Diagnostik

1.4.3.1. Konventionelle Röntgendiagnostik

Röntgen in zwei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen, also im Strahlengang von ventral nach dorsal sowie von links nach rechts (oder umgekehrt) ergibt in der Beurteilung des Beckenrings keine ausreichende Aussagefähigkeit aufgrund der erheblichen Überlagerungen in der seitlichen Projektion. Bei entsprechendem klinischem Verdacht, wird die Beckenübersichtsaufnahme (siehe Abbildung 13) mit anterior-posteriorem Strahlengang durch die sogenannten Inlet- (siehe Abbildung 14) und Outletaufnahmen (siehe Abbildung 15) ergänzt [66, 67].



Abbildung 13 Becken im a.p.-Strahlengang [68]

Die Inlet-Aufnahme (Pennal I) wird in 30-40° kranio-kaudal geneigtem Strahlengang, also von oben in das Becken hinein geröntgt. Sie stellt die Eingangsebene des Beckens dar und ermöglicht einen Versatz von Frakturen zu erkennen [66].



Abbildung 14 Inletaufnahme [68]

Die Outlet-Aufnahme (Pennal II) wird in 30-40° caudo-kranial geneigtem Strahlengang durchgeführt. Das Os sacrum wird so senkrecht getroffen [66].



Abbildung 15 Beckenoutletaufnahme [68]

1.4.3.2. Computertomographie

Das heutige Standardverfahren zur Diagnostik und ggf. Planung der operativen Versorgung bei Beckenringfrakturen ist die auf Röntgentechnik basierende Computertomographie. Durch die Schnittbildgebung und nachgehende Bildverarbeitung ist eine bessere räumliche Beurteilbarkeit (siehe Abbildung 16) sowie eine genauere Abwägung der Frakturmorphologie möglich. Zur besseren Visualisierung kann eine dreidimensionale Darstellung rekonstruiert werden.



Abbildung 16 3D-Rekonstruktion eines CT-Datensatzes bei Becken- und Acetabulumfraktur [68]

Bei einer Darstellung mit Kontrastmittel können aktive Blutungen detektiert und Weichteile recht gut veranschaulicht werden.

1.5. Frakturklassifikationen

Zur Klassifizierung von Frakturen eignen sich Klassifikationssysteme die sowohl die Richtungen der wirkenden Kräfte als auch das Frakturmuster, also das Resultat der wirkenden Kräfte, berücksichtigen. Die gängigsten Klassifikationssysteme zu Beckenringfrakturen werden nachfolgend aufgeführt.

1.5.1. Tile/AO-Klassifikation

Pennal und Tile entwickelten zunächst eine Klassifikation die den Vektor der einwirkenden Kraft berücksichtigte [45]. So wurde unterteilt in:

1. Anterior-posteriore Krafteinwirkung
2. Laterale Krafteinwirkung
3. Und vertikal-schräge Krafteinwirkung

Für Pennal und Tile stand fest, dass das Becken als Ringstruktur zu verstehen sei und isolierte vordere oder hintere Beckenringverletzungen quasi nicht vorkommen [3]. Dies bestätigen auch Chenoweth und Gertzbein 1977 mit ihren Studien zu Knochenszintigraphien bei Beckenfrakturen [45, 66]. Sie wiesen nach, dass auch, wenn eine augenscheinlich isolierte Fraktur im konventionellen Röntgenbild auftritt und keine weiteren Verletzungen ersichtlich sind, es zu Mikroläsionen an einer weiteren Stelle des Beckenrings kommt.

Tile entwickelte die Einteilung 1988 weiter. 1991 wurde diese Einteilung an die Klassifikationen der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen angepasst. Typ A Verletzungen stellen eine Fraktur dar, die die Stabilität des Beckenringes nicht beeinträchtigt [3, 47, 58]. Typ B Verletzungen gelten als vertikalstabil, aber rotationsinstabil. Die dorsalen Knochen- und Bandstrukturen sind mindestens teilweise intakt [3, 47, 58]. Typ C Verletzungen sind komplett vertikal- und

rotationsinstabil [3, 47, 58]. Das bedeutet, dass sowohl im Bereich des ventralen als auch des dorsalen Beckenrings eine komplette Ruptur des Bandapparates bzw. Fraktur vorliegt.

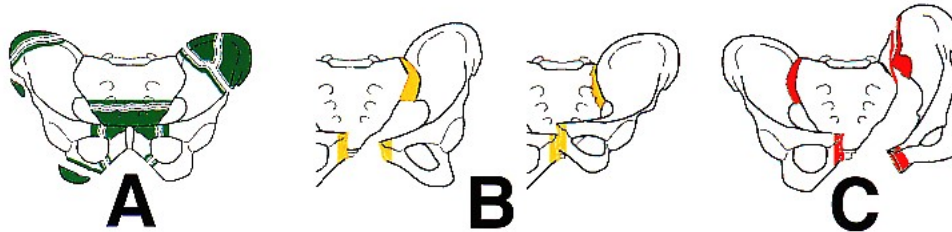


Abbildung 17 Frakturklassifikation nach Tile / AO [58]

Die einzelnen Gruppen werden in weitere Subgruppen unterteilt:

A1: Sogenannte Abrissfrakturen. Sie beschreiben keine Beckenringfraktur im eigentlichen Sinne, da hierbei die Ringstruktur nicht unterbrochen wird.

A2: Als solche werden Frakturen der Beckenschaufeln und Frakturen des vorderen Beckenrings ohne Dislokation bezeichnet, welche die Stabilität nicht gefährden.

A3: Quer verlaufende Frakturen des Kreuz- und Steißbeines fallen in diese Kategorie.

B1: Verletzungen die durch Außenrotation einer Beckenhälfte entstehen sprengen häufig die Integrität der Symphyse. Sie werden auch als „Open-Book-Verletzungen“ bezeichnet.

B2: Beschreibt Verletzungen die durch lateral einwirkende Kompression entstanden sind. Dabei disloziert eine Beckenhälfte durch Rotation nach innen.

B2.1: Beschreibt dabei die Innenrotation der durch die Krafteinwirkung betroffenen Seite.

B2.2: Beschreibt die Innenrotation der der Krafteinwirkung gegenüberliegenden Seite.

B3: Eine Typ B Verletzung, welche sich auf beide Beckenhälften bezieht wird als B3 klassifiziert.

C1: Beschreibt eine Verletzung, welche sich auf eine Seite beschränkt.

C1.1: Eine Fraktur, welche als Komponente im dorsalen Beckenring eine Fraktur durch das Os ilium aufweist.

C1.2: Bezeichnet eine komplette Bandruptur, oder eine Luxationsfraktur in einem der Sakroiliakalgelenke.

C1.3: Sprengung des dorsalen Beckenrings als Fraktur des Os sacrum.

C2: Bezeichnet eine Fraktur, welche zwar bilaterale Anteile besitzt aber nicht auf beiden Seiten als C-Verletzung zu klassifizieren ist.

C3: Eine beidseitige C-Verletzung oder eine einseitige C-Verletzung mit gleichzeitig bestehender Acetabulumfraktur.

1.5.2. Young/Burgess

Die Klassifikation nach Young und Burgess et al 1986 orientiert sich anhand der Vektorrichtung der einwirkenden Kräfte. Die hieraus resultierende Einteilung ergibt sich wie folgend beschrieben (siehe Abbildung 18) [69]:

Anterior Posterior Compression (APC): Dies sind Läsionen mit Vektorrichtung von ventral nach dorsal bzw. umgekehrter Richtung. Brüche im vorderen Beckenring stellen sich eher vertikal dar.

APC I: Führen sie zu Weitungen des Symphysenspaltes von weniger als 25mm und sind mit keinerlei Beeinträchtigung der Stabilität des dorsalen Beckenrings einhergehend, fallen sie unter Kategorie APC I.

APC II: Wird die Symphyse um mehr als 25 mm geweitet, resultiert eine Zerreißung oder Überdehnung der ligamentären Strukturen im Bereich des dorsalen Beckenrings, und man spricht von APC II Läsionen.

APC III: Resultiert eine vollständige Unterbrechung des dorsalen Beckenrings spricht man von APC III Läsionen.

Lateral Compression (LC): Die Kraft wirkt im Falle einer LC Läsion von lateral ein. Die Instabilität der Fraktur wird durch die Schwere der Verletzung bestimmt. Sie lässt sich nicht allein an Hand der Klassifikation vorhersagen.

LC I: Kräfte die in ihrer Richtung eher von lateral über den hinteren Beckenring einwirken zählen zu den LC I-Frakturen. Frakturlinien der Rami ossis pubis präsentieren sich eher horizontal.

LC II: Von lateral eher nach ventral einwirkende Kräfte verursachen Läsionen der Kategorie LC II. Sie verursachen nach innen rotierte ipsilaterale Verletzungen im anterioren Beckenring und auenrotierte im dorsalen Beckenring.

LC III: Bei besonders großen Kräften kann die kontralaterale Beckenseite mittelbar Schaden nehmen. Unmittelbar werden durch die einwirkenden Kräfte die ipsilateralen Beckenanteile geschädigt.

Vertical Shear (VS): Wirkt die Kraft in vertikaler Richtung, abweichend von der Mittellinie des Beckens (etwa auf Höhe der Symphyse), resultiert ein relativer Sakrumtiefstand zu den oder der Darmbeinschaufel(n) durch ligamentäre oder knöcherne Verletzungen. Es resultieren Verletzungen welche in mehreren Ebenen instabil sind.

Complex: Burgess und Young beschreiben Kombinationen aus obengenannten Verletzungskategorien als „Complex Injuries “

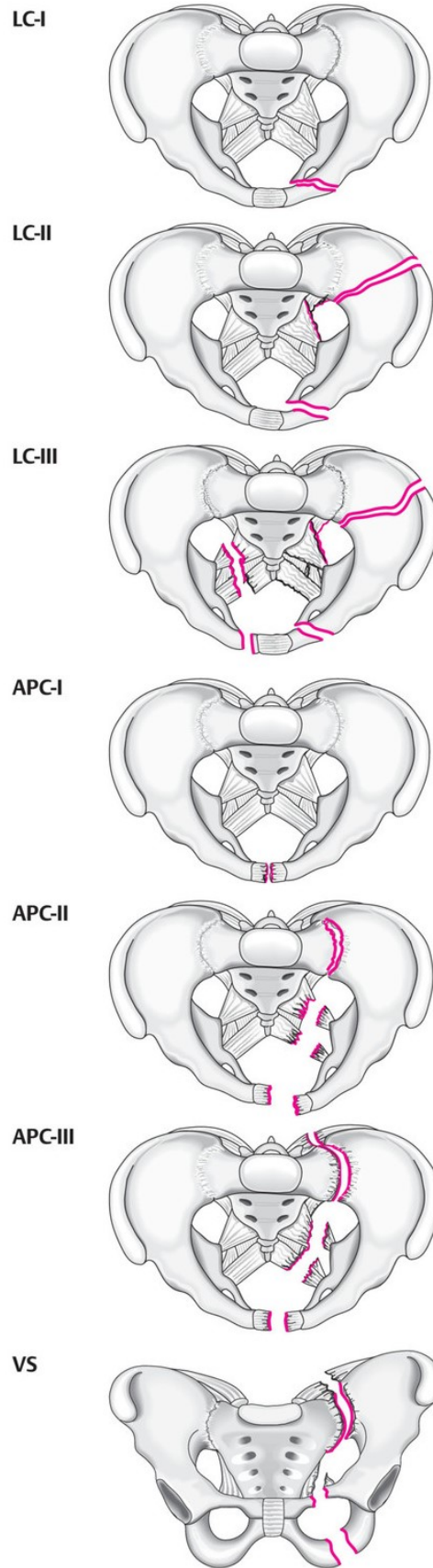


Abbildung 18 Frakturklassifikation nach Young/ Burgess [70]

1.5.3. FFP

Die „Fragility Fractures of the Pelvis“ –Klassifikation (siehe Abbildung 19) nach Rommens und Hofmann beschreibt Frakturen vor allem bei Patienten im höheren Lebensalter, welche Beckenfrakturen nach vergleichsweise geringen Traumata aufweisen. Die Verletzungsmuster sind in den meisten Fällen nicht ausreichend mit den übrigen Klassifikationen zu beschreiben. Sie beschreibt nicht nur die Läsionen, sondern in aufsteigender Reihenfolge auch die Instabilitäten der einzelnen Verletzungen. Typ I gilt als konservativ behandelbar. Typ II ist bei guter Mobilisation und ausreichender Schmerztherapie konservativ behandelbar. Aufgrund unzureichender Analgesie und mangelnder Mobilisierbarkeit der Patienten erfordern diese Verletzungen im Verlauf gelegentlich eine stabilisierende Operation. Typ III und Typ IV Frakturen sind Indikationen für chirurgische Eingriffe zur Stabilisierung des Beckenringes [65].

Typ I: bezieht sich auf eine Fraktur ausschließlich im anterioren Beckenring.

Typ Ia: beschreibt unilateral auftretende Frakturen.

Typ Ib: beschreibt bilateral auftretende Frakturen.

Typ II: undislozierte dorsale Beckenringfrakturen fallen unter diese Kategorie.

Typ IIa: eine isolierte undislozierte dorsale Beckenringfraktur wird unter Typ IIa klassifiziert.

Typ IIb: bezeichnet eine ventrale Beckenringfraktur in Verbindung mit einer Kontusion des Os sacrum.

Typ IIc: eine nicht dislozierte Fraktur des dorsalen Beckenringes (Os sacrum, Os ilium) mit zusätzlicher ventraler Unterbrechung.

Typ III: unilaterale dislozierte dorsale Beckenringfrakturen in Verbindung mit Läsionen des vorderen Beckenringes fallen in Kategorie III.

Typ IIIa: bei diesem Typ liegt die hintere Beckenringfraktur im Os ilium lokalisiert.

Typ IIIb: hierbei liegt eine dislozierte sakroiliakale Läsion im hinteren Beckenring zu Grunde.

Typ IIIc: unilateral auftretende dislozierte Frakturen des Os sacrum bei gleichzeitig auftretender ventraler Beckenringfraktur.

Type IV: bilateral dislozierte dorsale Beckenringfrakturen gehören in die Kategorie IV.

Typ IVa: beidseitige iliakale oder sakroiliakale dislozierte Frakturen werden Kategorie IVa zugeordnet.

Typ IVb: beschreibt eine Trennung von Wirbelsäule und Becken durch beidseitige Fraktur des Os sacrum in kranial-kaudaler Richtung und horizontal verlaufender Frakturkomponente.

Typ IVc: Verletzungen mit multiplen posterioren Läsionen werden durch den Typ IVc beschrieben.

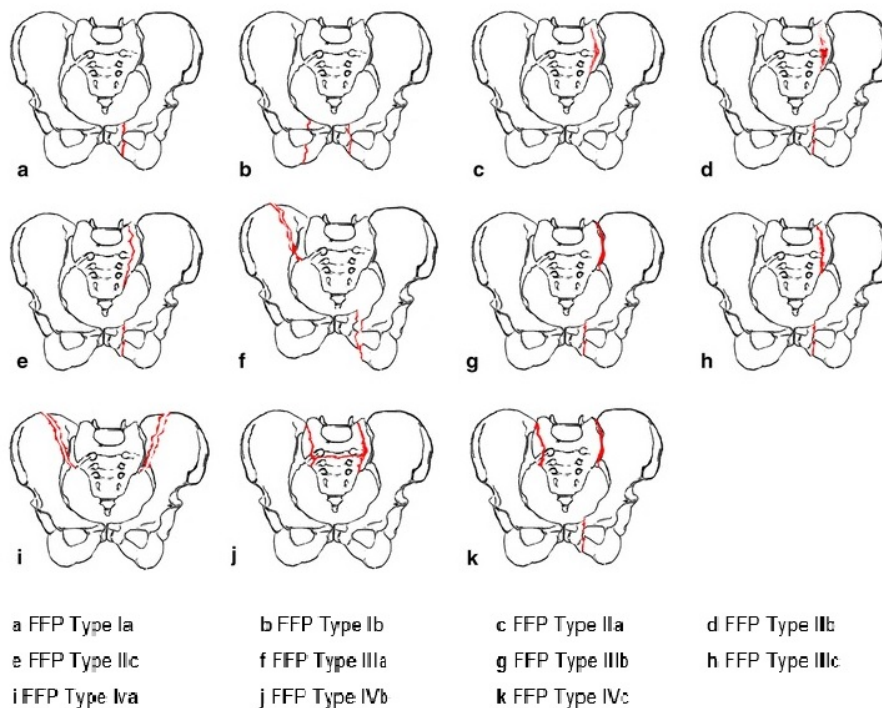


Abbildung 19 FFP-Klassifikation nach Rommens und Hofmann [71]

1.5.4. Denis

Die Frakturen des Os sacrum werden nach Denis I–III eingeteilt. Die Frakturen werden hierbei entsprechend der möglichen neuronalen Schäden beurteilt, welche während des Verletzungsprozesses entstehen [72]. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Schweregrade nach Denis (siehe Abbildung 20) kurz erläutert [72]:

Denis I bezeichnet eine Fraktur durch die Ala ossis sacrum, ohne direkte Nervenbeteiligung

Denis II bezeichnet eine Fraktur, welche die Foramina sacralia mit einbezieht, ohne den Canalis centralis zu verletzen.

Denis III bezeichnet alle diejenigen Frakturen, welche den Canalis centralis mit beeinträchtigen. Der Frakturverlauf spielt dabei keine Rolle [72].

