

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

Bestimmung der spinopelvinen Parameter bei Patienten mit Fragilitätsfrakturen des
Beckenrings

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin

der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
vorgelegt von

Falko Friedrich-Wilhelm Baron von Haaren
aus Grünstadt

Mainz, 2019

Wissenschaftlicher
Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Einleitung.....	1
1.1 Die Wirbelsäule	3
1.1.1 Anatomie der knöchernen Wirbelsäule.....	3
1.1.2 Anatomie der lumbalen Wirbelsäule	3
1.1.3 Wirbelfrakturen.....	4
1.2 Das Becken.....	5
1.2.1 Anatomie des knöchernen Beckens.....	5
1.2.2 Geschlechtsspezifische Merkmale des knöchernen Beckenrings.....	5
1.3 Beckenringfrakturen	7
1.3.1 Ätiologie von Beckenringfrakturen	7
1.3.2 Epidemiologie.....	7
1.3.3 Verletzungsmechanismus	8
1.3.4 Verletzungsformen bei älteren Patienten.....	9
1.4 Klassifikationen für Beckenringfrakturen	10
1.4.1 Die AO-Klassifikation	10
1.4.2 Klassifikation nach Young und Burgess.....	13
1.4.3 Klassifikation für Sakrumfrakturen	16
1.5 Klassifikation von Fragilitätsfrakturen des Beckenrings.....	17
1.6 Die spinopelvinen Parameter	24
1.6.1 Grundlagen der spinopelvinen Parameter.....	24
1.6.2 Pelvic Incidence.....	27
1.6.3 Sacral Slope	28
1.6.4 Pelvic Tilt	29
1.6.5 S1-Winkel	32
1.6.6 Zusammenhänge zwischen den einzelnen spinopelvinen Parametern.....	33
1.8. Änderungen der spinopelvinen Parameter durch Pathologien.....	36
1.8.1 Kompensationsmechanismen bei Störung der sagittalen Balance.....	36
1.8.2 Veränderung der spinopelvinen Parameter bei Patienten mit Osteoporose.....	37

1.8.3 Wirbelsäulenfrakturen	38
1.8.4 Beckenringfrakturen	39
1.9 Ziele der Arbeit	39
2. Material & Methoden	40
2.1 Material.....	40
2.1.1 Auswahl der Patientenpopulationen	40
2.2 Methode	41
2.2.1 Vermessung der spinopelvinen Parameter.....	41
2.2.2 Statistische Methoden	49
3. Ergebnisse.....	51
3.1 Deskriptive Statistik der untersuchten Patientenkollektive	51
3.1.1 Geschlechterverteilung	51
3.1.2 Altersverteilung zum Zeitpunkt der Fraktur.....	52
3.2 Statistische Auswertung des Patientenkollektivs Beckenringfrakturen	54
3.2.1 Patientenverteilung in der „fragility fracture of the pelvis“ (FFP) - Klassifikation	54
3.2.2 Zusammenhänge zwischen spinopelvinen Parametern und Art der Fragilitätsfraktur	57
3.3. Vergleich der spinopelvinen Parameter beider Patientenkollektive ...	66
3.3.1 Vergleich aller gemessenen spinopelvinen Parameter.....	66
3.3.2 Pelvic Incidence.....	69
3.3.3 Pelvic Tilt	73
3.3.4 Sacral Slope	77
3.3.5 S1-Winkel	81
3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	85
4. Diskussion	87
4.1 Vergleich zur Studie von Rommens und Hofmann (2013).....	87
4.2 Lendenwirbelfrakturen versus Beckenwirbelfrakturen.....	88
4.3 S1-Winkel	90
4.4 Fehlerbetrachtung.....	91

5. Zusammenfassung der Arbeit.....	92
5.1 Deutsche Zusammenfassung der Arbeit.....	92
5.2 Englische Zusammenfassung der Arbeit.....	95
6. Literaturverzeichnis	97
7. Anhang.....	104
Danksagung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Schematische Konstruktion der pelvinen Parameter.
- Abb. 2: Schematische Darstellung des Aufbaus eines Wirbelkörpers.
- Abb. 3: Vergleich männliches und weibliches Becken in der Transversalebene von oben.
- Abb. 4: Lokalisationen einer Typ-A-Fraktur.
- Abb. 5: Lokalisationen einer Typ-B-Fraktur.
- Abb. 6: Lokalisationen einer Typ-C-Fraktur.
- Abb. 7: Übersicht der Young und Burgess Klassifikation.
- Abb. 8: Frakturzonen des Os sacrum nach Denis et al.
- Abb. 9: Schematische-, radiologische- und computertomografische Darstellung von FFP I.
- Abb. 10: Schematische-, radiologische- und computertomografische Darstellung von FFP II.
- Abb. 11: Schematische-, radiologische- und computertomografische Darstellung von FFP III.
- Abb. 12: Schematische-, radiologische- und computertomografische Darstellung von FFP IV.
- Abb. 13: Bicoxofemoralachse.
- Abb. 14: Sagittal Pelvic Thickness
- Abb. 15: Pathologische Veränderung von Wirbelsäule und Becken.
- Abb. 16: Schematische Konstruktion der pelvinen Parameter.
- Abb. 17: S1-Winkel
- Abb. 18: Cone of Economy
- Abb. 19: C7-Lot

- Abb. 20: Bestimmung des S1-Winkels.
- Abb. 21: Bestimmung der Bicoxofemoralachse.
- Abb. 22: Mittelpunktbestimmung von S1.
- Abb. 23: Bestimmung des Pelvic Incidence.
- Abb. 24: Bestimmung des Pelvic Tilts.
- Abb. 25: Bestimmung des Sacral Slopes.
- Abb. 26: Beispiel für ein Diagramm für geschätzte Randmittel.
- Abb. 27: Boxplots zur Altersverteilung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.
- Abb. 28: Boxplots zu Pelvic Incidence und der FFP-Klassifikation.
- Abb. 29: Boxplots zu Pelvic Tilt und der FFP-Klassifikation.
- Abb. 30: Boxplots zu Sacral Slope und der FFP-Klassifikation.
- Abb. 31: Boxplots zur Frakturmorphologie und allen spinopelvinen Parametern.
- Abb. 32: Boxplots zu Pelvic Incidence und der Frakturmorphologie.
- Abb. 33: Diagramm der geschätzten Randmittel von Pelvic Incidence mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.
- Abb. 34: Boxplots zu Pelvic Tilt und der Frakturmorphologie.
- Abb. 35: Diagramm der geschätzten Randmittel von Pelvic Tilt mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.
- Abb. 36: Boxplots zu Sacral Slope und der Frakturmorphologie.
- Abb. 37: Diagramm der geschätzten Randmittel von Sacral Slope mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.
- Abb. 38: Boxplots zu S1-Winkel und der Frakturmorphologie.
- Abb. 39: Diagramm der geschätzten Randmittel des S1-Winkels mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.
- Abb. 40: Q-Q-Diagramm von Pelvic Incidence und Frakturmorphologie

Lendenwirbelfraktur.