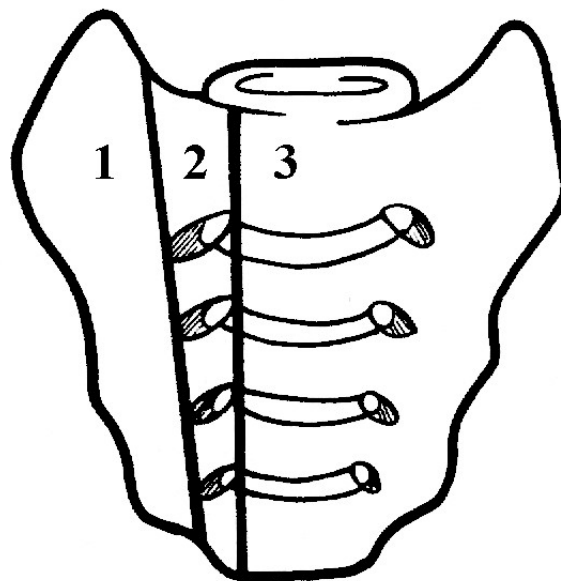


Abbildung 20 Frakturklassifikation des Os sacrum nach Denis [72]

Frakturen der Klasse Denis II können weiter nach Isler unterteilt werden (siehe Abbildung 21) [73]. Dabei wird der Bezug zum Facettengelenk L5/S1 beschrieben. Verletzungen nach Isler I liegen lateral des Facettengelenks, sodass dieses intakt bleibt. II Verletzungen spalten sich im kranialen Sakrum Y-förmig lateral und medial des Facettengelenks L5/S1 auf. Somit bleibt auch bei den Verletzungen Isler b das eigentliche Facettengelenk intakt es wird jedoch vom Os sacrum abgetrennt. III

Verletzungen liegen medial des Facettengelenks die Integrität des Facettengelenks wird hierbei zerstört.

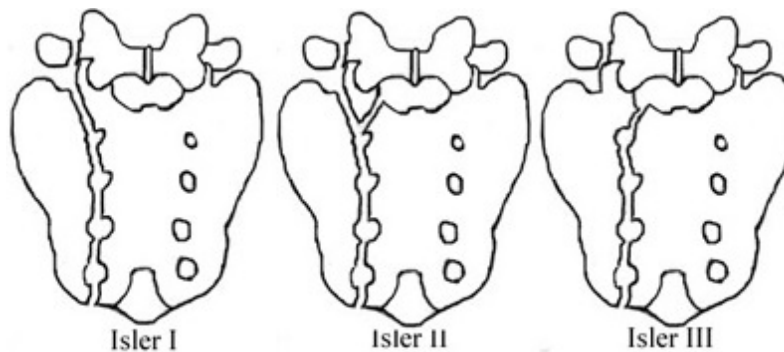


Abbildung 21 Frakturklassifikation nach Isler [73]

Bleibende neurologische Defizite sind bei etwa 30% der Sakrumfrakturen zu erwarten [73, 74]. Es ist bisher nicht einheitlich geklärt, ob ein rasches operatives Eingreifen einen Nervenschaden verhindern kann oder nur ein zusätzliches Risiko für den Patienten darstellt. Motorische Läsionen zeigen bessere Tendenzen sich zu regenerieren als sensorische [75].

Die Indikationen zur operativen Versorgung sind eine dislozierte Fraktur, Instabilität, sowie bereits eingetretene symptomatische Nervenschäden [4, 8, 43, 58-60, 76, 77].

Somit dient die Klassifikation nach Denis eher als Richtlinie um potenzielle Nervenschäden und Instabilität abzuschätzen, als zur definitiven Indikationsstellung zur operativen Versorgung.

1.6. Indikation zur operativen Versorgung vs. konservativen Therapie

Die Indikation zur Osteosynthese des hinteren Beckenrings mittels sakroiliakaler Verschraubung wurde sowohl bei Instabilitäten aufgrund von Sakrumfrakturen, Frakturen im dorsalen, gelenktragenden Anteil des Os ilium sowie bei ligamentären Verletzungen gestellt. Häufig erfolgte zusätzlich eine Versorgung des vorderen Beckenrings in gleicher oder auch in einer zweiten OP-Sitzung. In einigen Fällen

wurde auch eine persistierende Schmerzhaftigkeit bei unzureichender oder ausbleibender Heilung nach konservativer Therapie als Indikation zur sakroiliakalen Verschraubung herangezogen [59].

Stabile Verletzungen ohne grobe Dislokation können einem konservativen Behandlungskonzept zugeführt werden [3, 58]. Können die Patienten im Verlauf adäquat, ggf. unter Teilbelastung, mobilisiert werden und zeigt sich in der zeitgerechten radiologischen Verlaufskontrolle keine sekundäre Dislokation, kann der Patient frühfunktionell unter Schmerztherapie und physiotherapeutischer Weiterbetreuung ausbehandelt werden. Wichtig sind eine bedarfsorientiert ausreichende Schmerztherapie und Thromboseprophylaxe bereits zu Beginn der Behandlung. Die Mobilisation erfolgt dann im Rahmen der Schmerzgrenzen.

Es wird eine perkutane, minimalinvasive OP-Technik bei guter geschlossener Reposition von einem offenen Vorgehen bei grober Dislokation ohne Möglichkeit zur geschlossenen Reposition unterschieden. Die Verfahrensauswahl ist abhängig von der Repositionsmöglichkeit und den Begleitverletzungen.

Erstmals beschrieben wurde die perkutane OP-Technik von Ebraheim [78] und Duwelius. Die heute gängige Methode wurde zunächst von Matta und Saucedo, sowie Routt [79, 80] weiterentwickelt und etabliert. Ziel der operativen Therapie mittels perkutaner Schraubenosteosynthese war es die Komplikationsrate durch kleine Zugangswege und kurze OP-Zeiten zu verringern. Es konnte gezeigt werden, dass die Pseudarthrosen- und Wundinfektionsrate deutlich geringer ausfiel als nach einer ventralen Plattenosteosynthese der Iliosakralgelenke [81].

Durch die Verschraubung der einzelnen Gelenkanteile oder Frakturfragmente kann eine suffiziente Kompression erreicht werden. Durch das Einbringen einer zweiten Schraube erreicht man auch eine Rotationsstabilität der Verletzung [82, 83].

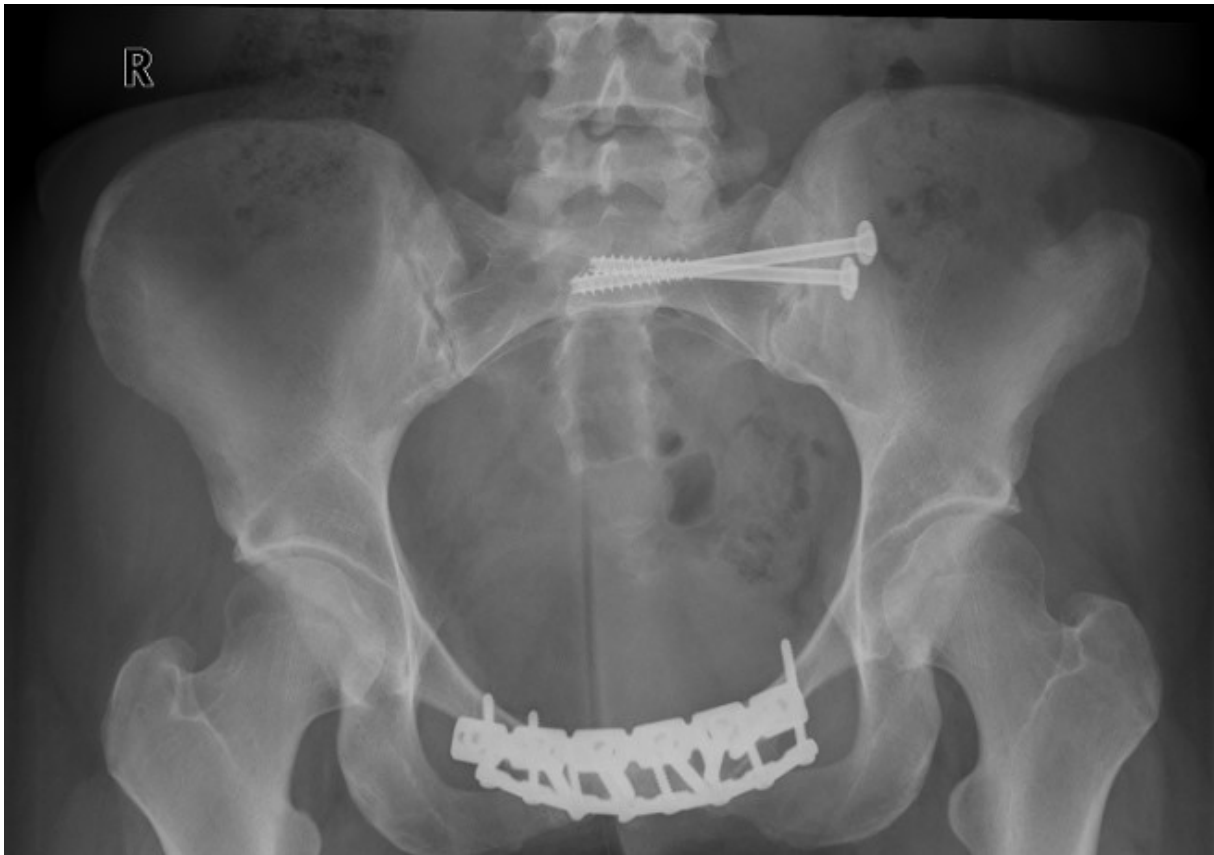


Abbildung 22 Becken a.p.-Aufnahme nach SI-Verschraubung links und ventraler Doppelplattenosteosynthese

1.7. Die sichere Schraubenplatzierung

Elementar wichtig für das spätere Outcome ist die sicher intraossäre Lage der Schrauben. Mittels verschiedener bildmorphologischer als auch auf Leichenstudien beruhender Daten wurden Konzepte entwickelt, um einen sicheren Korridor zu definieren, in welchem die Schrauben platziert und deren Verlaufsrichtung bestimmt werden kann.

Carlson et al. [84] entwickelten das Vestibül-Konzept, welches bis auf die Mitte der Pedikel die Schraubenverläufe als Doppelkegelmodell darstellt. Es wurden nicht mehr nur plane Ebenen als Bezugspunkte genutzt.

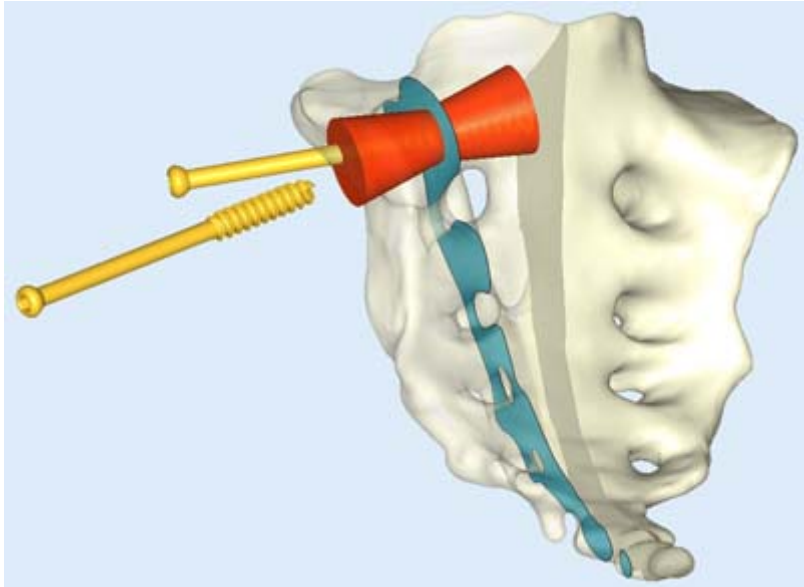


Abbildung 23 Vestibülkonzept, der sakroiliakale Korridor [85]

Eine bei etwa 30-40% [79, 84] der Patienten auftretende Sacrumdysmorphie und verletzungsbedingte Besonderheiten konnten jedoch in Studien an Kunst- und Leichenknochen nicht berücksichtigt werden.

Die verschiedenen Modelle wurden von Mendel et al [85] zu Volumenmodellen V1 (Schraubenverlauf bis zur Mittellinie der Wirbelkörper, siehe Abbildung 24) und V2 (Schraubenverlauf bis zum gegenseitigen Isthmus des Os sacrum) dargestellt.

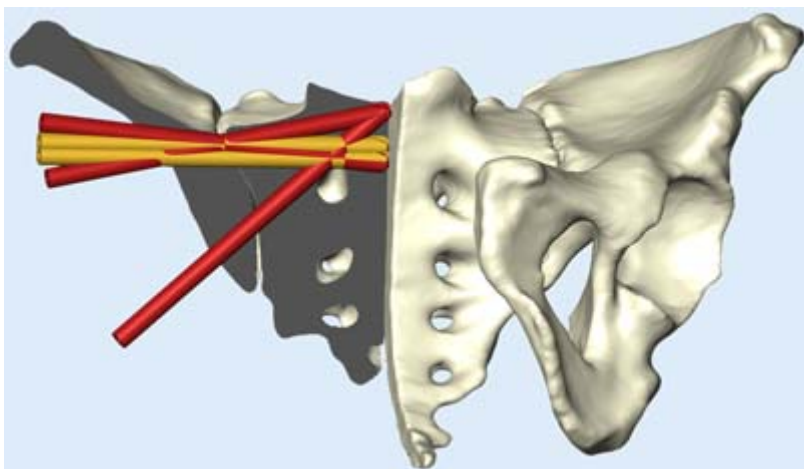


Abbildung 24 Volumenmodell nach Mendel et al. [85]

2. Fragestellung

Ziel dieser Arbeit ist die wissenschaftliche Einordnung des Stellenwerts der perkutanen bildwandlergestützten iliosacralen Verschraubung im Kontext zur aktuellen Literatur.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit retrospektiven Analyse der zwischen dem 01.01.2005 und dem 31.12.2014 an der Universitätsmedizin Mainz durchgeführten Schraubenosteosynthese der Iliosacralgelenke bei Patienten zwischen dem 18 und 65 Lebensjahr sowie deren Operationsergebnis um die Fragestellung zu beantworten ob die sacroiliakale Verschraubung unter Röntgenbildwandlerkontrolle ein adäquates und sicheres Verfahren zur Stabilisierung des hinteren Beckenringes ist?

3. Patienten, Material und Methoden

In der vorliegenden Arbeit werden alle Patienten die zwischen den Jahren 2005 und 2014 an der Universitätsklinik Mainz aufgrund einer Beckenfraktur in Behandlung waren, und mit einer iliosakralen Verschraubung operativ versorgt wurden, retrospektiv untersucht.

Zunächst wurden eine Datenbankanalyse anhand der ICD 10 Verschlüsselung durchgeführt. Als Einschlusskriterium galt dabei eine Verletzung nach ICD 10-Schlüssel S32.1 bis S32.5; S32.7; S32.81; S32.83; S32.89 sowie ein Alter bei Behandlung zwischen 18 und 65 Jahren.

Nach Einschluss von insgesamt 98 Patienten wurden die in SAP dokumentierten Daten in tabellarischer Form strukturiert erfasst (siehe Tabelle 1). Im Anschluss an die Datenerhebung wurden die Patienten aus Datenschutzgründen mit einer Anonymisierungsnummer versehen und werden im Folgenden nur noch unter dieser geführt. Es wurden nur Nachuntersuchungen innerhalb der Universitätsmedizin Mainz zur Datenerhebung verwendet. Die Aufarbeitung der gewonnenen Rohdaten erfolgte mittels Microsoft Excel ©.

Name	XX
Anonymisierungsnummer	P0086
Geburtsdatum	15.07.1956
Geschlecht	männlich
Unfalldatum	18.03.2010
OP-Datum	22.03.2010
Zugangsdatum	19.03.2010
Abgangsdatum	01.04.2010
Verweildauer im 1. Aufenthalt nach Trauma /OP in Tagen	13
Verstorben?	nein
Unfallart	Sonstiges: Reitunfall
Schockraumeinlieferung?	nein
Initiale(präoperative) Intensivversorgung?(Tage)	0
postoperative Intensivversorgung?(Tage)	0
Tage zwischen Unfall und SI-Verschraubung	4
Alter bei OP	53
Primär oder Sekundärversorgung	Primärversorgung

letztes Follow-UP	26.05.2010
Zeitraum des Follow-UP	69
Seite der SI Verschraubung	rechts
Dislozierte Symphyse	ja
Fraktur R. pubis	keine
Fraktur Os ilium	keine
Disloziertes SIG	rechts
Fraktur Os sacrum	keine
Fraktur Acetabulum	keine
Young/Burgess	APC II
OTA/Tile	B1.1
FFP	nichtzutreffend
Denis	nicht zutreffend
Schraubenanzahl (re x li)	1x0
Schraubenlokalisierung (rechts kranial/kaudal/links kranial/kaudal)	S1
Schraubentypen 32mm Gewinde (rechts kranial/kaudal/links kranial/kaudal)	90x7,3mm
Positionierung (rechts kranial/kaudal/links kranial/kaudal)	exzellent (komplett intraossär)
OP-Lagerung	Rückenlagerung
OP-Zugang	perkutan
OP-Verfahren	perkutane Verschraubung mit Unterlegscheibe
Drainage?	nein
Komplikationen	keine
Metallentfernung?	nein
ME-Datum	nein
Zeit bis zur ME	
Revisionen ohne ME	nein
Revisionsindikationen	keine
Weitere Implantate im Becken	Plattenosteosynthese über der Symphyse
Weitere Verletzungen	Scrotalhämatom
Beschwerden im letzten Follow-UP	LWS-Schmerzen
Vorerkrankungen?	keine Bekannt

Tabelle 1 Exemplarische Darstellung der systematischen Datenerhebung

3.1. Patientenkollektiv

Bei den eingeschlossenen 98 Patienten handelte es sich um 56 männliche und 42 weibliche (siehe Abbildung 25).

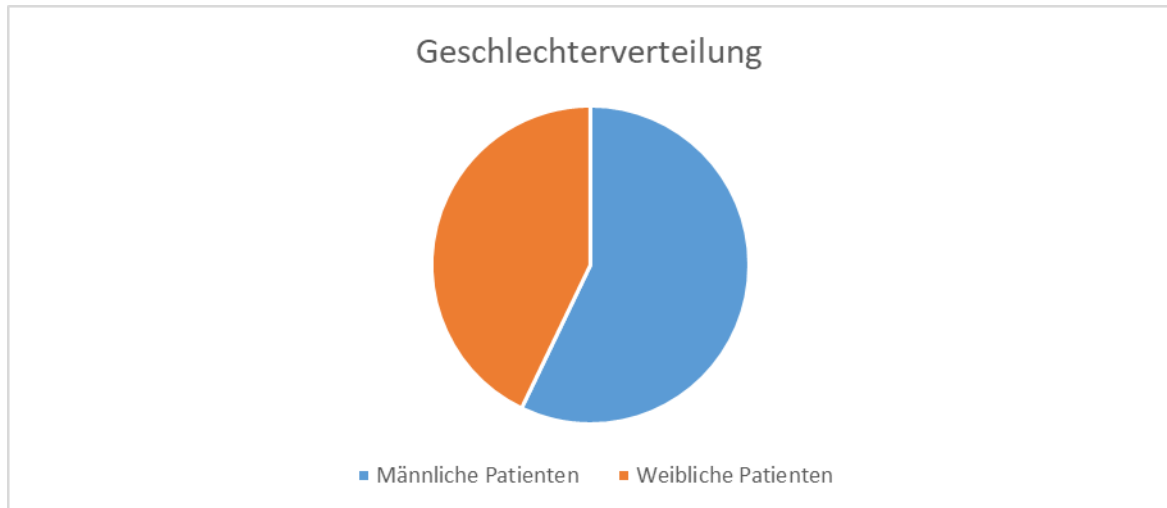


Abbildung 25 Geschlechterverteilung

Der Altersdurchschnitt im Patientenkollektiv betrug 43,2 Jahre (Median: 46,0 Jahre) zum Zeitpunkt der operativen Versorgung (siehe Abbildung 26). Geschlechtsspezifisch lag der Altersdurchschnitt der weiblichen Patienten bei 45,4 Jahren und der männlichen Patienten bei 42,0 Jahren. Das Altersintervall wurde im Rahmen der Einschlusskriterien zwischen 18 und 65 Jahren gewählt. Die Altersbeschränkung dient der Reduktion osteoporotischer Frakturen ohne suffizientes Trauma ohne diese vollständig aus dem Studienkollektiv zu eliminieren.

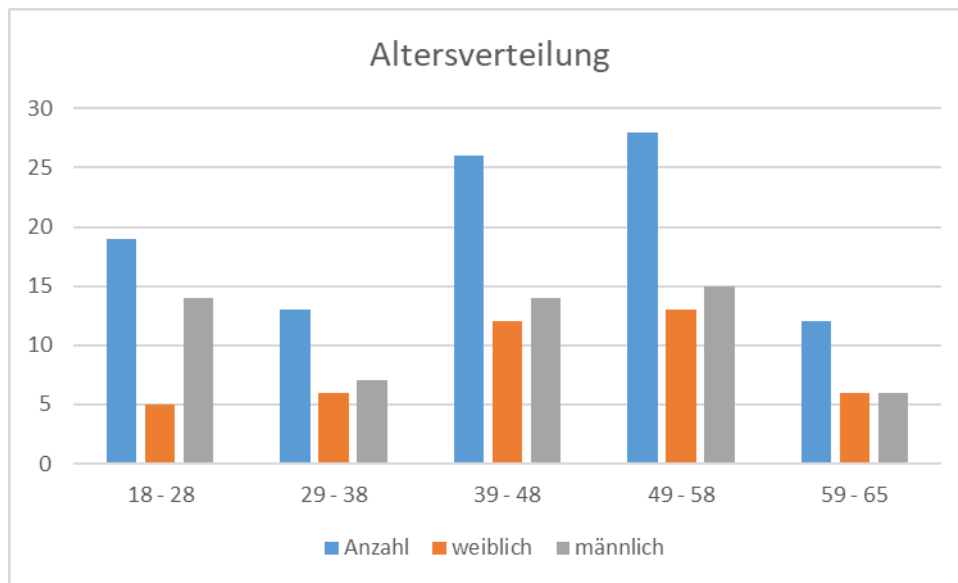


Abbildung 26 Altersverteilung der Studienpatienten und geschlechtsspezifische Aufteilung in die unterschiedlichen Altersgruppen

Im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsmedizin Mainz wurden 98 Patienten mittels sacroiliakaler Verschraubung versorgt. Insgesamt wurden 207 Schrauben platziert. 17 Patienten erhielten eine bilaterale Verschraubung, 81 Patienten benötigten nur unilaterale Verschraubungen. Das Follow-Up betrug im Durchschnitt 756 Tage (Median 502 Tage). Bei 17 Patienten fanden keine Nachuntersuchungen nach primärer Versorgung und komplikationslosem stationärem Verlauf statt.

3.2. Unfallursache

Die Verletzungsursachen (siehe Abbildung 27) in dem untersuchten Kollektiv setzten sich wie folgt zusammen: 25 Patienten (25,25%) waren in einen Autounfall als PKW-Insassen verwickelt. 11 Patienten (11,11%) erlitten einen Motorradunfall. 2 Patienten (2,02%) verunglückten als Radfahrer. Als Fußgänger waren 8 Patienten (8,08%) in Verkehrsunfälle verwickelt. 32 Patienten (32,32%) erlitten einen Sturz, davon 22 aus einer Höhe >3m. 4 Patienten (4,04%) erlitten Reitunfälle. Sonstige Unfälle

verursachten bei 13 Patienten (13,13%) die versorgungspflichtigen Verletzungen. Bei 3 Patienten (3,03%) sei kein Trauma erinnereich gewesen.

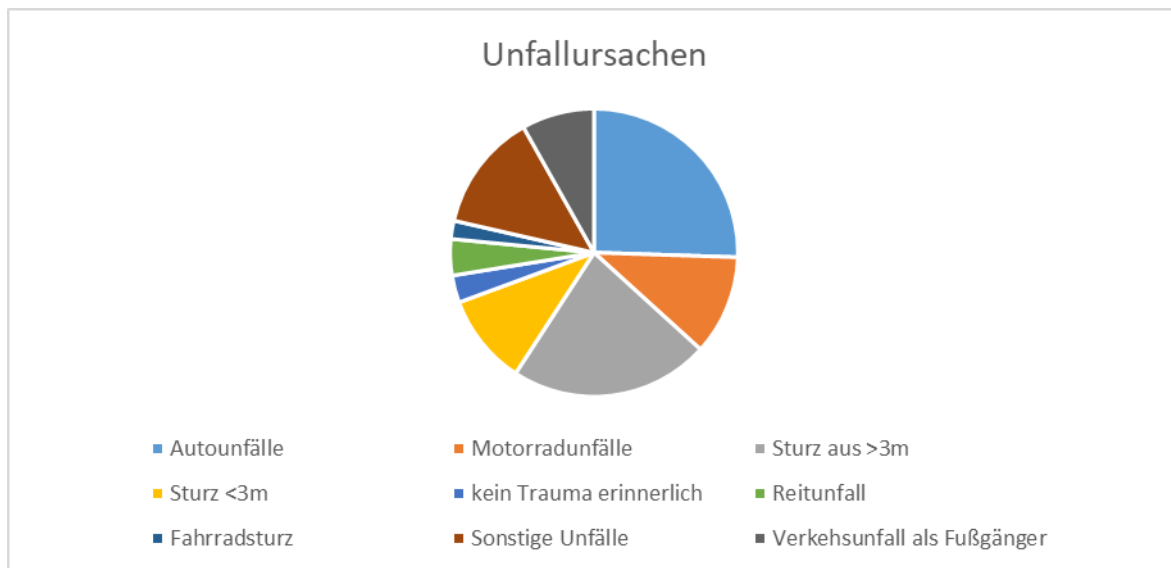


Abbildung 27 Unfallursache

3.3. Frakturmorphologie

Betrachtet man isoliert die Verletzung des Os sacrum im untersuchten Patientenkollektiv gemäß der Frakturklassifikation nach Denis [72], so erlitten 80 Patienten insgesamt 97 Frakturen des Os sacrum. Davon können 35 Frakturen mit Typ Denis I, 52 Frakturen in Typ Denis II und 10 Frakturen in Typ Denis III unterteilt werden (siehe Abbildung 28). Die restlichen 18 Patienten des Kollektivs ohne Frakturen des Os sacrum zeigen rein ligamentäre Verletzungen des Iliosakralgelenks mit entsprechender Dislokation. Als weitere Verletzungen des Beckenrings konnten in diesen Fällen 3 reine Symphysensprengungen, 7 unilaterale Acetabulumfrakturen, 5 Frakturen des Os ilium sowie 10 Frakturen des vorderen Beckenrings (7 unilateral vs. 3 bilateral) nachgewiesen werden. In 7 der genannten Fälle bestehen Mehrfachverletzungen.

Unter Berücksichtigung der weiteren Verletzungen des Beckenrings sowie des Traumamechanismus erfolgt die Frakturklassifikation nach Tile [3] sowie Young-Burgess [69] im Folgenden.

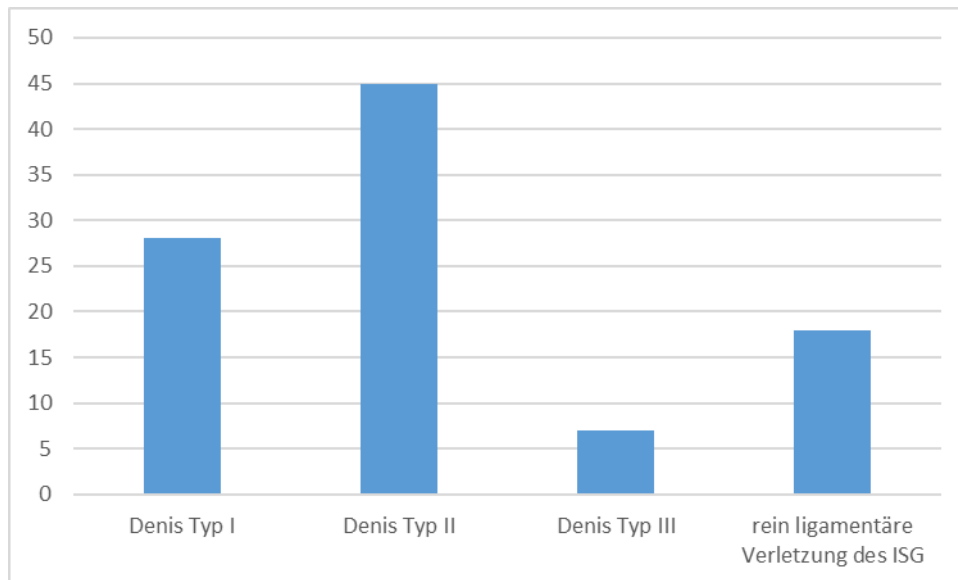


Abbildung 28 Patientenanzahl entsprechend der Frakturklassifikation nach Denis sowie rein ligamentärer Verletzungen des Iliosakralgelenks.

Es wurden 0 Patienten mit Verletzungen im Beckenring nach Tile A klassifiziert. 46 Patienten mit Verletzungen nach Tile B wurden behandelt davon 15 B1, 25 B2 und 6 B3 klassifiziert. 40 Patienten wurden der Kategorie C zugeordnet, davon 26 C1, 6 C2, und 8 C3 (siehe Abbildung 29).

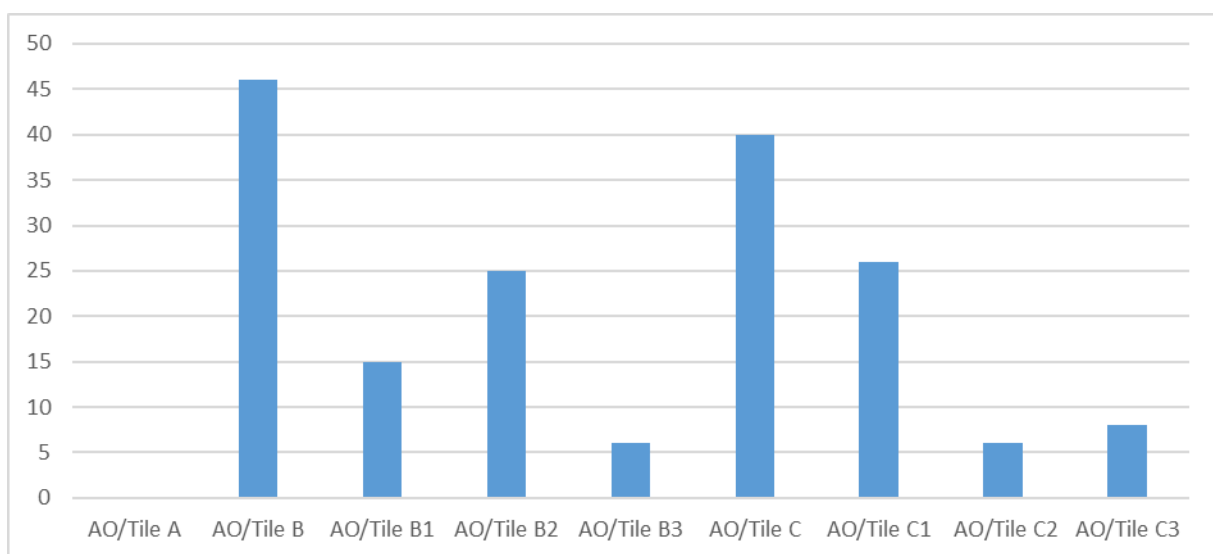


Abbildung 29 Patientenanzahl gemäß der Einteilung in die Frakturklassifikation nach AO/Tile

Nach Young und Burgess ergibt sich folgende Verteilung: 17 Patienten erlitten ein Trauma mit anterior-posteriorer Krafteinwirkung davon 1 AP I, 12 AP II und 4 AP III. Ein Trauma mit von lateral einwirkender Kompressionskraft erlitten 38 Patienten. Hier erfolgt die Verteilung mit 14 Patienten auf LC I, 19 Patienten auf LC II und 5 Patienten erlitten nach LC III klassifizierte Verletzungen. Bei 31 Patienten wurde auf eine vertical shear Verletzung geschlossen. (siehe Abbildung 30)

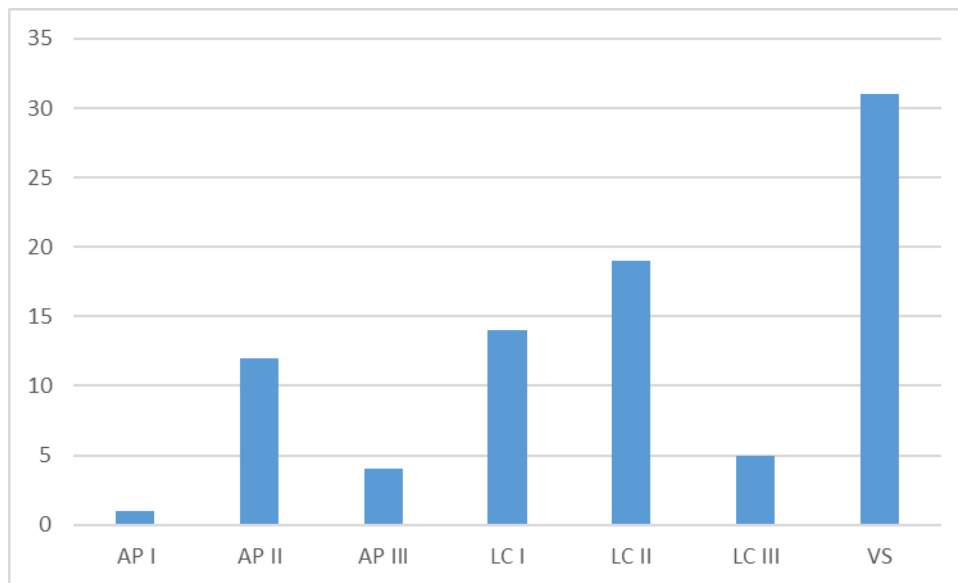


Abbildung 30 Patientenanzahl gemäß der Einteilung in die Frakturklassifikation nach Young-Burgess

12 Patienten waren nicht nach Tile und auch nicht nach Burgess und Young zu klassifizieren. Davon erlitten 9 Patienten Verletzungen, welche nicht allein durch den Traumamechanismus zu erklären sind, sondern auf eine mangelnde Knochenqualität schließen ließen. Diese wurden nach Rommens et al. [71] gemäß der Fragility fractures of the Pelvis (FFP)-Klassifikation klassifiziert (2x Verletzungen 2a, 1x 2b, 1x 3b, 2x 3c, 3x 4b).