- Abb. 41: Q-Q-Diagramm von Pelvic Incidence und Frakturmorphologie
Beckenringfraktur.
- Abb. 42: Q-Q-Diagramm von Pelvic Tilt und Frakturmorphologie
Lendenwirbelfraktur.
- Abb. 43: Q-Q-Diagramm von Pelvic Tilt und Frakturmorphologie
Beckenringfraktur.
- Abb. 44: Q-Q-Diagramm von Sacral Slope und der Frakturmorphologie
Lendenwirbelfraktur.
- Abb. 45: Q-Q-Diagramm von Sacral Slope und der Frakturmorphologie
Lendenwirbelfraktur.
- Abb. 46: Q-Q-Diagramm von S1-Winkel und der Frakturmorphologie
Lendenwirbelfraktur.
- Abb. 47: Q-Q-Diagramm von S1-Winkel und der Frakturmorphologie
Beckenringfraktur.

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Ergebnisse der Studie von D. Kim et al. (2015) zu Wirbelfrakturen.
- Tab. 2: Altersverteilung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.
- Tab. 3: Prozentuales Auftreten der FFP-Hauptgruppen.
- Tab. 4: Geschlecht - FFP-Klassifikation Kreuztabelle (Prozentual).
- Tab. 5: Geschlecht - FFP-Klassifikation Kreuztabelle (Absolut).
- Tab. 6: Mittelwerte der spinopelvinen Parameter der einzelnen Klassifikationsstufen.
- Tab. 7: Einfaktorielle ANOVA zu pelvinen Parametern und FFP - Klassifikation.
- Tab. 8: Mittelwerte der spinopelvinen Parameter nach Frakturmorphologie und Geschlecht.
- Tab. 9: Mittelwerte der spinopelvinen Parameter nach Geschlecht und Frakturmorphologie.
- Tab. 10: Kreuztabelle der Mittelwerte von Pelvic Incidence nach der Frakturmorphologie.
- Tab. 11: Univariate Varianzanalyse von Pelvic Incidence mit dem Geschlecht und der Frakturmorphologie.
- Tab. 12: Kreuztabelle der Mittelwerte von Pelvic Tilt nach der Frakturmorphologie.
- Tab. 13: Univariate Varianzanalyse von Pelvic Tilt mit dem Geschlecht und der Frakturmorphologie.

- Tab. 14: Kreuztabelle der Mittelwerte von Sacral Slope nach der Frakturmorphologie.
- Tab. 15: Univariate Varianzanalyse von Sacral Slope mit dem Geschlecht und der Frakturmorphologie.
- Tab. 16: Kreuztabelle der Mittelwerte des S1-Winkels nach der Frakturmorphologie.
- Tab. 17: Univariate Varianzanalyse des S1-Winkels mit dem Geschlecht und der Frakturmorphologie.
- Tab. 18: Übersicht der Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse der einzelnen spinopelvinen Parametern.
- Tab. 19: Vergleich der Studien von Rommens et Hofmann und Falko v. Haaren.
- Tab. 20: Prüfung der Werte von Pelvic Incidence der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung.
- Tab. 21: Prüfung der Werte von Pelvic Incidence der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung.
- Tab. 22: Prüfung der Werte von Pelvic Tilt der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung.
- Tab. 23: Prüfung der Werte von Pelvic Tilt der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung.
- Tab. 24: Prüfung der Werte von Sacral Slope der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung.
- Tab. 25: Prüfung der Werte von Sacral Slope der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung.

Tab. 26: Prüfung der Werte des S1-Winkels der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung.

Tab. 27: Prüfung der Werte des S1-Winkels der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
C7	7. Halswirbel
CT	Computertomografie
FFP	Fragility Fracture of the Pelvis
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problem (Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme)
LL	Lumbale Lordose
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomografie
PI	Pelvic Incidence
PT	Pelvic Tilt
S1, 2	1., 2. Coccygealwirbel
SPT	Sagital Pelvic Thickness
SS	Sacral Slope
Tab.	Tabelle

1. Einleitung

Der demografische Wandel bestimmt im erheblichen das zukünftige Bild der Medizin. Im Jahre 2050 werden ein Drittel der Deutschen älter als 60 Jahre sein (1), weltweit werden es laut Schätzungen der Vereinten Nationen mehr als 2 Milliarden Menschen sein (2).

Die erhöhte Aktivität und Mobilität älterer Menschen führt vermehrt zu Stürzen mit Frakturfolge. Begünstigt wird dies durch Erkrankungen wie beispielsweise die Osteoporose (3). Schon heute entfallen 75% aller Frakturen im Lendenwirbel- und Beckenbereich bei Frauen im Alter von 65 - 74 Jahren auf die Osteoporose; bei Männern sind es 65% (4). Erst seit Kurzem werden im Rahmen von neugeschaffenen Klassifikationen die Ursachen von Frakturen detaillierter beschrieben. So sind zum Beispiel Beckenfrakturen bei jungen, gesunden Menschen oft ein Resultat von hochenergetischen Traumen wie Autounfällen oder Stürzen aus großer Höhe. Um den stärksten osteoligamentären Verbund des menschlichen Körpers zu zerstören, sind Kräfte von 2000 – 10000 Newton (5) nötig. Lebensbedrohliche Gefäß- und Organverletzungen sind typische Begleiterscheinungen (6).

Ganz anders verhält es sich bei Beckenringfrakturen älterer Menschen (> 65 Jahre), welche oftmals durch die Summation mehrerer Mikrotraumen entstehen. Zumeist sind keine lebensgefährlichen Begleitverletzungen vorhanden und der Bandapparat des Beckens ist intakt. Eine präzise Therapieentscheidung anhand der vorhandenen Klassifikationen für Beckenringfrakturen ist nicht möglich und macht deshalb eine gesonderte Klassifizierung von osteoporotischen Frakturen des Beckenrings nötig (6).

Rommens et Hofmann entwickelten 2013 die sogenannte FFP („*fragility fracture of the pelvis*“) -Klassifikation für den Beckenring. Diese hat zum Ziel, schnelle und exakte Therapieentscheidungen mit Berücksichtigung des multimorbiden Zustandes des Patienten zu treffen. Die Klassifikation ist durch die vorangehende Abkürzung FFP gekennzeichnet (7).

Innerhalb des Behandlungsprotokolls für Beckenringfrakturen ist die radiologische Diagnostik ein wichtiges Hilfsmittel. So werden

Übersichtsaufnahmen mit anteroposteriorem Strahlengang, lateralem Strahlengang und / oder computertomografische Aufnahmen angefertigt (8). Diese ermöglichen neben der Frakturdiagnostik auch eine Bewertung des spinopelvinen Übergangs. Dazu werden Anteile der sakralen Wirbelsäule, des Beckens und der Hüftgelenke vermessen und in Bezug zueinander gesetzt. Schlussendlich resultiert daraus eine präzise räumliche Beschreibung wie Becken und Wirbelsäule zueinander in der sagittalen Ebene orientiert sind. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf mögliche Fehlhaltungen und eine Überprüfung der sog. sagittalen Balance (9).