Gemäß der zuvor beschriebenen Einteilung des Patientenkollektivs anhand der etablierten Klassifikationssysteme ergeben sich somit insgesamt 154 zusätzlich zur Fraktur des Os sacrum bestehende Verletzungen des Beckenrings (siehe Abbildung 31). Hierbei sind Mehrfachverletzungen möglich. Im Einzelnen zeigten sich 30 Frakturen des Os ilium (29 unilateral vs. 1 bilateral), 71 Frakturen der Rami ossis pubis (47 unilateral vs. 24 bilateral), 27 Symphysensprengungen sowie 26 Acetabulumfrakturen (24 unilateral vs. 2 bilateral).

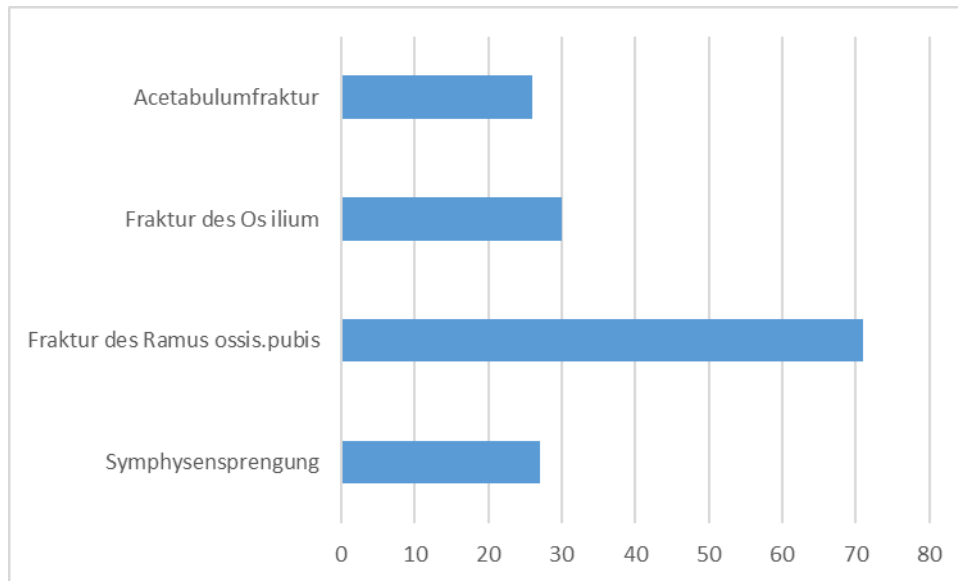


Abbildung 31 Weitere Verletzungen des Beckenringes der Studienpatienten

3.4. Implantate

Zur Verschraubung des hinteren Beckenrings wurden in dieser Studie Schrauben der Firma DePuy Synthes verwendet (Katalog-Nummer X08.830-950 sowie X09.845-950). Hierbei handelt es sich um 7,3 mm durchmessende kanülierte Teilgewindeschrauben aus Stahl mit hexagonaler Schraubendreheraufnahme am Schraubenkopf (siehe Abbildung 32).

Kurzes Gewinde



Langes Gewinde



Abbildung 32 Kanülierte Schrauben Fa. DePuy Synthes mit kurzem (X08.830-950) oder langem (X09.845-950) Teilgewinde [86]

Um eine bessere Kompression der Fraktur zu erreichen, wurde die Auflagefläche des Schraubenkopfs mittels Unterlegscheiben der Firma DePuy Synthes (Katalog-Nummer X19.990; siehe Abbildung 33) auf 1,33 cm² (Durchmesser der Unterlegscheibe 13 mm) vergrößert.



Abbildung 33 Unterlegscheibe (X19.990) [86]

Die Schrauben werden, wie nachfolgend beschrieben, über einen Führungsdraht der Firma DePuy Synthes (Katalog-Nummer 292.680 und 292.810) eingebracht. Die Führungsdrähte sind wahlweise mit Bohrspitze (292.810) oder Gewinde- und Dreikantspitze (292.680) verfügbar (siehe Abbildung 34).



Abbildung 34 Führungsdraht mit Gewinde- und Dreikantspitze (292.680) [86]

3.5. OP-Technik

3.5.1. Bildwandlergestützte perkutane sakroiliakale-Verschraubung

Der Patient wird in Rückenlage gelagert und falls notwendig die Fraktur geschlossen reponiert. Hierzu stehen verschiedene Techniken zur Verfügung. Nach anatomischer Reposition, sterilem Abwaschen und Abdecken gemäß aktuellem Hygieneplan erfolgt unter Röntgenbildwandlerkontrolle im seitlichen Strahlengang die Längsinzision auf Höhe des 1. Sakralwirbelkörpers. Dies entspricht etwa einer gedachten Linie von der Spina Iliaca anterior superior senkrecht zum Tisch ziehend und der Verlängerung der Femurschaftachse. Subcutangewebe und Muskulatur werden stumpf bis auf den Knochen des Os Ilium präpariert. In Abhängigkeit der präoperativ bestimmten anatomischen Verhältnisse werden unter radiologischer Kontrolle mittels In- und Outlet-Aufnahmen (siehe Abbildung 35) je ein Kirschnerdraht in SWK 1 und ggf. SWK 2 extraforaminär eingebracht. Diese werden anschließend bis in die Massa lateralis der Gegenseite reichend überbohrt. Auch hier wird streng auf extraforaminäre Lage der Bohrkanäle geachtet. Die benötigte Schraubenlänge wird

messtechnisch ermittelt und die kanülierten Teilgewindeschrauben, meist mit Unterlegscheiben, eingedreht. Die Gelenkreposition wird durch den Zug der Schraube fixiert. Es erfolgt die Abschlussröntgendokumentation, Wundspülung sowie ggf. Einlage einer Redon-Drainage nach subtiler Blutstillung. Die Wunde wird schichtweise verschlossen.

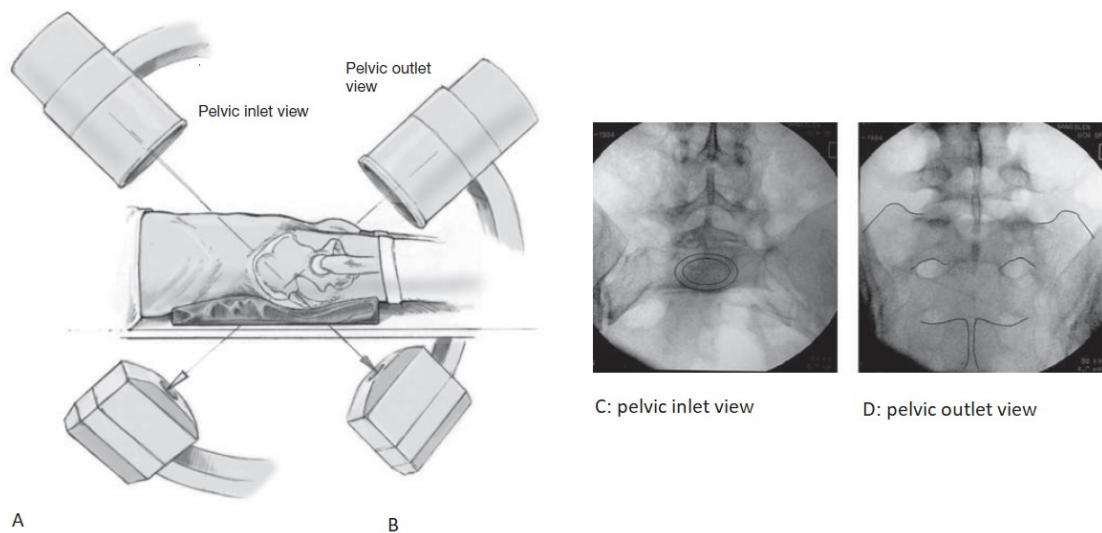


Abbildung 35 Intraoperative Bildwandlerpositionierung modifiziert nach Gaensslen et al [87]

3.5.2. Offene Reposition und sakroiliakale Verschraubung

Der Patient wird in Bauchlage gelagert und zur Vermeidung von Druckstellen unterpolstert. Nach sterilem Abwaschen und Abdecken mit Einmalmaterial erfolgt bei bilateraler Fraktur die Hautinzision median über dem Os sacrum von der Spina iliaca posterior superior in Längsrichtung verlaufend. Bei unilateraler Fraktur erfolgt die Hautinzision paramedian auf der frakturierten Seite des Os sacrum.

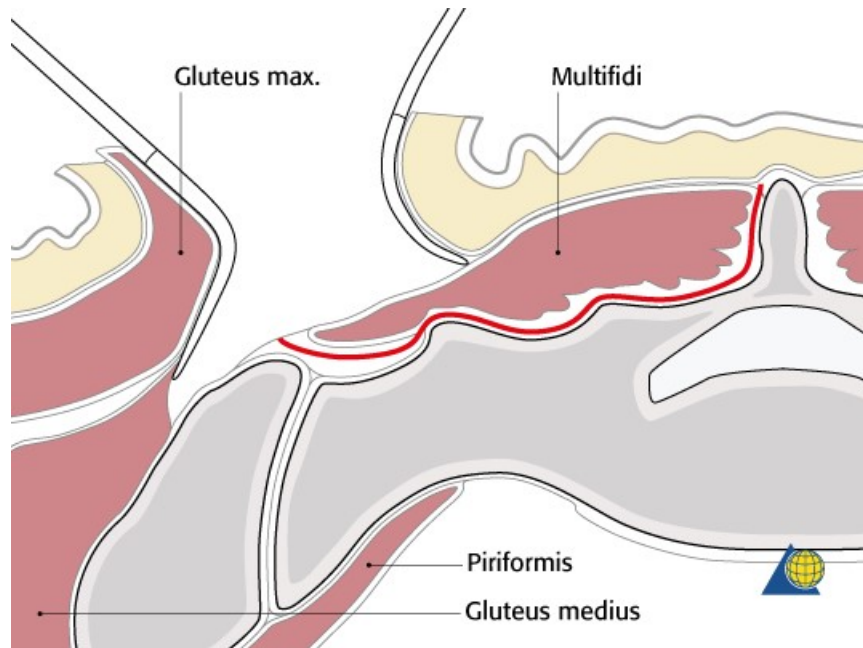


Abbildung 36 dorsaler Zugangsweg zum Iliosakralgelenk [88]

Die Subkutis wird durchtrennt. Auf Bluttrockenheit wird streng geachtet. Der Musculus gluteus maximus wird von der präsakralen Faszie abgelöst und nach lateral präpariert. Die Fraktur/ Verletzung wird somit dargestellt. Die Reposition erfolgt nach dem Joystick-System. Hierzu wird eine 5 mm Schanzschraube in das lateral abgebrochene kraniale Sacrum-Fragment eingebracht. Durch Längszug und Hebelwirkung erfolgt die offene Reposition und durch eine frakturüberbrückende Zirkelklemme fixiert. Nun erfolgt die Platzierung der sacroiliakalen Schraube gemäß der perkutanen Verschraubung mittels Bildwandlerkontrolle, wie zuvor beschrieben. Alternativ können die Führungsdrähte auch computernavigiert platziert werden. Hiernach erfolgt ebenfalls die radiologische Lagekontrolle wie beschrieben. Nach Einbringen der Osteosyntheseschrauben erfolgt eine gründliche Spülung, erneute sorgfältige Kontrolle der Blutstillung und Einlage einer Redon-Drainage. Der Musculus gluteus maximus wird mittels Naht refixiert. Eine Subcutandrainage wird eingelegt. Der Wundverschluss erfolgt schichtweise.

3.6. Postoperative Verhaltensempfehlungen

Allen Patienten wurde postoperativ eine Empfehlung zu Nachbehandlung gegeben. Im Hinblick auf unterschiedliche Begleitverletzungen und Vorerkrankungen mussten diese teilweise individuell angepasst werden.

- Postoperative Thromboseprophylaxe mit in der Regel Fragmin[®] P forte (Dalteparin-Natrium 5000 IE) einmal täglich subkutan verabreicht.
- Regelmäßige Wundkontrollen und Entfernung des einliegenden Hautnahtmaterials zwischen dem 10. und 14. Tag postoperativ.
- Bedarfsorientierte Schmerztherapie nach WHO-Stufenschema [89].
- Entlastung der betroffenen Seite an 2 Unterarmgehilfen für 8-12 Wochen, ggf. Rollstuhlentlastung bei bilateraler osteosynthetischer Versorgung.

3.7. Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle

Das postoperative Repositionsergebnis sowie die Implantatlage wurde in diesem Kollektiv mittels konventionell radiologischer Untersuchung des Beckens im a.p.-Strahlengang sowie Inlet- und Outletaufnahme kontrolliert. Nur bei Beschwerden im Bereich des Beckenrings erfolgte eine Schnittbilduntersuchung des Beckens mittels Computertomographie.

Weitere radiologisch- klinische Kontrollen mittels Röntgenbildgebung mit Becken ap sowie Inlet- und Outletaufnahme nach 6 Wochen, 12 Wochen sowie 6 Monaten.

Die Schraubenposition wurde anhand der von Gras et al publizierten Kriterien in die Kategorien „exzellent“, „akzeptabel“ und „mit Kortikalisperforation“ eingeteilt [90].

4. Ergebnisse

4.1. Präklinische und perioperative Daten

Insgesamt wurden 54 Patienten nach Erfüllung der Schockraumkriterien durch den Notarzt in den Mainzer Schockraum eingeliefert.

Hiervon mussten 43 Patienten (80%) initial einer intensivmedizinischen Therapie zugeführt werden. Die Patienten blieben im Mittel 4,6 Tage (Median 3 Tage) in intensiv medizinischer Betreuung bis zur sacroiliakalen Verschraubung. Die mittlere postoperative Verweildauer auf Intensivstation betrug im betroffenen Patientenkollektiv 10,7 Tage (Median 7 Tage).

61 Patienten des Studienkollektivs wurden einer Primärversorgung zugeführt. Das mittlere Zeitintervall bis zur Primärversorgung mittels sacroiliakaler Verschraubung betrug 6,4 Tage. Bei 22 Patienten erfolgte die Verschraubung der sakroiliakalen Gelenke im Intervall nach Damage-Control-OP. Hier betrug das mittlere Zeitintervall bis zu definitiven Verschraubung der sakroiliakalen Gelenke 7,9 Tage. Aufgrund eines frustranen Verlaufs bei initial konservativem Therapieansatz wurden 15 Patienten sekundär operativ versorgt.

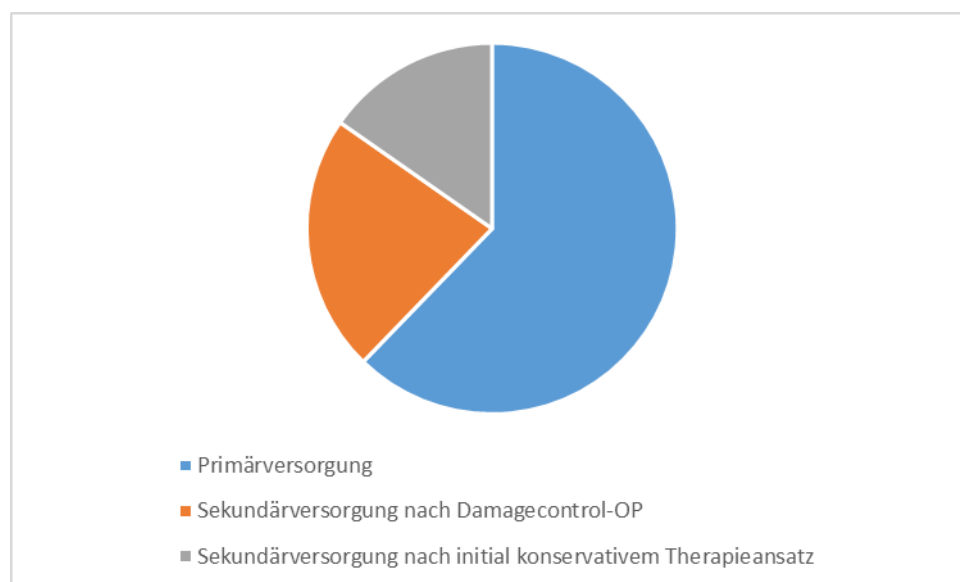


Abbildung 37 Verteilung der Primär- und Sekundärversorgung im Patientenkollektiv.

4.2. Begleitverletzungen

Von insgesamt 98 Patienten erlitten 18 (18,37%) in dieser Studie eine isolierte Beckenringverletzung. Bei 22 (22,43%) Patienten erfolgte direkt nach Abschluss der Schockraumdiagnostik eine Damage-Control-OP. Mehrfachverletzungen zeigten sich bei 59 Patienten (60,2%).