Dubousset definierte 1998 die spinale Balance als die optimale Ausrichtung der Wirbelsäule in allen drei Ebenen (koronar, sagittal, axial) bei einem Minimum an aufzuwendender Muskelkraft, um diese Position zu halten. Das Becken dient als Verbindungsglied und zugleich Stellungsregler zu den unteren Extremitäten (10).

Laut Definition der Scoliosis Research Society ist die sagittale Balance dann vorhanden, sofern ein proportionales Verhältnis zwischen Halslordose, Brustkyphose und Lendenlordose besteht und zusätzlich das Lot ausgehend von C7 (siehe Kapitel 1.7) ± 2 cm um das Promotorium fällt.

Um die Qualität der sagittalen Balance numerisch zu erfassen, wurden anatomische Fixpunkte festgelegt und geometrisch ausgewertet. Hierzu gehören der Pelvic Incidence, Pelvic Tilt und der Sacral Slope (siehe Kapitel 1.6) (11). So wurde beispielsweise festgestellt, dass sich eine Abflachung der lumbalen Lordose direkt auf die Neigung des Beckens auswirkt. Somit dient das Becken als kompensatorisches Stellelement, um eine möglichst energieeffiziente aufrechte Haltung zu wahren (9, 12).

1.1 Die Wirbelsäule

1.1.1 Anatomie der knöchernen Wirbelsäule

Die Wirbelsäule, *Columna vertebralis*, bildet in der Frontalebene die skelettale Mitte des Körpers. Gebildet wird diese durch den Zusammenschluss von 7 Halswirbeln (*Vertebrae cervicales*), 12 Brustwirbeln (*Vertebrae thoracicae*) und 5 Lendenwirbeln (*Vertebrae lumbales*), welche über die Bandscheiben, den Bandapparat und die Rückenmuskulatur verbunden sind. In der Sagittalebene beschreibt die Wirbelsäule eine doppelte S-Form gebildet aus der Zervikallordose, Thorakalkyphose, Lumballordose und Sakralkyphose. Diese Konstitution erfüllt optimal statische und dynamische Funktionen. Der 5. Lendenwirbel steht mit dem Kreuzbein (*Os sacrum*) in Verbindung, welches ursprünglich aus fünf selbständigen Wirbeln besteht und nach der Geburt zu einem einheitlichen Knochen ossifiziert. Daran schließt sich kaudal das Steißbein (*Os coccygis*) bestehend aus drei bis vier Wirbelrudimenten (13, 14).

1.1.2 Anatomie der lumbalen Wirbelsäule

Bis auf den 1. und 2. Halswirbel folgen alle Wirbelkörper einem grundlegenden Aufbau. Sie bestehen aus einem Wirbelkörper (*Corpus vertebrae*) woran sich der Wirbelbogen (*Arcus vertebrae*) anschließt. An beide Seiten des Wirbelbogens schließen sich die Querfortsätze (*Processus transversi* bzw. *costales*) und vier Gelenkfortsätze (*Processus articulares*) an. An der Spitze des Bogens befindet sich der Dornfortsatz (*Processus spinosus*).

Die lumbalen Wirbelkörper unterscheiden sich leicht in Form und Größe. So ist der Wirbelkörper auf Grund des erhöhten Körpergewichtes größer ausgebildet. Die Querfortsätze stellen entwicklungsgeschichtliche Rippenrudimente dar und unterscheiden sich von denen der Hals- und Brustwirbel. Man bezeichnet sie deshalb als *Processus costales*. Auch der Wirbelbogen und die Gelenkfortsätze sind vergrößert (14).

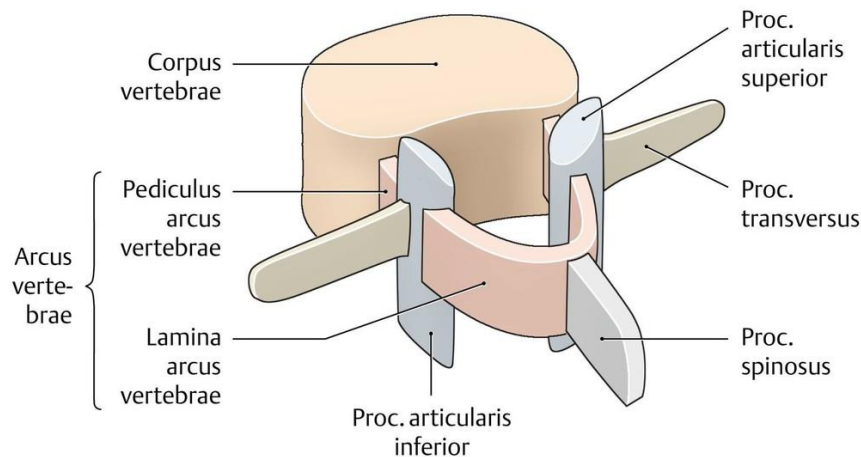


Abb. 2: Schematische Darstellung des Aufbaus eines Wirbelkörpers (14).

1.1.3 Wirbelfrakturen

Die Hauptursache für Wirbelfrakturen sind hochenergetische Traumen wie z. B. Stürze aus großer Höhe (39%) und Verkehrsunfälle (26,5%). Am häufigsten (ca. 50%) liegt eine Fraktur der Lendenwirbelsäule vor. Die Patienten sind durchschnittlich ca. 44 Jahre alt und zu zwei Drittel vom männlichen Geschlecht. Die Altersverteilung der männlichen Patienten erweist einen Peak zwischen 20 und 50 Jahren, im Gegensatz zu den Frauen mit zwei Peaks bei 20-30 Jahren und 50-70 Jahren. Ein Grund ist die höhere Inzidenz von Osteoporose beim weiblichen Geschlecht, welche zu sog. „osteoporotischen Sinterungsfrakturen“ im höheren Alter führt (15).

Man unterscheidet Kompressions-, Distraktions- und Torsionsverletzungen. Besonders die lumbale Wirbelsäule ist von Kompressionsverletzungen betroffen (15).

1.2 Das Becken

1.2.1 Anatomie des knöchernen Beckens

Der Beckenring oder auch Beckengürtel (Cingulum membri pelvini) besteht aus den zwei Hüftbeinen (Ossa coxae) und dem Kreuzbein (Os sacrum). Das Os coxa wiederum entsteht durch die Verwachsung dreier Knochen. Den cranialen Anteil bildet das Os ilium, dorso-caudal das Os ischii und ventral das Os pubis.

Der anteriore Teil des Beckenrings wird durch den Zusammenschluss der Ossa pubis über die knorpelige Synarthrose Symphysis pubica gebildet. Im posterioren Teil wird die Ringstruktur durch das Os sacrum komplettiert und bildet mit den Ossa ilii das rechte und das linke Iliosakralgelenk (14).

Das Os sacrum ist der Ort der Kraftübertragung des Gewichts von Oberkörper auf Unterkörper. Die Hüftgelenke (Articulatio coxae), bestehend aus der pelvinen Hüftpfanne (Acetabulum) und dem femoralen Hüftkopf (Caput femoris), leiten diese Kraft weiter auf die unteren Extremitäten (13). Draijer F. (1998) beschreibt die zentrale Rolle des Beckens als „Organ“, welches als Krafttransformator agiert und stabilisierende Gleichgewichtsfunktionen übernimmt (16).