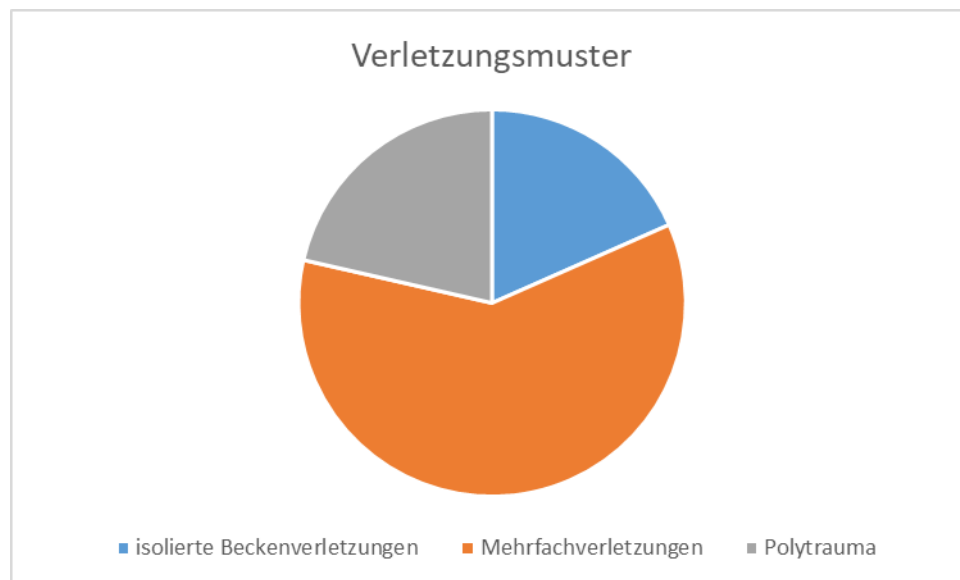


Abbildung 38 Verletzungsmuster

Die Begleitverletzungen verteilen sich wie folgt in der Gruppe der Mehrfachverletzungen sowie der Polytraumata (Mehrfachnennungen pro Patient möglich): 3 Patienten erlitten zusätzlich zu einer Beckenverletzung neurologische Schäden im peripheren Nervensystem. 31 Patienten erlitten Organ- und Gefäßschäden. Verletzungen der unteren Extremität waren häufiger (33 Patienten) als die der oberen Extremität (21 Patienten). 34 Patienten erlitten zusätzliche ein Thoraxtrauma. Begleitverletzungen der Wirbelsäule betrafen 35 Patienten. 27 Patienten erlitten ein Schädelhirntrauma

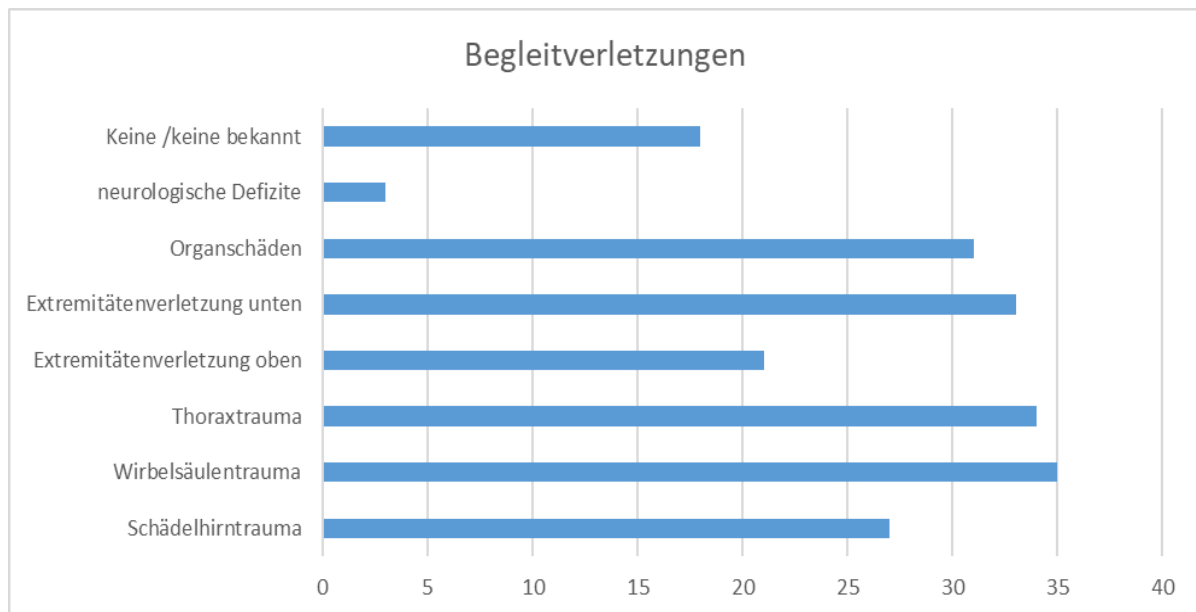


Abbildung 39 Verteilung der Begleitverletzungen

4.3. Operative Versorgung

Die operative Versorgung der Patienten erfolgte in 70 Fällen (69,3%) in Rückenlage und in 31 Fällen (30,7%) in Bauchlagerung. Einzelne Patienten wurden mehrzeitig der operativen Versorgung zugeführt. (98 Patienten/ 101 Operationen)

Bei 77,3 % (159 Stück) der eingesetzten Schrauben erfolgte zunächst eine geschlossene Reposition mit anschließenden perkutan eingebrachter Schraubenosteosynthese. Bei 22,7 % (48 Stück) der Schrauben war zunächst eine offene Reposition notwendig. 3 Schrauben wurden im Rahmen von Revisions-Operationen gewechselt bzw. neu eingebracht.

Die operative Versorgung erfolgte bei allen Patienten mit 7,3mm durchmessenden kanülierten Teilgewindeschrauben der Fa. DePuy Synthes. 96,1 % (199 Stück) wurden in S1 verankert, 3,9% (8 Stück) in S2

Bei der operativen Versorgung wurde bei 67 OP-Zugängen eine Wunddrainage eingelegt, bei 42 Zugängen wurde auf die Drainageeinlage verzichtet.

Die Versorgung erfolgte bei 21 Patienten ausschließlich mittels sacroiliakalen Verschraubungen. Es wurden insgesamt 207 Schrauben bei 98 Patienten platziert. 16 Patienten wurden nur einseitig mit einer Schraube versorgt (7 rechtsseitig, 9 linksseitig), 65 Patienten wurden einseitig, rotationsstabil mit 2 Schrauben versorgt (32 rechtsseitig, 33 linksseitig), 10 Patienten wurden bilateral mit jeweils zwei Schrauben und 6 Patienten bilateral mit jeweils einer Schraube osteosynthetisch versorgt. Bei einem Patienten war einseitig nur eine Schraube und auf der Gegenseite jedoch zwei Schrauben zur sicheren Frakturfixierung notwendig.

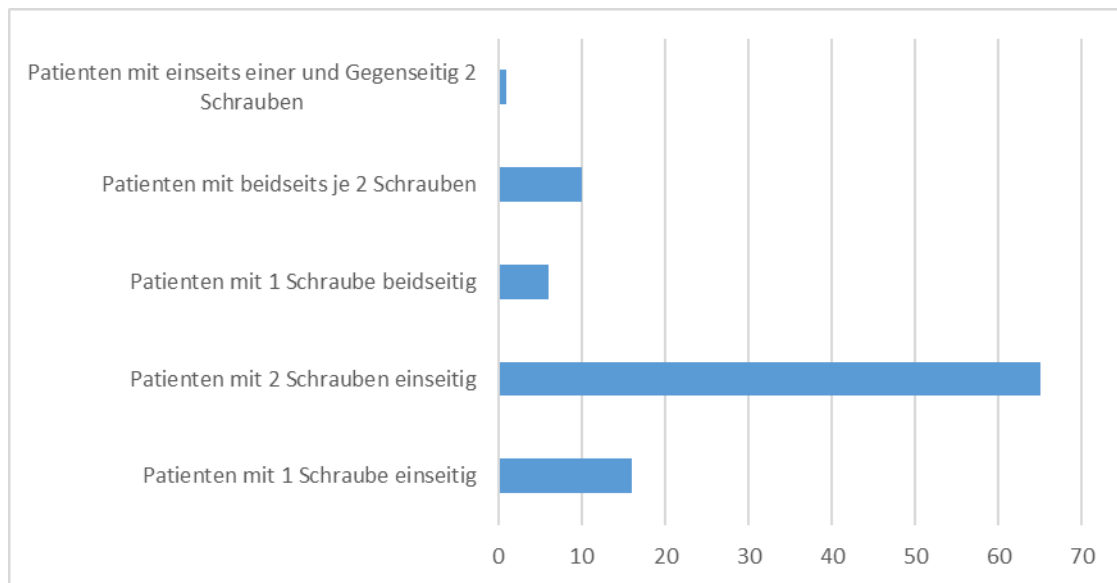


Abbildung 40 Anzahl und Position der implantierten Schrauben/Patient

77 Patienten aus dem Kollektiv wurden aufgrund weiterer Verletzungen im Beckenbereich wie folgt versorgt: 18 Patienten mit Fixateur externe, 29 Patienten mit Kriechschrauben im Bereich des vorderen Beckenrings. 38 Patienten wurden zusätzlich mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese stabilisiert. Bei 6 Patienten erfolgte die Osteosynthese zudem mit einem Sacral bar. Eine lumbopelvine Fusion war bei 2 Patienten indiziert. Zusätzliche freie Schraubenosteosynthesen wurden bei 12 Patienten eingebracht. Einige Patienten wurden mit Material-/ Implantatkombinationen versorgt.

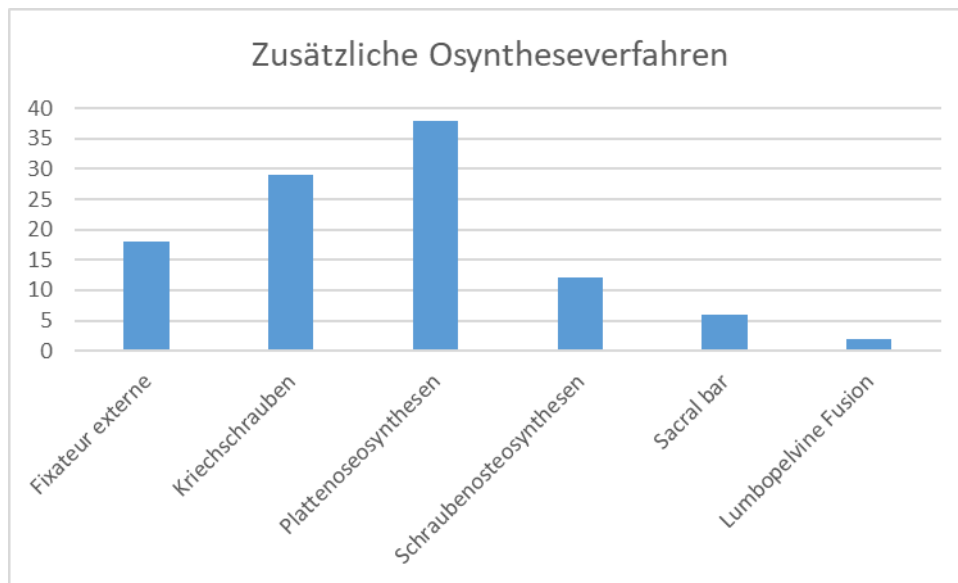


Abbildung 41 Zusätzliche Osteosyntheseverfahren

4.3.1 Exemplarische Darstellung von Frakturen und operativer Versorgung im Patientenkollektiv

Fall 1

21jährige Patientin nach Sturz vom Pferd. In der Diagnostik kamen eine Fraktur des Os sacrum linksseitig (Typ Denis I) sowie eine Fraktur der Rami ossis pubis linksseitig (siehe Abbildung 42 A - C) zur Darstellung. Somit ergibt sich eine Beckenringverletzung Typ B2.1 nach AO/Tile bzw. Young-Burgess Typ LC II. Die Frakturversorgung erfolgte primär 15 Tage nach Trauma in Rückenlagerung. Nach offener Reposition und Versorgung mittels Plattenosteosynthese und Kriechschraube des vorderen Beckenrings erfolgte die bildwandlergestützte perkutane Schraubenosteosynthese des linksseitigen Sakroiliakalgelenks mit einer kanülierten Schraube mit Unterlegscheibe (siehe Abbildung 42 D – F). Aufgrund des Alters der Patientin wurde bei konsolidierter Fraktur die Indikation zur Entfernung des einliegenden Osteosynthesematerials gestellt. Diese erfolgte 11 Monate nach Trauma komplikationslos.

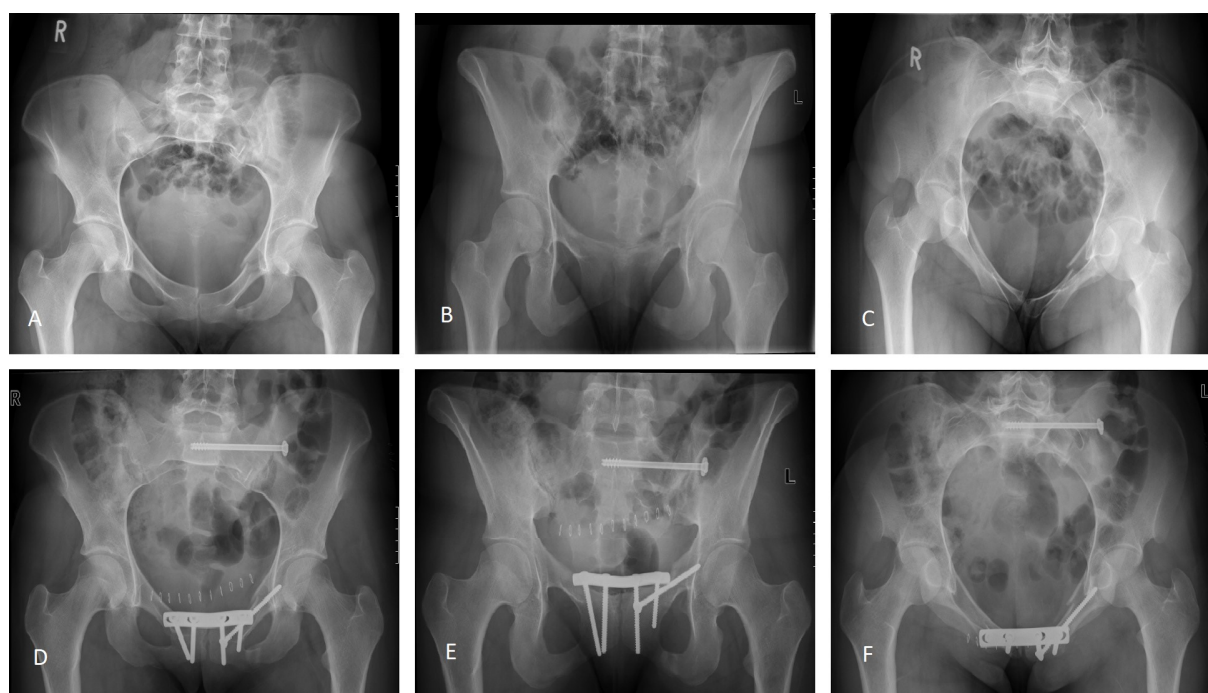


Abbildung 42 Frakturdarstellung am Unfalltag (A: Becken a.p.; B: Outlet-Aufnahme; C: Inlet-Aufnahme). Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle (D: Becken a.p.; E: Outlet-Aufnahme; F: Inlet-Aufnahme).

Fall 2

50jähriger männlicher Patient nach Verkehrsunfall. Die Einlieferung durch den Rettungsdienst erfolgte in Notarztbegleitung in den Mainzer Schockraum. In der Traumaspirale zeigte sich eine komplexe Beckenringverletzung (AO/Tile C2.1) sowie eine Querfortsatzfraktur des LWK 5, ein intrakapsuläres Milzhämatom, eine Rippenseriensfraktur 6-12 links und eine Lungenkontusion linksseitig. Als weiterer klinischer Befund zeigten sich eine tiefe Risswunde am Ellenbogen links, ein Othämatom links und ein ausgedehntes Hämatom linksgluteal. Der Patient wurde nach Primärdiagnostik direkt im Rahmen einer Damage-Control-OP mittels geschlossener Reposition und Anlage eines Fixateur externe versorgt (siehe Abbildung 43 A – C). Nach intensivmedizinischer Betreuung konnte am 8 Tag nach Trauma die definitive Versorgung der Beckenringverletzung in Rückenlagerung erfolgen. Die beidseitige Stabilisierung der Sakroiliakalgelenke erfolgte bildwandlergestützt in perkutaner Technik nach offener Reposition und Stabilisation

der Verletzung des vorderen Beckenrings mittels Kriechschraube links und symphysenüberbrückender Plattenosteosynthese (siehe Abbildung 43 D – F).



Abbildung 43 Frakturdarstellung nach initialer Damagecontrol-OP und Anlage eines Fixateur externe nach geschlossener Reposition (A: Becken a.p.; B: Outlet-Aufnahme; C: Inlet-Aufnahme). Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle nach definitiver sekundärer Versorgung (D: Becken a.p.; E: Outlet-Aufnahme; F: Inlet-Aufnahme).

Fall 3

23jährige Patientin nach Reitunfall. Die Einlieferung der Patientin erfolgte durch den Rettungsdienst in Notarztbegleitung in den Mainzer Schockraum. Die initiale Diagnostik zeigte eine isolierte transforaminale Fraktur des Os sacrum (Typ Denis II) rechtsseitig (siehe Abbildung 44 A – C). Nach ausführlicher OP-Vorbereitung erfolgte 3 Tage nach Trauma die Primärversorgung der Fraktur mittels bildwandlergestützter perkutaner Schraubenosteosynthese nach geschlossener Reposition. Das rechtsseitige Sakroiliakgelenk wurde mittels 2 kanülierter Schrauben mit Unterlegscheiben rotationsstabil versorgt (siehe Abbildung 44 D – F). Aufgrund des Alters der Patientin wurde bei konsolidierter Fraktur die Indikation zur Entfernung des

einliegenden Osteosynthesematerials gestellt. Diese erfolgte 11 Monate nach Trauma komplikationslos.



Abbildung 44 Frakturdarstellung am Unfalltag (A: Becken a.p.; B: Outlet-Aufnahme; C: Inlet-Aufnahme). Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle (D: Becken a.p.; E: Outlet-Aufnahme; F: Inlet-Aufnahme).

4.4. Komplikationen

Bei 68 Patienten (69,3%) zeigten sich keine intra- bzw. postoperativen Komplikationen.



Abbildung 45 Intra-/Postoperative Komplikationen

4.4.1. Allgemeine Komplikationen

Die tabellarisch aufgeführten Komplikationen (siehe Abbildung 46) sind nicht allein auf die Osteosynthese der Verletzungen des Beckenringes der Patienten zurückzuführen, sondern überwiegend traumabedingt oder multifaktoriell ausgelöst (Mehrfachnennungen möglich). Bei 2 Patienten trat eine posttraumatische Rhabdomyolyse auf. Blutungen waren bei 2 Patienten behandlungs-/interventionsbedürftig. 4 Patienten erlitten gerinnungsspezifische Komplikationen wie Thrombosen, Embolien oder Heparin induzierte Thrombopathien. 15 Patienten wurden wegen Infektionen behandelt. Hierzu zählen nosokomiale Pneumonien, Harnwegsinfektionen, Wund- und Weichteilinfektionen bei offenen Extremitätenfrakturen sowie postoperative Wundinfektionen. Therapiebedürftige Organversagen traten bei 5 Patienten auf. Bei 9 Patienten waren zum Zeitpunkt der

ersten neurologischen Untersuchung Nervenläsionen abgrenzbar. Da es sich hierbei um primär polytraumatisierte Patienten handelte, die bereits posttraumatisch direkt intubationspflichtig waren, konnte die erste Beurteilung des neurologischen Status erst nach Damage-Control-OP und intensivmedizinischer Behandlung im weiteren Verlauf erfolgen. Ein Patient erlitt einen Dekubitus während stationären Behandlung. 3 Patienten verstarben im stationären Verlauf an den Verletzungsfolgen (1x traumatische Aortenruptur, 1x cerebrales Ödem in Folge des initialen Schädel-Hirn-Traumas sowie 1x aufgrund einer Sepsis mit Multiorganversagen)

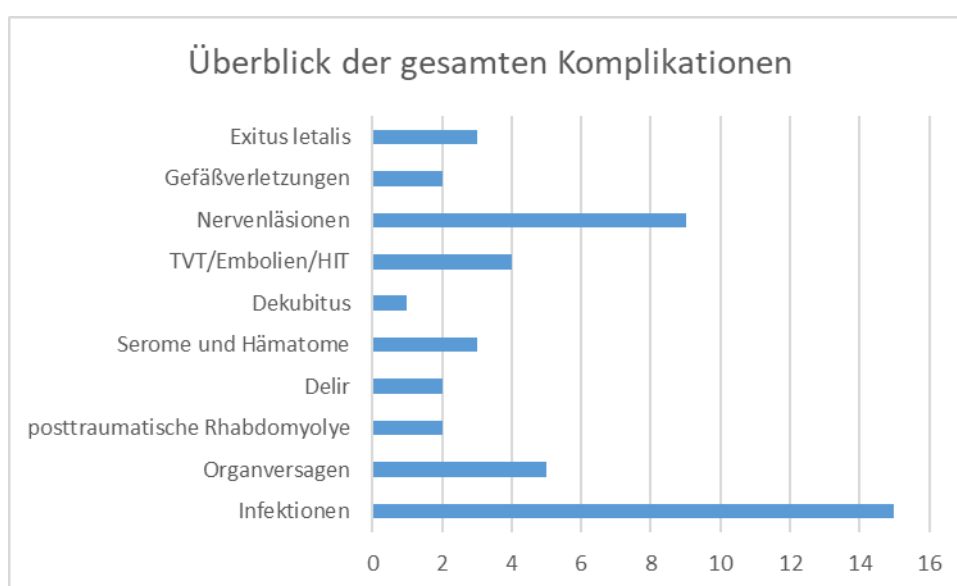


Abbildung 46 Überblick der gesamten Komplikationen im Patientenkollektiv

4.4.2. Operationsassoziierte Komplikationen

Lediglich 5 der Komplikationen (5,1% des Gesamtkollektivs) sind direkt operationsassoziiert (siehe Abbildung 47). Hierzu zählen postoperative Hämatome, Serome und postoperative Wundinfektionen (3 von insgesamt 15 Patienten mit Infektionen).

Weiterhin traten bei 28 Patienten Beschwerden im Bereich des Beckens auf. In dieser Gruppe wurde das Becken computertomographisch nachuntersucht.

4.4.3. Revisionseingriffe aufgrund operationsassoziierter Komplikationen

Aufgrund der zuvor beschriebenen operationsassozierten Komplikationen wurden insgesamt 12 Revisionseingriffe notwendig, wobei der Mehrzahl der Eingriffe (10 Revisionseingriffe) auf die 3 Patienten mit postoperativen Wundinfektionen entfällt. 2 Patienten wurden aufgrund der Wundinfektion 3-malig und 1 Patient 4-malig revidiert. Ein Patient wurde bei Schraubenfehlage einer Revisions-OP zugeführt in welcher die Schraube ausgetauscht wurde. Bei einem Patienten wurde nach Schraubenlockerung und -dislokation die Schraube ausgetauscht und eine andere nachgezogen.

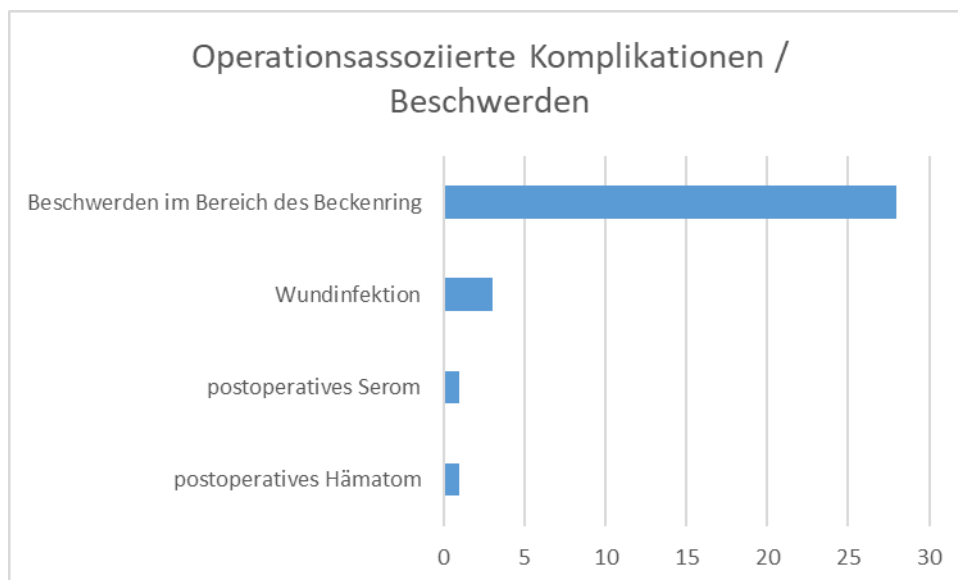


Abbildung 47 Operationsassozierte Komplikationen / Beschwerden im Patientenkollektiv

4.5. Stationäre Aufenthaltsdauer

Die Patienten des untersuchten Kollektivs konnten im Mittel nach 22 Tagen (Median 16 Tage) aus der stationären Behandlung im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsmedizin Mainz entlassen werden.

4.6. Postoperatives Follow-up

Aufgrund von Beschwerden im Bereich des Beckens wurde bei 28 (28,57%) von 98 Patienten eine computertomographische Untersuchung durchgeführt. Somit wurde die Lage von 58 Schrauben (28,02%) der insgesamt 207 implantierten Schrauben nachkontrolliert. Die überwiegende Anzahl der Nachkontrollen (16 Patienten mit insgesamt 28 einliegenden Schrauben) erfolgte im kurzfristigen postoperativen Verlauf (4 Wochen postoperativ). Im langfristigen Verlauf (mehr als 4 Wochen postoperativ) erfolgten lediglich 12 CT-Kontrollen von insgesamt 30 Schrauben (siehe Abbildung 48).

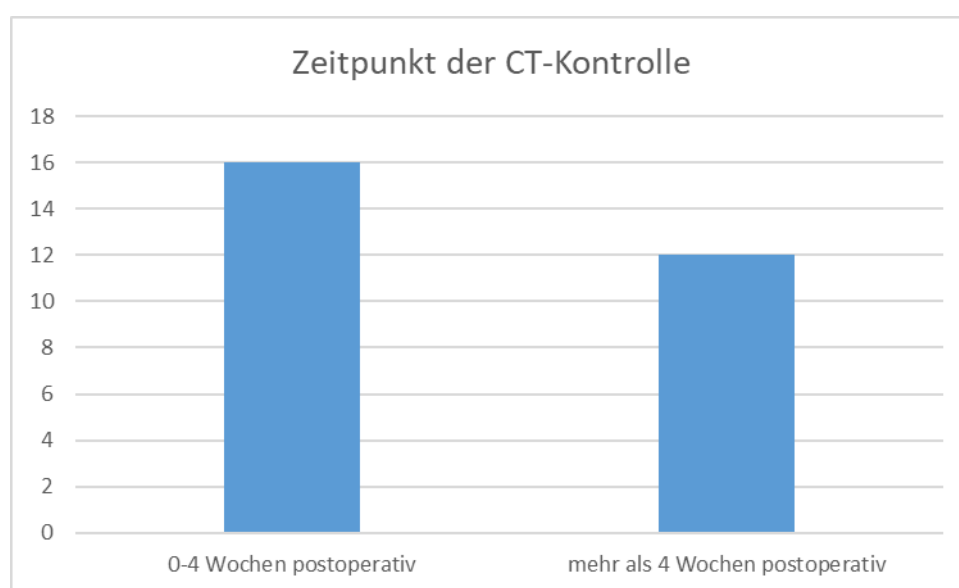


Abbildung 48 Zeitpunkt der computertomographischen Kontrolle aufgrund von Beschwerden

Die Schraubenlage wurde nach den Kriterien nach Gras et al aus dem Jahr 2010 [90] eingeteilt in: exzellent, akzeptabel, und kortikalisperforierend.

Hierbei zeigte sich die Schraubenlage in 26 Fällen (44,8% der kontrollierten Schrauben) exzellent komplett intraossär, bei 12 Schrauben (20,6% der kontrollierten Schrauben) eine akzeptable Schraubenlage mit Nähe oder Berührungen der ventralen oder dorsalen Sacrumcortikalis, jedoch noch ohne Perforation. In 20 Fällen (34,6% der kontrollierten Schrauben) lag eine Perforation der Cortikalis des Os sacrum ventral oder dorsal, oder eine Cortikalis-Perforation der Neuroforamina vor

(siehe Abbildung 49). Diese Perforationen erklärten jedoch nicht ausreichend die Beschwerden der Patienten.

Aufgrund des Beschwerdebilds im Kontext zur CT-Untersuchung wurde bei 3 Patienten im kurzfristigen und 2 Patienten im langfristigen Verlauf die Indikation zur Revision gestellt. Im kurzfristigen Verlauf handelte es sich um 2 Patienten mit einer Schraubenlockerung sowie einem Patienten mit einem unzureichenden Repositionsergebnis. Pseudarthrosen waren für die Indikationsstellung im langfristigen Verlauf verantwortlich.

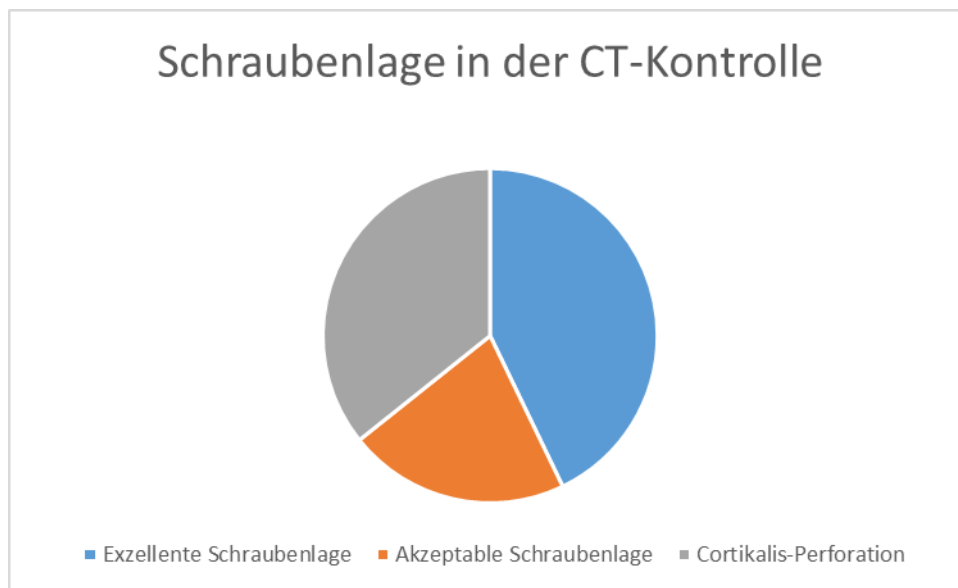


Abbildung 49 Schraubenlage in der CT Kontrolle der Patienten mit Beschwerden im Bereich des hinteren Beckenrings

In der weiterführenden Analyse der perforierenden Schrauben zeigt sich eine Häufung der Perforationen bei unilateraler bzw. bilateraler Doppelbesetzung des SWK 1 (siehe Abbildung 50). Weiterhin kann gezeigt werden, dass das Perforationsrisiko unabhängig von der Position der Schraube im SWK ist. Aus dem Aktenstudium kann man jedoch nicht ableiten, welche der Schrauben zuerst eingebracht wurde.

Lediglich die Lage von 3 der insgesamt 8 in SKW 2 eingebrachten Schrauben wurden in der CT-Kontrolle nachuntersucht. Hierbei zeigte sich 2 mal eine exzellente und 1 mal eine akzeptable Schraubenlage.

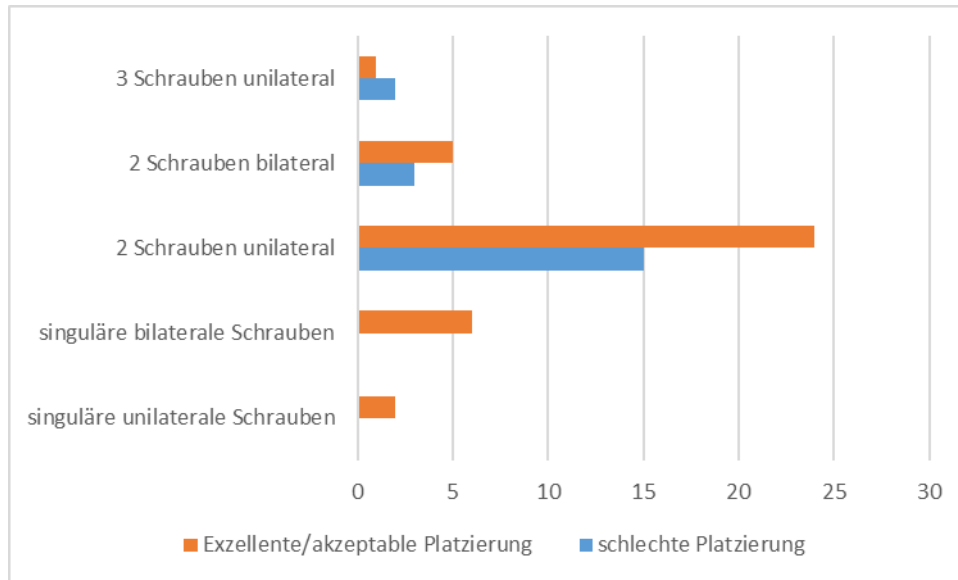


Abbildung 50 Kortikalisperforation in Relation zur Schraubendichte im sakralen Wirbelkörper

4.7. Materialentfernung

Bei insgesamt 39 Patienten wurde im Follow-Up die Indikation zur Entfernung des einliegenden Osteosynthesematerials im Bereich des hinteren Beckenrings gestellt. Gründe zur Indikation waren Frakturkonsolidierung, lokale Beschwerden im Bereich der Schraubenköpfe sowie der explizite Patientenwunsch (siehe Tabelle 2)

Indikation	Patientenanzahl	Schraubenanzahl
Frakturkonsolidierung	27	53
Lokale Beschwerden	8	15
Patientenwunsch	4	7

Tabelle 2 Auswertung der Patientenanzahl und Schraubenanzahl aufgrund der Indikation zur Entfernung des Osteosynthesematerials

5. Diskussion

Die perkutane Fixation des hinteren Beckenrings ist eine mittlerweile gut etablierte minimalinvasive Methode zur Stabilisierung von Verletzungen des hinteren Beckenrings [78, 84, 87, 90-93]. Zur Auswahl stehen diverse assistierte Verfahren [94, 95] und Implantate, die teils in biomechanischen Studien untersucht wurden [96]. Einzelne Verfahren wie z.B. die perkutane Verplattung des hinteren Beckenrings (MIAP) werden entweder nicht flächendeckend eingesetzt [91] oder weisen wie die posteriore Fixierung mittels Pedikelschrauben-Stab-Systemen (TIFI) eine signifikant geringere Stabilität im Vergleich zur perkutanen Verschraubung auf [97].

Die epidemiologischen und biometrischen Daten des Patientengutes der Studie decken sich etwa mit den Literaturangaben [41, 48, 57]. Das Männer: Frauen Verhältnis liegt bei etwa 6: 4 [28].

In dieser Studie sind alle Patienten mit der Notwendigkeit einer operativen Versorgung des hinteren Beckenrings in der Universitätsmedizin Mainz zwischen 2005 und 2014 nachuntersucht worden. Hierdurch bleibt im Gegensatz zu anderen Studien [51, 87, 93] eine große Heterogenität bezüglich der Knochenqualität erhalten. Das Alter der Patienten lag zwischen 18 und 65 Jahren, sodass ein großes Spektrum an Verletzungsursachen abgebildet wird. Es reicht von niederenergetischen Traumata bis hin zu Hochrasanztraumata mit interdisziplinärer Komplexbehandlung bei entsprechenden Begleitverletzungen.