1.2.2 Geschlechtsspezifische Merkmale des knöchernen Beckenrings

Das knöcherne Becken unterscheidet sich geschlechtsspezifisch deutlich. So ist das weibliche Becken breiter und ausladender als das männliche. Diese anatomische Begebenheit resultiert aus einer größeren Beckeneingangsebene, welche für den Geburtsvorgang entscheidend ist. Beim männlichen Becken wird die Beckeneingangsebene durch das Promontorium ossis sacri eingeeengt. Das Os sacrum der Frau weist an dieser Stelle einen Knick auf, sodass der Durchmesser der Beckeneingangsebene nicht verkleinert wird und eine rundliche Form erhalten bleibt (13, 14, 17).

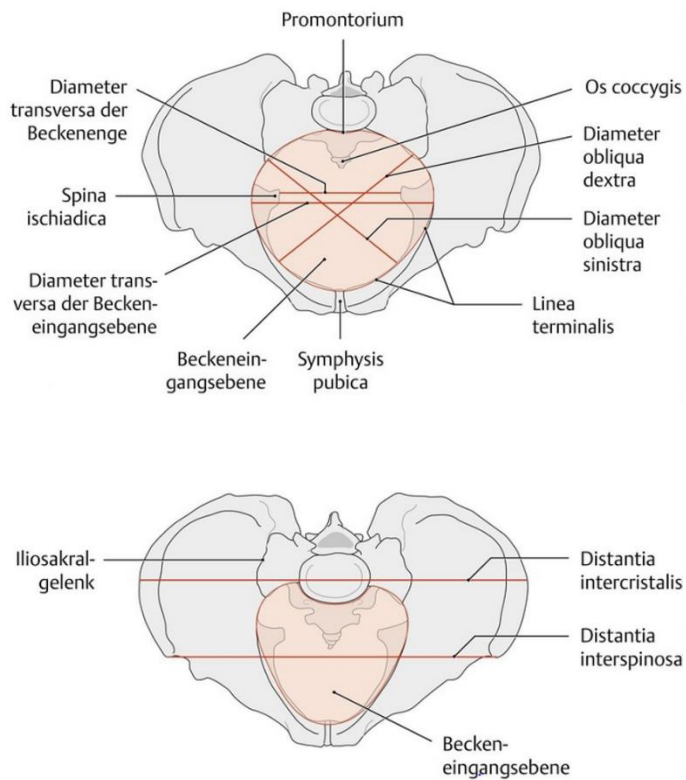


Abb.3 (18) zeigt im oberen Teil ein weibliches Becken und im unteren Teil ein männliches Becken in der Transversalebene von oben.

Eine Folge dessen ist, dass das Sakrum in der sagittalen Ebene bei Frauen eine stärkere Krümmung ($122,4^\circ$) als bei Männern (115°) aufweist (17).

Einen klaren geschlechtsspezifischen Unterschied der Lage und Angulierung des ersten sakralen Wirbelkörpers in sagittaler Ebene (und somit der Pelvic Incidence) konnte nicht bewiesen werden, da verschiedene Studien zu gegensätzlichen Ergebnissen kommen (12, 19).

1.3 Beckenringfrakturen

1.3.1 Ätiologie von Beckenringfrakturen

Um einen Beckenring bei jungen Patienten zu sprengen sind Kräfte von ca. 2.000 – 10.000 Newton nötig (5). Somit ist der Beckenring die stabilste osteoligamentäre Struktur des menschlichen Körpers und kann bei jungen Patienten nur im Rahmen von Hochenergietraumen, wie beispielsweise Verkehrsunfällen oder Stürzen aus großer Höhe, zerstört werden (6).

Ältere Patienten sind auf Grund von Erkrankungen welche die Knochendichte verringern, wie beispielsweise Osteoporose, häufig betroffen. Ein niederenergetisches Trauma wie ein Sturz aus dem Stand oder von einem Stuhl sind oft ausreichend um eine Fraktur hervorzurufen (20, 21). In vielen Fällen ist das Os ischium oder Os pubis betroffen (22).

1.3.2 Epidemiologie

Beckenringfrakturen machen ca. 3-5% aller Skelettfrakturen aus und sind damit relativ selten (23). Untersucht man jedoch polytraumatisierte Patienten so stellt man in 20 – 25 % der Fälle eine Beckenringfraktur fest (24).

Epidemiologisch ergeben sich zwei Altersgipfel die sich in Unfallmechanismus und Verletzungsschwere stark unterscheiden. Der erste Altersgipfel wird durch 20 – 40jährige Männer (64 %) gebildet, die bei Hochenergietraumen schwer verletzt werden (22). Nach Gänsslen et al. (1996) ist die Hauptursache für Beckenringverletzungen Unfälle im Straßenverkehr (59,7 %) (25).

Die zweithäufigste Unfallursache mit ca. 25% sind Stürze aus großer Höhe gefolgt von Quetschtraumen durch Überrollen mit 10% (25, 26). In 80% der Fälle sind Begleitverletzungen wie Schädel-Hirn- und Thoraxtraumata vorzufinden. 10% weisen zusätzlich Weichteilverletzungen auf, was die Letalität um bis zu 20% steigert (27, 28).

Der zweite Altersgipfel liegt zwischen 70 und 90 Jahren und betrifft hauptsächlich Frauen (80 %) (22), die durch Stürze aus dem Stand Frakturen an Os pubis oder Os ischium erleiden (20-22). Durch die CT-Diagnostik werden oft zusätzlich Frakturen im ventralen Bereich der Alae sacralis, sogenannte „Sakrumimpressionsfrakturen“ gefunden, welche aus dem seitlichen Sturz auf die Hüfte resultieren und ein Ausdruck der Innenrotationsbewegung der Beckenschaufeln ist (8). Hauptursache der Fraktur ist die erhöhte Knochenfragilität durch Osteoporose (29).

Kinder (<14 Jahre) sind nur selten von Beckenringfrakturen betroffen. Die Elastizität des kindlichen Beckens erfordert eine hohe Energieeinwirkung mit hohen Rückstellkräften um eine Fraktur zu provozieren (30, 31).

1.3.3 Verletzungsmechanismus

Die Frakturmorphologie ist abhängig von der Richtung der wirkenden Kraftvektoren. M. Tile unterscheidet drei Verletzungsmechanismen.

Außenrotation der Beckenhälften

Direkte Krafteinwirkung auf die Spinae iliacae posteriores oder sehr starke Außenrotation der Beine führt zur Sprengung der Symphysis pubica und zur sogenannten „open-book“-Fraktur, bei der beide oder eine Beckenhälfte nach außen rotiert ist (32).

Innenrotation der Beckenhälften

Direkte von lateral kommende Krafteinwirkung auf den Beckenkamm oder indirekte Krafteinwirkung über den Femurkopf führt zur Innenrotation der betroffenen Beckenhälfte. Dadurch kommt es zu Kompressionsverletzungen des hinteren Beckenrings und Frakturen auf der ipsi- oder kontralateralen Seite des vorderen Beckenrings (32).

Vertikale Scherkräfte

Durch vertikale Scherkräfte werden deutliche Dislokationen der knöchernen Struktur, sowie Verletzungen der Weichteile verursacht. So kann es bis zu einer

Hemipelvektomie kommen (32), was das Abreisen einer Beckenhälfte einschließlich großer Nervenfasern und Gefäße impliziert (33).

Cosker et al. untersuchte 2005 50 Patienten mittels MRT-Aufnahmen und konnte beweisen, dass in 95% der Fälle keine isolierten Frakturen am vorderen Beckenring vorlagen, sondern mit Frakturen des Sakrums einhergingen (34). Auch andere Studien konnten dies bestätigen (35, 36).

1.3.4 Verletzungsformen bei älteren Patienten

Die häufigste Verletzungsursache im Alter sind Stürze auf die Seite. Daraus resultieren Sitz- und Schambeinfrakturen einhergehend mit Frakturen der Massa lateralis des Sakrums. Seltener kommt es zu einer Frakturluxation des Iliosakralgelenks mit Fortlaufen des Frakturspalts durch das dorsale Ilium (sog. Crescent Fraktur oder LC2 nach der Klassifikation von Young & Burgess).

Beim Sturz auf das Gesäß kommt es zur vertikalen Krafteinwirkung der lumbalen Wirbelsäule auf die Wirbel S1 und S2. Die Intensität und Frequenz der einwirkenden Kraft bestimmt das Ausmaß der Verletzung. Diese kann von Fissuren der Massa lateralis von S1 und S2 bis zum kompletten Herauslösen von S1 und S2 aus der spongiösen Struktur des Sakrums durch die Kombination von vertikalen und horizontalen Frakturen führen. Bei jungen Patienten wird diese Fraktur auch „Suicide Jumper's Fracture“ genannt.

Im Gegensatz zu jungen Patienten entstehen Beckenringfrakturen bei älteren Patienten oft schleichend durch repetitive Ereignisse, welche in einer Instabilität des hinteren Beckenrings münden. Zudem bleibt der gesamte Bandapparat oft intakt (6).

1.4 Klassifikationen für Beckenringfrakturen

1.4.1 Die AO-Klassifikation

Grundlage der gegenwärtig allgemein akzeptierten AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) bildet die Arbeit von Marvin Tile 1980. Dieser wertete radiologische Befunde und Krankheitsverläufe mehrerer hundert Patienten aus und erstellte eine Klassifikation, welche die Richtung der einwirkenden Kraft und auch den daraus resultierenden Grad der Instabilität berücksichtigt (32).

Die AO-Klassifikation beschreibt des Weiteren Aussagen zur Frakturmorphologie und fasst das gesamte Ausmaß der Verletzung in einen alphanumerischen Code zusammen. So lässt sich jede Art von Beckenringfraktur exakt klassifizieren.

Die drei Hauptgruppen A, B und C geben Auskunft hinsichtlich der Stabilität des Beckenrings und geben einen ersten Anhaltspunkt für die Therapie.

Die AO-Klassifikation für Beckenringfrakturen gliedert sich wie folgt:

1. Typ-A-Frakturen

Die Typ-A-Frakturen beeinträchtigen nicht die Stabilität des dorsalen Beckenrings, somit ist die Kraftübertragung von der Wirbelsäule über die Iliosakralgelenke auf beide Beine uneingeschränkt möglich. Es handelt sich um eine **rotatorisch und vertikal stabile Fraktur** (3, 23).

Beispiele hierfür sind:

- A1-Fraktur:
Abrissfrakturen vom Beckenrand (Spina iliaca anterior superior / inferior oder Tuber ischiadicum)
- A2-Frakturen:
Frakturen der Beckenschaufeln und Schambeinäste
- A3-Frakturen:
Sakrumquerfrakturen distal der Iliosakralfuge

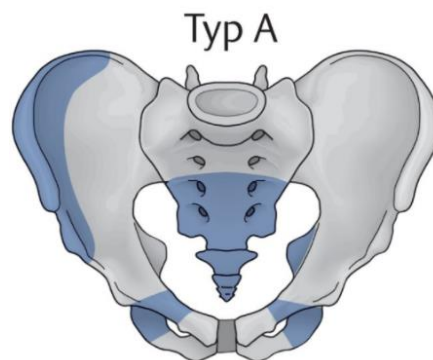


Abb. 4: Lokalisationen einer Typ-A-Fraktur (blaue Flächen) (37).

Besonders ältere Patienten (>65 Jahre) sind von diesem Frakturtyp betroffen (52,8 %), was die Arbeitsgemeinschaft Becken I-III durch Patientendaten aus den Jahren 1991-2006 aufzeigte.

2. Typ-B-Frakturen

Die Typ-B-Frakturen weisen eine unvollständige Unterbrechung des dorsalen Beckenrings und eine vollständige Unterbrechung des ventralen Beckenrings auf. Dadurch kann es zu einer Rotation in der Sagittal- und Transversalebene kommen. Es liegt eine **partielle rotatorische Instabilität und vertikale Stabilität** vor.

Auch hierfür werden weitere Unterscheidungen kategorisiert:

- B1-Frakturen
Außenrotationsverletzungen
- B2-Frakturen
Innenrotationsverletzungen
- B3-Frakturen
Bilaterale B-Fraktur

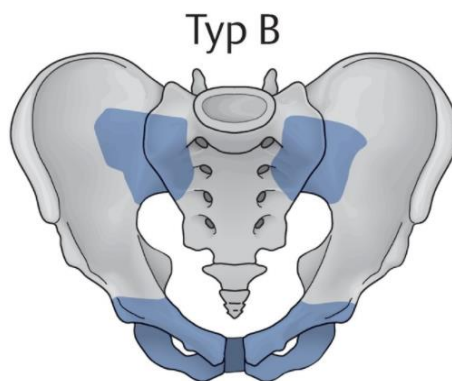


Abb. 5: Lokalisationen einer Typ-B-Fraktur (blaue Flächen) (37).

3. Typ-C-Frakturen

Die Typ-C-Frakturen zeichnen sich durch eine komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes aus, wodurch Translationsbewegungen des Fragments möglich werden. Es liegt eine **rotatorische und vertikale Instabilität** vor. Diese Verletzungen sind Folgen von hochenergetischen Traumen und betreffen vermehrt männliche Patienten im Alter zwischen 16 – 35 Jahren (Ergebnisse einer multizentrischen Studie der DGU).

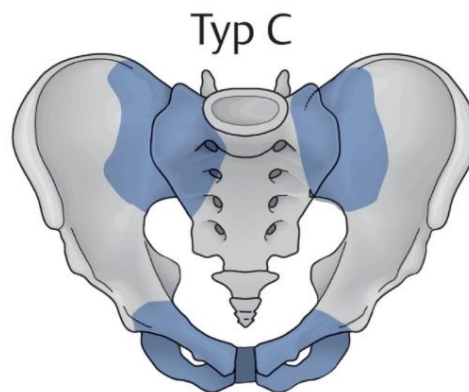


Abb. 6: Lokalisationen einer Typ-C-Fraktur (blaue Flächen) (37).