Im Gegensatz zum Literaturvergleich [93, 98] umfasst diese Studie sowohl Patienten mit bildwandergestützter sacroiliakaler Verschraubung nach geschlossener als auch offener Reposition bei entsprechender Verletzung des hinteren Beckenrings. Hierdurch erklärt sich das Fehlen sekundärer Repositionsverluste im Kollektiv, die in der Literatur mit bis zu 26,3% angegeben werden [99].

Die Ergebnisse der Aufarbeitung der operationsassoziierten Komplikationen decken sich mit den Literaturangaben (Infekte, Hämatome, etc.) [87, 92]. Es ereigneten sich weder iatrogene Gefäßverletzungen mit residuellen Blutungen noch Organverletzungen im kleinen Becken. Auch operationsbedingte Verletzungen der Nervenwurzeln von L5 und S1 konnten nicht beobachtet werden.

Weiterhin wird durch die perkutane Platzierung der Schrauben nur ein geringes Weichteiltrauma verursacht [90, 94] und der Patient profitiert zusätzlich von einer kurzen OP-Zeit [87, 90, 100].

Die Rate der Schraubenlockerungen im kurzfristigen Verlauf ist in dem untersuchten Kollektiv sehr gering (0,9 %). Während des Follow-Up wurde aufgrund einer sekundären Implantatlockerung keine Metallentfernung erforderlich. In der Literatur existieren Angaben von 2 – 50% [93, 94]. Ein möglicher Grund hierfür könnte die überwiegend gute Knochenqualität der untersuchten Patienten sein. Ein weiterer in der Literatur belegter Grund ist in der konsequenten Stabilisierung der ventralen Beckenringläsionen zu sehen [93]. Beschwerdebedingte Entfernungen des einliegenden Osteosynthesematerials im Bereich des hinteren Beckenrings wurden in 8,1% der Fälle (8 von 98 Patienten) notwendig.

Von einer generellen Indikation zur Entfernung des einliegenden Osteosynthesematerials im Bereich des hinteren Beckenrings sollte aufgrund aktueller Studien Abstand genommen werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Materialentfernung mit einer deutlich erhöhten implantatassoziierten Komplikationsrate einhergeht und teilweise Implantatmaterial in situ verbleibt [100].

Insgesamt konnte eine unzureichende Schraubenplatzierung in 9,6 % der implantierten Schrauben gezeigt werden. Als revisionsbedürftige Schraubenfehlagen wurden jedoch nur 0,9 % der gesamt implantierten Schrauben angesehen. Keine der revisionsbedürftigen Schrauben verursachte eine Irritation oder Läsion einer benachbarten Nervenwurzel. In der Literatur reichen die Angaben der Schraubenfehlagen bis 13,2 % bei der bildwandlergestützten sakroiliakalen

Verschraubung [99]. In dem betrachteten Kollektiv konnte gezeigt werden, dass eine unilaterale oder bilaterale Mehrfachbesetzung des SKW 1 mit einer erhöhten Rate an Kortikalisperforationen einhergeht. Biomechanisch gesehen erhöhen jedoch 2 parallele Schrauben die Rotationsstabilität signifikant [82, 101, 102], bergen aber somit das Risiko einer Perforation. Ähnlich wie bei der Rate der Schraubenlockerungen scheint die Stabilisation des vorderen Beckenrings eine entscheidende Rolle bei der osteosynthetischen Versorgung zu spielen [103]. Insgesamt herrscht jedoch in biomechanischen Untersuchungen noch Uneinigkeit bezüglich der notwendigen Anzahl der Schrauben sowie Positionierungen [82, 101-105]

Bei der Analyse der Schraubenlagen bei computernavigierten Verfahren reichen die Angaben der Schraubenfehlage nur bis zu 5% [106, 107]. Abhängig vom Navigationsverfahren ist jedoch teilweise eine zusätzliche Hautinzision über dem Os sacrum zur Platzierung der Navigationsklemme und Eichung des Systems notwendig (Brainlab), was zum einen eine Versorgung des hinteren Beckenrings in Rückenlagerung bei gleichzeitiger ventraler Beckenringverletzung unmöglich macht und eine größere Wundfläche bedeutet. Ebenso ist bei präoperativ erfolgter Schnittbildgebung eine exakte Navigation nach Reposition nur teilweise möglich und eine weitere intraoperative CT-Untersuchung mittels C-Bogen erforderlich. Dies bedeutet eine große Strahlenbelastung für den Patienten und geht in Anbetracht der mittleren durchschnittlichen Durchleuchtungsdauer (35 – 320 Sekunden [87]) bei der bildwandlergestützten perkutanen sakroiliakalen Verschraubung mit keiner signifikanten Reduktion der Strahlenbelastung einher.

6. Zusammenfassung

Die perkutane bildwandlergestützte sakroiliakale Verschraubung stellt in der Hand eines versierten Operateurs ein adäquates Mittel zur minimalinvasiven Frakturversorgung des hinteren Beckenrings dar.

Sofern eine geschlossene Reposition aufgrund der Frakturmorphologie nicht möglich ist, ist sie ebenso nach offener Reposition ein probates Verfahren zur Frakturstabilisierung.

Die allgemeinen Operationsrisiken überwiegen nicht die Spezifischen. Somit ist die perkutane sakroiliakale Verschraubung als ein relativ komplikationsarmes operatives Verfahren zu betrachten.

Eine postoperative Kontrolle mittels konventionell radiologischer Untersuchung des Beckens im a.p.-Strahlengang sowie Inlet- und Outletaufnahmen zur Stellungs- und Implantatkontrolle ist ausreichend. Eine obligate postoperative Kontrolle der Schraubenlage mittels Computertomographie ist nicht indiziert. Nur bei Beschwerden im Bereich des hinteren Beckenrings sollte eine Implantatkontrolle mittels Becken-CT erfolgen. Dieses Vorgehen entspricht auch der Strahlenschutzverordnung § 119. Bei unauffälligem postoperativem CT-Befund können die Beschwerden der Patienten als allgemeine Verletzungsfolgen aufgrund der Schwere des Traumas interpretiert werden.

In Anbetracht der aktuellen Studienlage ist auch bei komplexer vorderer und hinterer Beckenringfraktur eine Kombination aus meist ventraler Plattenosteosynthese und dorsaler perkutaner Schraubenosteosynthese, ggf Osteosynthese mittels Sacral bar, eine adäquate, biomechanisch bewährte Versorgungstechnik.

Um die oben genannten Ergebnisse besser einordnen zu können, sollten Vergleichskollektive nach konservativer Therapie betrachtet werden. Gezielte Nachbehandlungsprogramme mit geplantem und standardisiertem Follow-Up-Management können helfen die Qualität der Behandlung zu beurteilen. Trotz der sehr guten Ergebnisse sollte ein selbstkritischer Blick auf die Behandlungspfade erhalten bleiben.

7. Literaturverzeichnis

1. Tubiana, M., [*Wilhelm Conrad Rontgen and the discovery of X-rays*]. Bull Acad Natl Med, 1996. **180**(1): p. 97-108.
2. Huittinen, V.M. and P. Slati, *Fractures of the pelvis. Trauma mechanism, types of injury and principles of treatment*. Acta Chir Scand, 1972. **138**(6): p. 563-9.
3. Tile, M. and G.F. Pennal, *Pelvic disruption: principles of management*. Clin Orthop Relat Res, 1980(151): p. 56-64.
4. Burgess, A.R., et al., *Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols*. J Trauma, 1990. **30**(7): p. 848-56.
5. Baierlein, S.A. and A. Wistop, *Grundlagen, in Frakturklassifikationen*, S.A. Baierlein, Editor. 2011, Georg Thieme Verlag.
6. Dalal, S.A., et al., *Pelvic fracture in multiple trauma: classification by mechanism is key to pattern of organ injury, resuscitative requirements, and outcome*. J Trauma, 1989. **29**(7): p. 981-1000; discussion 1000-2.
7. Rowe, S.A., et al., *Pelvic ring fractures: implications of vehicle design, crash type, and occupant characteristics*. Surgery, 2004. **136**(4): p. 842-7.
8. Culemann, U., et al., [*Injury to the pelvic ring. Diagnosis and current possibilities for treatment*]. Unfallchirurg, 2004. **107**(12): p. 1169-81; quiz 1182-3.
9. Jacobsen, S.J., et al., *Regional variation in the incidence of hip fracture. US white women aged 65 years and older*. JAMA, 1990. **264**(4): p. 500-2.
10. Kannus, P., et al., *Epidemiology of osteoporotic pelvic fractures in elderly people in Finland: sharp increase in 1970-1997 and alarming projections for the new millennium*. Osteoporos Int, 2000. **11**(5): p. 443-8.
11. Kannus, P., et al., *Low-Trauma Pelvic Fractures in Elderly Finns in 1970-2013*. Calcif Tissue Int, 2015. **97**(6): p. 577-80.
12. Wagner, D., et al., *Fragility fractures of the sacrum occur in elderly patients with severe loss of sacral bone mass*. Arch Orthop Trauma Surg, 2018. **138**(7): p. 971-977.
13. Varnaccia, G., A. Rommel, and A.-C. Saß, *Das Unfallgeschehen bei Erwachsenen in Deutschland*. 2013, Robert Koch-Institut %J Gesundheitsberichterstattung-Hefte. p. 92.
14. Holstein, J.H., U. Culemann, and T. Pohlemann, *What are predictors of mortality in patients with pelvic fractures?* Clin Orthop Relat Res, 2012. **470**(8): p. 2090-7.
15. Pohlemann, T., et al., [*Pelvic fractures: epidemiology, therapy and long-term outcome. Overview of the multicenter study of the Pelvis Study Group*]. Unfallchirurg, 1996. **99**(3): p. 160-7.
16. Pohlemann, T., et al., *Survival trends and predictors of mortality in severe pelvic trauma: estimates from the German Pelvic Trauma Registry Initiative*. Injury, 2011. **42**(10): p. 997-1002.
17. Hermans, E., et al., *Open pelvic fracture: the killing fracture?* J Orthop Surg Res, 2018. **13**(1): p. 83.

18. Siegmeth, A., et al., [*Associated injuries in severe pelvic trauma*]. Unfallchirurg, 2000. **103**(7): p. 572-81.
19. Thannheimer, A., et al., [*The unstable patient with pelvic fracture*]. Zentralbl Chir, 2004. **129**(1): p. 37-42.
20. Rothenberger, D.A., et al., *The mortality associated with pelvic fractures*. Surgery, 1978. **84**(3): p. 356-61.
21. Augat, P., et al., *Becken*, in *Checkliste Traumatologie*, V. Bühren, M.J.B. Keel, and I. Marzi, Editors. 2016, Georg Thieme Verlag.
22. Bühren, V., et al., *Erstversorgung, diagnostische und therapeutische Grundlagen*, in *Checkliste Traumatologie*, V. Bühren, M.J.B. Keel, and I. Marzi, Editors. 2011, Georg Thieme Verlag.
23. Böhni, U.W., *Lumbosakraler Übergang und Beckenring*, in *Manuelle Medizin I*, U.W. Böhni, M. Lauper, and H.-A. Locher, Editors. 2015, Georg Thieme Verlag.
24. Forst, S.L., et al., *The sacroiliac joint: anatomy, physiology and clinical significance*. Pain Physician, 2006. **9**(1): p. 61-7.
25. Burkhardt, M., et al., [*Strategies for surgical treatment of multiple trauma including pelvic fracture. Review of the literature*]. Unfallchirurg, 2005. **108**(10): p. 812, 814-20.
26. Adams, J.E., et al., *Pelvic trauma in rapidly fatal motor vehicle accidents*. J Orthop Trauma, 2003. **17**(6): p. 406-10.
27. Adams, J.E., et al., *Analysis of the incidence of pelvic trauma in fatal automobile accidents*. Am J Forensic Med Pathol, 2002. **23**(2): p. 132-6.
28. Balogh, Z., et al., *The epidemiology of pelvic ring fractures: a population-based study*. J Trauma, 2007. **63**(5): p. 1066-73; discussion 1072-3.
29. Eshed, I., et al., *Peripartum changes of the sacroiliac joints on MRI: increasing mechanical load correlating with signs of edema and inflammation kindling spondyloarthropathy in the genetically prone*. Clin Rheumatol, 2015. **34**(8): p. 1419-26.
30. Schünke M, S.E., Schumacher U et al., *Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 2018: Thieme.
31. Stein, G.M. and C. Meyer, *Anatomie des Beckens und Oberschenkels*, in *Unfallchirurgie in der Grund- und Notfallversorgung*, C. Pape-Köhler and G.M. Stein, Editors. 2016, Georg Thieme Verlag.
32. Henry Gray, H.V.C., *Gray's Anatomy* ed. S. Standring. Vol. 41. Auflage. 2015: Elsevier
33. Kirsch, J., *Synarthrose (Fuge)*, in *Taschenlehrbuch Anatomie*, J. Kirsch, et al., Editors. 2017, Georg Thieme Verlag.
34. Euler, E., et al., *Anatomie und Biomechanik des Beckens Trauma und Berufskrankheiten*, 2000. **2**(1): p. 2-10.
35. Schünke, M., et al., *2.4 Hüft- und Gesäßmuskulatur: Adduktorengruppe*, in *Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*, M. Schünke, et al., Editors. 2018, Georg Thieme Verlag.

36. Schünke, M., et al., *4.10 Nerven des Plexus sacralis: N. pudendus und N. coccygeus*, in *Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*, M. Schünke, et al., Editors. 2018, Georg Thieme Verlag.
37. John, T. and W. Ertel, [*Pelvic injuries in the polytraumatized patient*]. *Orthopade*, 2005. **34**(9): p. 917-30.
38. Marberger, M., D. Wilbert, and J. Ahlers, [*Pelvic fractures without clinically manifested urethral injury--late urologic morbidity*]. *Helv Chir Acta*, 1977. **44**(3): p. 339-43.
39. Muhr, G., J. Buchholz, and C. Josten, [*Visceral-urologic injuries in pelvic trauma*]. *Chirurg*, 1993. **64**(11): p. 874-9.
40. Ziran, B.H., et al., *Delays and difficulties in the diagnosis of lower urologic injuries in the context of pelvic fractures*. *J Trauma*, 2005. **58**(3): p. 533-7.
41. Richter, M., et al., *Injuries of the pelvic ring in road traffic accidents: a medical and technical analysis*. *Injury*, 2001. **32**(2): p. 123-8.
42. Bochum, R.U. *SpoMedial- Die Belastung der Hüfte*. 2019.
43. Coccolini, F., et al., *Pelvic trauma: WSES classification and guidelines*. *World J Emerg Surg*, 2017. **12**: p. 5.
44. Keel, M. and O. Trentz, *Pathophysiology of polytrauma*. *Injury*, 2005. **36**(6): p. 691-709.
45. Pennal, G.F., et al., *Pelvic disruption: assessment and classification*. *Clin Orthop Relat Res*, 1980(151): p. 12-21.
46. Gansslen, A., et al., *Epidemiology of pelvic ring injuries*. *Injury*, 1996. **27 Suppl 1**: p. S-A13-20.
47. Tile, M., *Pelvic fractures: operative versus nonoperative treatment*. *Orthop Clin North Am*, 1980. **11**(3): p. 423-64.
48. Melton, L.J., 3rd, et al., *Epidemiologic features of pelvic fractures*. *Clin Orthop Relat Res*, 1981(155): p. 43-7.
49. Weinberg, A.M. and H. Reilmann, [*The Pelvic Professional Section of the German Society of Accident Surgery and the German Section of AO-International*]. *Orthopade*, 1992. **21**(6): p. 449-52.
50. Bosch, U., T. Pohlemann, and H. Tscherne, [*Primary management of pelvic injuries*]. *Orthopade*, 1992. **21**(6): p. 385-92.
51. Grotz, M.R., et al., *Open pelvic fractures: epidemiology, current concepts of management and outcome*. *Injury*, 2005. **36**(1): p. 1-13.
52. Pohlemann, T., et al., [*Severe pelvic injury with pelvic mass hemorrhage: determining severity of hemorrhage and clinical experience with emergency stabilization*]. *Unfallchirurg*, 1996. **99**(10): p. 734-43.
53. Rittmeister, M., R.W. Lindsey, and H.W. Kohl, 3rd, *Pelvic fracture among polytrauma decedents. Trauma-based mortality with pelvic fracture--a case series of 74 patients*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2001. **121**(1-2): p. 43-9.
54. Källicke, T., et al., *Diagnostik und Klassifikation von Beckenfrakturen*. *Trauma und Berufskrankheiten*, 2000. **2**(1): p. 11-18.