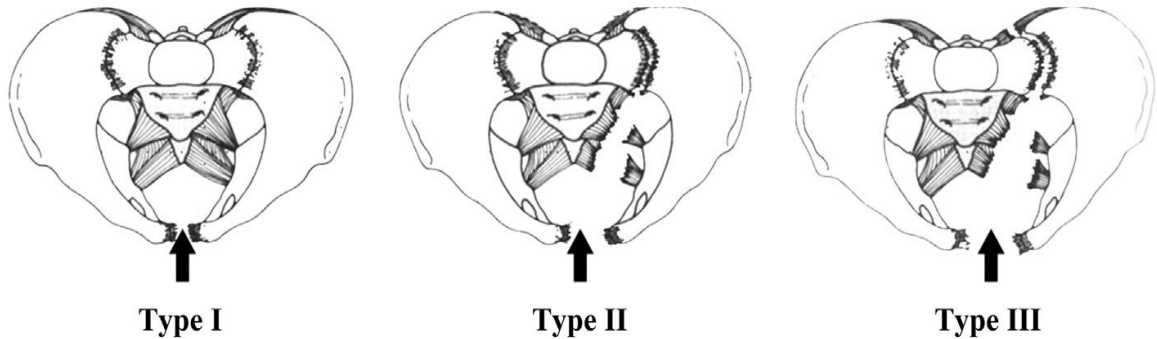
1.4.2 Klassifikation nach Young und Burgess

Die Klassifikation von Beckenringfrakturen nach Young und Burgess stellt eine Modifikation der Sutherland und Pennal Klassifikation (38) aus dem Jahre 1961 dar und nimmt die Korrelation zwischen Richtung des einwirkenden Kraftvektors und der Frakturmorphologie als Einteilungsgrundlage.

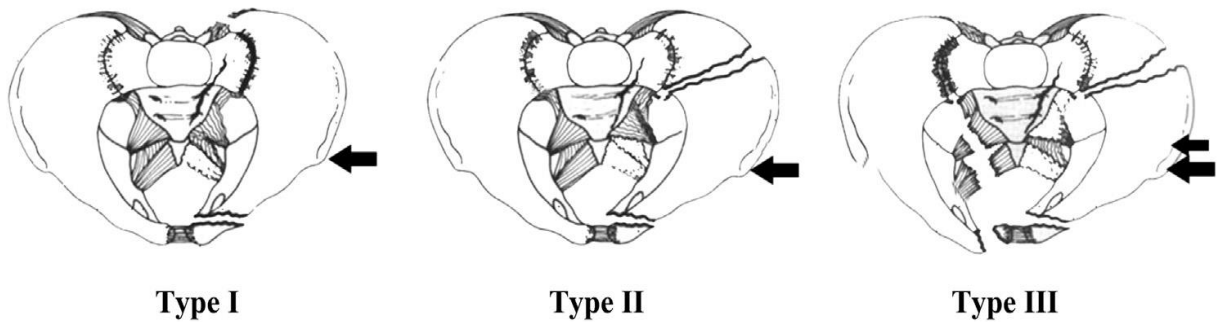
So wurden die ursprünglichen drei Hauptgruppen (anteriore Kompression, laterale Kompression, vertikale Scherverletzungen) um eine vierte Hauptgruppe - die sog. „kombinierten Frakturen“ - erweitert. Diese ermöglicht die Beschreibung von Pathologien, welche durch Kraftvektoren aus multiplen

Richtungen hervorgerufen werden. Die Schwere der Verletzung kann durch mehrere Subgruppen erfasst werden.

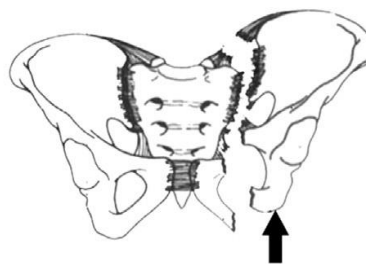
Anteroposterior compression (APC)



Lateral compression (LC)



Vertical shear (VS)



Combined mechanism injury (CMI)

Abb. 7 zeigt die unterschiedlichen Kraftvektoren, die daraus resultierenden Verletzungen und die Einteilung nach der Young und Burgess Klassifikation (7).

1.4.3 Klassifikation für Sakrumfrakturen

Die aktuell angewandte Klassifikation von Sakrumfrakturen ist Resultat der Untersuchungen von Denis et al. aus dem Jahre 1988 (39). Die Studie zeigt, dass die Lokalisation der Fraktur stark mit den neurologischen Ausfallerscheinungen wie beispielsweise Blasen- oder Spinkterdysfunktion korreliert und anhand dessen eine Klassifizierung möglich ist (39). So wird das Sakrum in eine transalare, transforaminale und zentrale Zone eingeteilt. Transforaminale Sakrumfrakturen werden im Gegensatz zu transalaren und zentralen Sakrumfrakturen öfter von Instabilität und neurologischen Ausfällen begleitet (39).

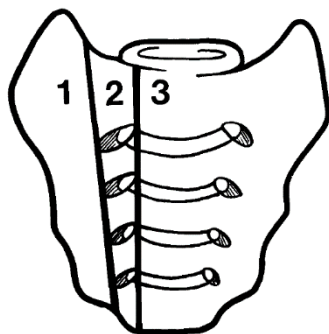


Abb. 8: Frakturzonen des Os sacrum nach Denis et al. (39).

1 = transalare Zone

2 = transforaminale Zone

3 = zentrale Zone

1.5 Klassifikation von Fragilitätsfrakturen des Beckenrings

Eine Folge des demografischen Wandels ist die Zunahme von Fragilitätsfrakturen (40). Am häufigsten betroffen sind Hüfte, lumbale Wirbelsäule und Becken (20). Viele der Patienten weisen Allgemeinerkrankungen auf, welche eine Verminderung der Knochendichte zur Folge haben, wie z. B. die Osteoporose, Vitamin D Mangel (41), vorangegangene Bestrahlung im Beckenbereich (42) oder Immobilität (43). Nach Morris et al. weisen 93 % der Patienten mit Beckenringfrakturen und einem Alter über 65 Jahren eine höhergradige Osteoporose auf (44).

Der Großteil dieser sogenannten Insuffizienzfrakturen des Beckenrings beruhen auf niederenergetischen Traumen wie der Sturz von einem Stuhl oder aus dem Stand (45). Jedoch ist oftmals der eigentliche Unfallhergang nicht mehr erinnerlich. Manche Patienten können sogar noch kurze Wegstrecken mit Hilfsmitteln zurücklegen.

Somit sind beide Frakturtypen schon auf Grund des Unfallhergangs nicht zu vergleichen. Bei älteren Patienten spricht man von osteoporotischen -, Ermüdungs- oder Insuffizienzfrakturen, sofern die Verletzung durch niederenergetische Vorfälle verursacht wurde. Rommens und Hofmann empfahlen 2013 Frakturen, welche aus einer erniedrigten Knochendichte resultieren, unter dem Begriff „Fragilitätsfraktur“ zusammenzufassen (7). Diese Begrifflichkeit spiegelt den Frakturgrund optimal wider.

Im Alter verschiebt sich die Relation von Knochenstabilität und Bandstabilität zugunsten der Bänder. Schon bei geringer Energieeinwirkung bricht der osteoporotische Knochen, welcher jedoch vom umliegenden Bandapparat stabilisiert werden kann (46). Durch diesen Effekt sind die geringeren Instabilitätsausmaße bei älteren Patienten zu erklären, auch wenn der dorsale Beckenring betroffen ist. Translations- und Rotationsinstabilitäten, welche die Grundlage für die Beckenfraktur-Klassifikation nach M. Tile und Young und A. Burgess (47) bilden, spielen eine untergeordnete Rolle und beschreiben das Ausmaß der Verletzung des niederenergetischen Traumas unzureichend.

Demzufolge ergibt sich die Notwendigkeit einer spezifizierten Klassifikation für Fragilitätsfrakturen des Beckenrings.

Rommens und Hofmann untersuchten 245 Patienten in einer retrospektiven Studie, welche älter als 65 Jahre waren, zwischen 2007 und 2012 vorstellig wurden und eine niederenergetische Beckenringfraktur aufwiesen. Dazu wurden computertomographische Datensätze analysiert (7). Ziel der Studie war die Schaffung eines einfachen und zugleich exakten Behandlungsprotokolls basierend auf einer spezifizierten Klassifikation für Fragilitätsfrakturen. Wichtigstes Einteilungskriterium und Grundlage der vier Hauptgruppen bildete der Grad der Instabilität. Subkategorien beschrieben die Lokalisation (7).

Zur Abgrenzung von den verschiedenen Klassifikationen von M. Tile oder Young und A. Burgess wird das Kürzel „FFP“ (*fragility fracture of the pelvis*) vor die Hauptkategorie gesetzt (7).

FFP I

Bei einer FFP I handelt es sich um eine isolierte Fraktur des vorderen Beckenrings, welche meist nur zu geringen Instabilitätseinbußen führt. Zumeist ist zusätzlich eine Läsion des hinteren Beckenrings wahrscheinlich, welche jedoch nicht mittels CT nachgewiesen werden kann (48).

FFP Ia) Unilaterale Frakturen der Pubis und/oder der Rami Ischii.

FFP Ib) Bilaterale Frakturen im Bereich des vorderen Beckenrings.

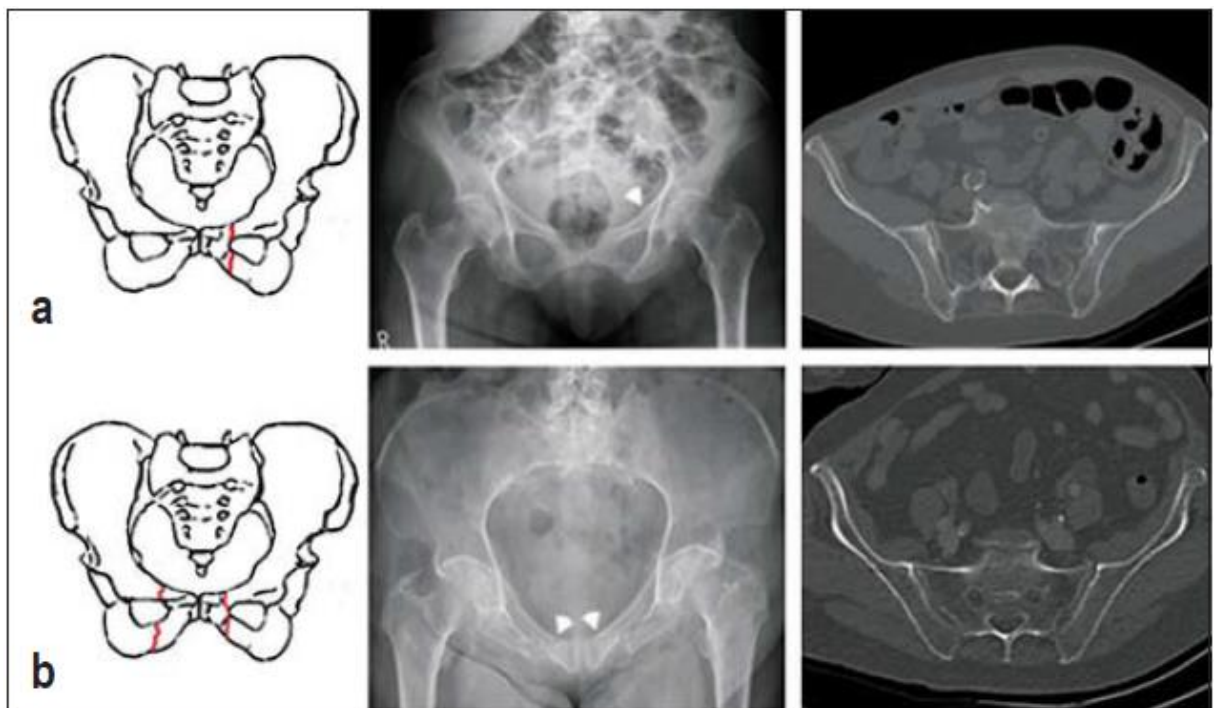


Abb. 9: Schematische Darstellung (links), Röntgenbilder des Beckens mit anterioposteriorem Strahlengang (mitte), computertomografische Bilder in koronaler Ebene (rechts) von FFP I a, b (49).

FFP II

Die FFP II sind charakterisiert durch unverschobene, unilaterale Frakturen des hinteren Beckenrings, bei der zusätzliche Läsionen des vorderen Beckenrings auftreten können.

- FFP IIa) Unilaterale, nicht dislozierte Fraktur des Sakrums.
- FFP IIb) Impression der Massa lateralis des Sakrums und nichtdislozierte Fraktur des vorderen Beckenrings.
- FFP IIc) Unverschobene Sakrumfraktur, iliosakrale oder Iliumfraktur mit vorderer Beckenringfraktur.