55. Simonain, P.T., et al., *Internal fixation for the transforaminal sacral fracture*. Clin Orthop Relat Res, 1996(323): p. 202-9.
56. Seekamp, A., M. Burkhardt, and T. Pohlemann, [*Shock trauma room management of pelvic injuries. A systematic review of the literature*]. Unfallchirurg, 2004. **107**(10): p. 903-10.
57. Oberkircher, L., et al., *Osteoporotic Pelvic Fractures*. Dtsch Arztebl Int, 2018. **115**(5): p. 70-80.
58. Tile, M., *Pelvic ring fractures: should they be fixed?* J Bone Joint Surg Br, 1988. **70**(1): p. 1-12.
59. Rommens, P.M., et al., *When and How to Operate Fragility Fractures of the Pelvis?* Indian J Orthop, 2019. **53**(1): p. 128-137.
60. Rommens, P.M., et al., *Surgical management of pelvic ring disruptions. Indications, techniques and functional results*. Unfallchirurg, 1992. **95**(9): p. 455-62.
61. Shlamovitz, G.Z., et al., *How (un)useful is the pelvic ring stability examination in diagnosing mechanically unstable pelvic fractures in blunt trauma patients?* J Trauma, 2009. **66**(3): p. 815-20.
62. Pehle, B., et al., [*Significance of physical examination and radiography of the pelvis during treatment in the shock emergency room*]. Unfallchirurg, 2003. **106**(8): p. 642-8.
63. Franke, A., et al., *Notfallmanagement bei Beckenverletzungen: Blutstillung*, in *Schwererletztenversorgung*, S. Flohé, et al., Editors. 2018, Georg Thieme Verlag.
64. Hinkelbein, J. and H. Genzwürker, *Rettungshubschrauber (RTH)*, in *Notfallmedizin Kompakt*, H. Genzwürker and J. Hinkelbein, Editors. 2011, Georg Thieme Verlag.
65. Rommens, P.M., et al., *Clinical pathways for fragility fractures of the pelvic ring: personal experience and review of the literature*. J Orthop Sci, 2015. **20**(1): p. 1-11.
66. Gertzbein, S.D. and D.R. Chenoweth, *Occult injuries of the pelvic ring*. Clin Orthop Relat Res, 1977(128): p. 202-7.
67. Goldberg, B.A., et al., *Imaging assessment of sacroiliac screw placement relative to the neuroforamen*. Spine (Phila Pa 1976), 1998. **23**(5): p. 585-9.
68. Mainz, K.f.R.d.U., in *Sectra*
69. Young, J.W., et al., *Pelvic fractures: value of plain radiography in early assessment and management*. Radiology, 1986. **160**(2): p. 445-51.
70. Finkenzeller, G. and S.A. Baierlein, *Klassifikation nach Young und Burgess*, in *Frakturklassifikationen*, S.A. Baierlein, Editor. 2011, Georg Thieme Verlag.
71. Rommens, P.M. and A. Hofmann, *Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: Recommendations for surgical treatment*. Injury, 2013. **44**(12): p. 1733-44.
72. Denis, F., S. Davis, and T. Comfort, *Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases*. Clin Orthop Relat Res, 1988. **227**: p. 67-81.
73. Isler, B. and R. Ganz, [*Classification of pelvic girdle injuries*]. Unfallchirurg, 1990. **93**(7): p. 289-302.

74. Eid, K., et al., [*Influence of sacral fracture on the long-term outcome of pelvic ring injuries*]. Unfallchirurg, 2005. **108**(1): p. 35-36, 38-42.
75. Failing, M.S. and P.L. McGanity, *Unstable fractures of the pelvic ring*. J Bone Joint Surg Am, 1992. **74**(5): p. 781-91.
76. Bosch, U., et al., [*Classification and management of complex pelvic trauma*]. Unfallchirurg, 1992. **95**(4): p. 189-96.
77. Eastridge, B.J., et al., *The importance of fracture pattern in guiding therapeutic decision-making in patients with hemorrhagic shock and pelvic ring disruptions*. J Trauma, 2002. **53**(3): p. 446-50; discussion 450-1.
78. Ebraheim, N.A., et al., *Percutaneous computed-tomography-stabilization of pelvic fractures: preliminary report*. J Orthop Trauma, 1987. **1**(3): p. 197-204.
79. Routt, M.L., Jr., et al., *Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position*. J Orthop Trauma, 1995. **9**(3): p. 207-14.
80. Routt, M.L., Jr., S.E. Nork, and W.J. Mills, *Percutaneous fixation of pelvic ring disruptions*. Clin Orthop Relat Res, 2000(375): p. 15-29.
81. Routt, M.L., Jr., P.T. Simonian, and W.J. Mills, *Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique*. J Orthop Trauma, 1997. **11**(8): p. 584-9.
82. Yinger, K., et al., *Biomechanical comparison of posterior pelvic ring fixation*. J Orthop Trauma, 2003. **17**(7): p. 481-7.
83. Zhang, L., et al., *Biomechanical study of four kinds of percutaneous screw fixation in two types of unilateral sacroiliac joint dislocation: a finite element analysis*. Injury, 2014. **45**(12): p. 2055-9.
84. Carlson, D.A., et al., *Safe placement of S1 and S2 iliosacral screws: the "vestibule" concept*. J Orthop Trauma, 2000. **14**(4): p. 264-9.
85. Mendel, T., et al., [*Bony sacroiliac corridor. A virtual volume model for the accurate insertion of transarticular screws*]. Unfallchirurg, 2008. **111**(1): p. 19-26.
86. www.DePuySynthes.com. *Durchbohrte Schrauben 3.0/3.5/4.0/4.5/6.5/7.0/7.3 Operationstechnik*. 2016.
87. Gansslen, A., T. Hufner, and C. Krettek, *Percutaneous iliosacral screw fixation of unstable pelvic injuries by conventional fluoroscopy*. Oper Orthop Traumatol, 2006. **18**(3): p. 225-44.
88. *Posterior approach to the SI joint*. 2015 04.08.2019].
89. Bley, C.-H., et al., *WHO-Stufenschema*, in *I care Krankheitslehre*, C.-H. Bley, et al., Editors. 2015, Georg Thieme Verlag.
90. Gras, F., et al., *2D-fluoroscopic navigated percutaneous screw fixation of pelvic ring injuries--a case series*. BMC Musculoskelet Disord, 2010. **11**: p. 153.
91. Chen, W., et al., *Treatment of posterior pelvic ring disruptions using a minimally invasive adjustable plate*. Injury, 2013. **44**(7): p. 975-80.
92. Iorio, J.A., A.M. Jakoi, and S. Rehman, *Percutaneous Sacroiliac Screw Fixation of the Posterior Pelvic Ring*. Orthop Clin North Am, 2015. **46**(4): p. 511-21.
93. Remiger, A. and P. Engelhardt, [*Percutaneous iliosacral screw fixation of vertical unstable pelvic ring fractures*]. Swiss Surg, 1996. **2**(6): p. 259-63.

94. Blake-Toker, A.M., et al., *CT guided percutaneous fixation of sacroiliac fractures in trauma patients*. J Trauma, 2001. **51**(6): p. 1117-21.
95. Duwelius, P.J., et al., *Computed tomography-guided fixation of unstable posterior pelvic ring disruptions*. J Orthop Trauma, 1992. **6**(4): p. 420-6.
96. Papathanasopoulos, A., et al., *Biomechanical aspects of pelvic ring reconstruction techniques: Evidence today*. Injury, 2010. **41**(12): p. 1220-7.
97. Vigdorichik, J.M., et al., *A biomechanical study of standard posterior pelvic ring fixation versus a posterior pedicle screw construct*. Injury, 2015. **46**(8): p. 1491-6.
98. Pohlemann, T., et al., *Fixation of transforaminal sacrum fractures: a biomechanical study*. J Orthop Trauma, 1993. **7**(2): p. 107-17.
99. Keating, J.F., et al., *Early fixation of the vertically unstable pelvis: the role of iliosacral screw fixation of the posterior lesion*. J Orthop Trauma, 1999. **13**(2): p. 107-13.
100. Osterhoff, G., et al., *Rate of intraoperative problems during sacroiliac screw removal: expect the unexpected*. BMC Surg, 2019. **19**(1): p. 39.
101. Pohlemann, T., U. Culemann, and H. Tscherne, *[Comparative biomechanical studies of internal stabilization of trans-foraminal sacrum fractures]*. Orthopade, 1992. **21**(6): p. 413-21.
102. van Zwienen, C.M., et al., *Biomechanical comparison of sacroiliac screw techniques for unstable pelvic ring fractures*. J Orthop Trauma, 2004. **18**(9): p. 589-95.
103. Sagi, H.C., N.R. Ordway, and T. DiPasquale, *Biomechanical analysis of fixation for vertically unstable sacroiliac dislocations with iliosacral screws and symphyseal plating*. J Orthop Trauma, 2004. **18**(3): p. 138-43.
104. Gorczyca, J.T., et al., *The strength of iliosacral lag screws and transiliac bars in the fixation of vertically unstable pelvic injuries with sacral fractures*. Injury, 1996. **27**(8): p. 561-4.
105. Sar, C. and O. Kilicoglu, *S1 pediculoiliac screw fixation in instabilities of the sacroiliac complex: biomechanical study and report of two cases*. J Orthop Trauma, 2003. **17**(4): p. 262-70.
106. Wang, J.Q., et al., *Percutaneous Sacroiliac Screw Placement: A Prospective Randomized Comparison of Robot-assisted Navigation Procedures with a Conventional Technique*. Chin Med J (Engl), 2017. **130**(21): p. 2527-2534.
107. Yu, T., et al., *A novel computer navigation method for accurate percutaneous sacroiliac screw implantation: A technical note and literature review*. Medicine (Baltimore), 2019. **98**(7): p. e14548.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Die knöchernen Anteile des Beckens [32]	5
Abbildung 2 Der dorsale Bandapparat des Beckens [32]	6
Abbildung 3 Der ventrale Bandapparat des Beckens [32]	7
Abbildung 4 Hüft- und Oberschenkelmuskulatur: Adduktorengruppe Ansicht von vorne [35].....	8
Abbildung 5 Beckenbodenmuskulatur von kaudal (weiblich) [30].....	10
Abbildung 6 Unterschiede des weiblichen (a) und männlichen (b) Beckenbodens [30]	11
Abbildung 7 Gefäßversorgung der inneren Beckenorgane [32].....	13
Abbildung 8 Plexus lumbosacralis [30]	14
Abbildung 9 Situs im weiblichen Becken[30]	15
Abbildung 10 Situs im männlichen Becken [30].....	16
Abbildung 11 Krafteinwirkung der Wirbelsäule über die Iliosakralgelenke beidseits auf die Acetabuli, ligamentäre Zuggurtung intrapelvin [42].....	18
Abbildung 12 Darstellung der Rotationskräfte des Beckens: a) A.-p.-Ansicht: Drehachse sagittal im Bereich der Iliosakralgelenke (SI) medial vom Mittelpunkt des Femurkopfes (F), ausgeglichene Situation bei intakten Beckenbodenbändern (1). b) Seitliche Ansicht: transversale Drehachse im Bereich der Iliosakralgelenke (SI) dorsal vom Mittelpunkt des Femurkopfes (F), ausgeglichene Situation bei intakten Ligg. sacrospinale (1) und sacrotuberale (2) [42]	18
Abbildung 13 Becken im a.p.-Strahlengang [68].....	25
Abbildung 14 Inletaufnahme [68].....	26
Abbildung 15 Beckenoutletaufnahme [68].....	27

Abbildung 16 3D-Rekonstruktion eines CT-Datensatzes bei Becken- und Acetabulumfraktur [68]	28
Abbildung 17 Frakturklassifikation nach Tile / AO [58]	30
Abbildung 18 Frakturklassifikation nach Young/ Burgess [70].....	33
Abbildung 19 FFP-Klassifikation nach Rommens und Hofmann [71]	35
Abbildung 20 Frakturklassifikation des Os sacrum nach Denis [72]	36
Abbildung 21 Frakturklassifikation nach Isler [73].....	37
Abbildung 22 Becken a.p.-Aufnahme nach SI-Verschraubung links und ventraler Doppelplattenosteosynthese	39
Abbildung 23 Vestibülkonzept, der sakroiliakale Korridor [85].....	40
Abbildung 24 Volumenmodell nach Mendel et al. [85].....	40
Abbildung 25 Geschlechterverteilung	44
Abbildung 26 Altersverteilung der Studienpatienten und geschlechtsspezifische Aufteilung in die unterschiedlichen Altersgruppen	45
Abbildung 27 Unfallursache.....	46
Abbildung 28 Patientenanzahl entsprechend der Frakturklassifikation nach Denis sowie rein ligamentärer Verletzungen des Iliosakralgelenks.	47
Abbildung 29 Patientenanzahl gemäß der Einteilung in die Frakturklassifikation nach AO/Tile.....	48
Abbildung 30 Patientenanzahl gemäß der Einteilung in die Frakturklassifikation nach Young-Burgess.....	49
Abbildung 31 Weitere Verletzungen des Beckenringes der Studienpatienten	50
Abbildung 32 Kanülierte Schrauben Fa. DePuy Synthes mit kurzem (X08.830-950) oder langem (X09.845-950) Teilgewinde [86].....	50

Abbildung 33 Unterlegscheibe (X19.990) [86]	51
Abbildung 34 Führungsdraht mit Gewinde- und Dreikantspitze (292.680) [86]	51
Abbildung 35 Intraoperative Bildwandlerpositionierung modifiziert nach Gaensslen et al [87].....	52
Abbildung 36 dorsaler Zugangsweg zum Iliosakralgelenk [88].....	53
Abbildung 37 Verteilung der Primär- und Sekundärversorgung im Patientenkollektiv.	55
Abbildung 38 Verletzungsmuster.....	56
Abbildung 39 Verteilung der Begleitverletzungen	57
Abbildung 40 Anzahl und Position der implantierten Schrauben/Patient.....	58
Abbildung 41 Zusätzliche Osteosyntheseverfahren.....	59
Abbildung 42 Frakturdarstellung am Unfalltag (A: Becken a.p.; B: Outlet-Aufnahme; C: Inlet-Aufnahme). Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle (D: Becken a.p.; E: Outlet-Aufnahme; F: Inlet-Aufnahme).	60
Abbildung 43 Frakturdarstellung nach initialer Damagecontrol-OP und Anlage eines Fixateur externe nach geschlossener Reposition (A: Becken a.p.; B: Outlet-Aufnahme; C: Inlet-Aufnahme). Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle nach definitiver sekundärer Versorgung (D: Becken a.p.; E: Outlet-Aufnahme; F: Inlet-Aufnahme).....	61
Abbildung 44 Frakturdarstellung am Unfalltag (A: Becken a.p.; B: Outlet-Aufnahme; C: Inlet-Aufnahme). Postoperative Stellungs- und Implantatkontrolle (D: Becken a.p.; E: Outlet-Aufnahme; F: Inlet-Aufnahme).	62
Abbildung 45 Intra-/Postoperative Komplikationen	63
Abbildung 46 Überblick der gesamten Komplikationen im Patientenkollektiv.....	64
Abbildung 47 Operationsassoziierte Komplikationen / Beschwerden im Patientenkollektiv.....	65

Abbildung 48 Zeitpunkt der computertomographischen Kontrolle aufgrund von Beschwerden.....	66
Abbildung 49 Schraubenlage in der CT Kontrolle der Patienten mit Beschwerden im Bereich des hinteren Beckenrings	67
Abbildung 50 Kortikalisperforation in Relation zur Schraubendichte im sakralen Wirbelkörper	68

9. Abkürzungsverzeichnis

M.	Musculus
Mm.	Musculi
N.	Nervus
Nn.	Nervi
R.	Ramus
z.B.	zum Beispiel
bzw.	beziehungsweise
evtl.	eventuell
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthesefragen
ggf.	gegebenenfalls
Abb.	Abbildung
Fa.	Firma
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta

10. Danksagungen

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, ohne die diese Dissertationsschrift nie zustande gekommen wäre:

Zunächst gehört mein Dank Prof. Dr. Dr. h.c. für die Überlassung des Dissertationsthemas, die Unterstützung bei Fragen, den Informationsfluss zu Hintergrundthemen und die Vermittlung von Begeisterung zum Thema. Herrn Priv. Doz. Dr. für die kompetente Betreuung während der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Danke ich für die spontane Übernahme des Zweitgutachtens.

Frau Dr., Herrn Dr. und Frau Dr. med. möchte ich für die kritische Korrekturlesung und die Anregungen zum Thema und darüber hinaus danken.

Im ganz Besonderen bedanke ich mich bei meiner Familie, die mir mit Geduld und Motivation zur Seite steht und mir den Rücken freihält. Meiner Tochter, die im größten Motivationstief immer die Sonne scheinen lässt.

Ich bedanke mich herzlich bei Freunden und Verwandten, welche jetzt nicht alle namentlich zu nennen sind für Motivation, Unterstützung und einfach auch mal Abwechslung und Ablenkung vom Ernst des Lebens.

11. Curriculum vitae

Persönlich

Name: **Eva Mareike Nolte geb. Klenk**
Geburtsdatum: 15. Dezember.1987
Geburtsort: Offenbach am Main
Familienstand: verheiratet, eine Tochter

Beruflicher Werdegang

Seit 08/2016 Assistenzärztin am Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie an der Universitätsmedizin Mainz
04/2018-09/2018 Abteilung für Kinderchirurgie der Universitätsmedizin Mainz (im Rahmen der Weiterbildung)

Universitäre Ausbildung

05/2016 Approbation
10/2012-05/2016 Studium der Humanmedizin an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz klinischer Abschnitt und Praktisches Jahr
04/2012-09/2012 Studium der Humanmedizin an der Technischen Universität München (1. Klinisches Semester)
10/2008-09/.2011 Studium der Humanmedizin an der Georg-August-Universität Göttingen
10/2007-09/2008 Studium der Mathematik an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz

Klinische Ausbildung

Praktisches Jahr

08/2015-07/2016 Universitätsmedizin Mainz Wahlfach: Orthopädie

Famulaturen

01/2012-09/2012 Abteilung und Notaufnahme für Orthopädie und Unfallchirurgie
an der Kreisklinik Groß-Gerau durchgängig

Schulische Ausbildung

03/2007 Allgemeine Hochschulreife

1998-2007 Gymnasium zu St. Katharinen in Oppenheim

1994-1998 Grundschule Geinsheim