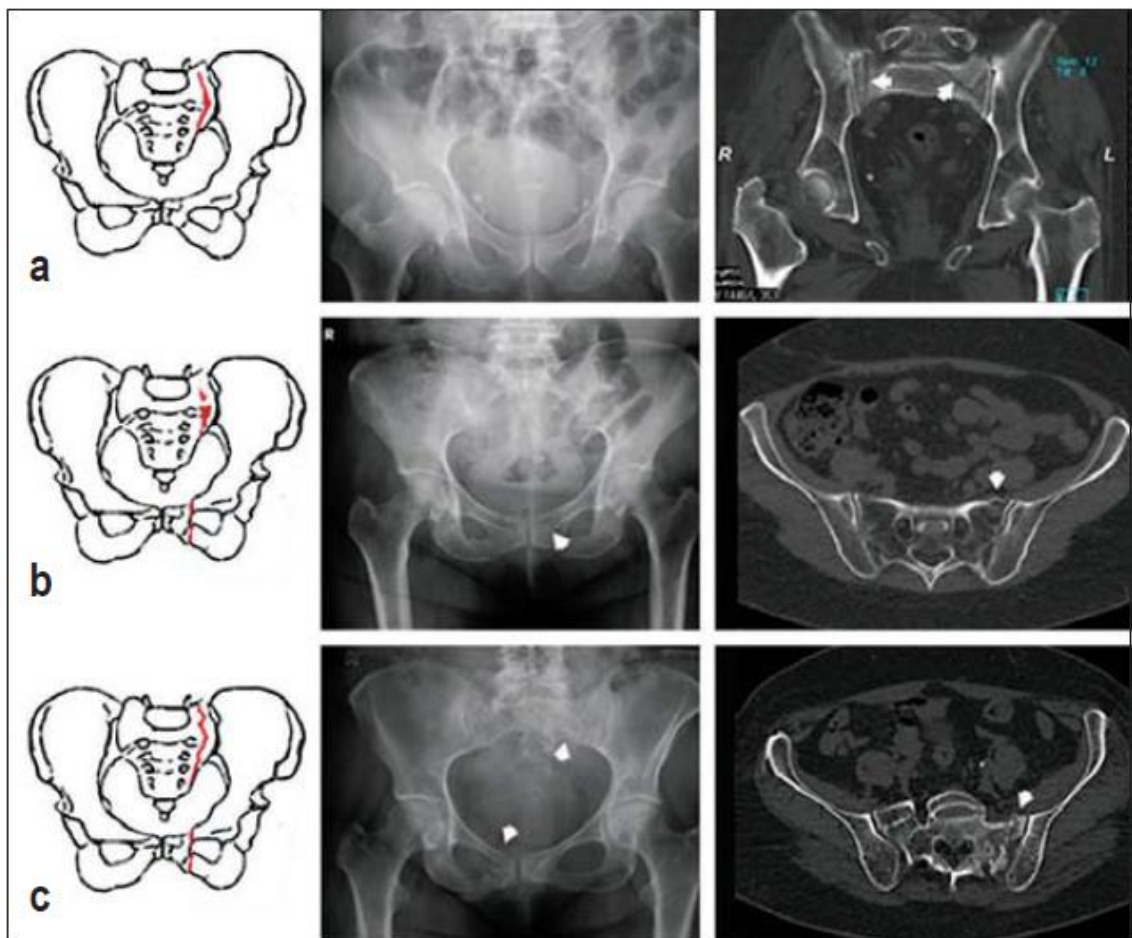


Abb. 10: Schematische Darstellung (links), Röntgenbilder des Beckens mit anterioposteriorem Strahlengang (mitte), computertomografische Bilder in koronaler Ebene (rechts) von FFP II a, b, c (49).

FFP III

FFP III sind dislozierte, unilaterale Frakturen des hinteren Beckenrings und Instabilitäten des vorderen Beckenrings. Sie zeichnen sich durch ein hohes Maß an Instabilität aus und werden nach der Lokalisation der Fraktur im hinteren Beckenring kategorisiert.

- FFP IIIa) Dislozierte, unilaterale Iliumfraktur mit Fraktur des vorderen Beckenrings.
- FFP IIIb) Dislozierte, unilaterale Iliosakralfraktur mit Fraktur des vorderen Beckenrings.
- FFP IIIc) Dislozierte, unilaterale Sakrumfraktur mit Fraktur des vorderen Beckenrings.

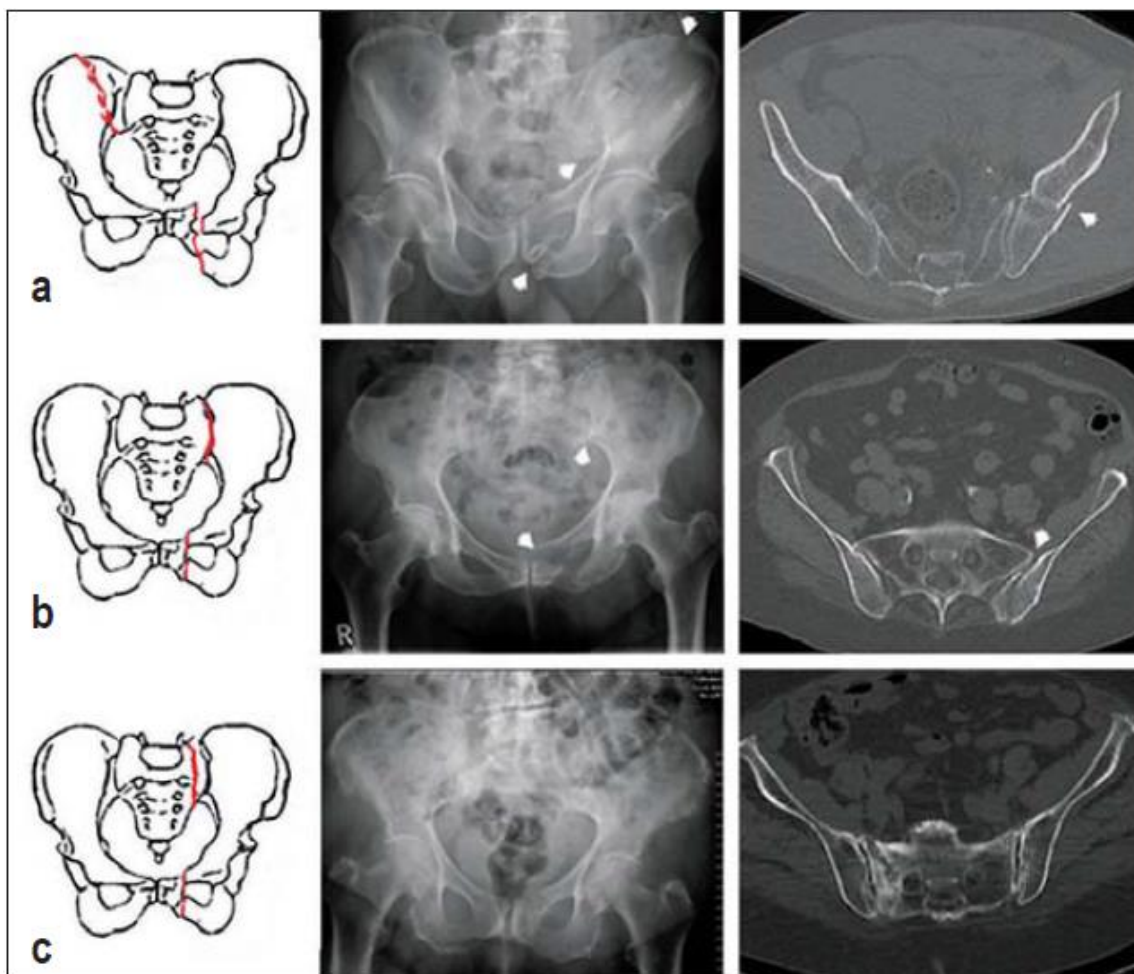


Abb. 11: Schematische Darstellung (links), Röntgenbilder des Beckens mit anteroposteriorem Strahlengang (mitte), computertomografische Bilder in koronaler Ebene (rechts) von FFP III a, b, c (49).

FFP IV

Charakteristisch für FFP IV sind die komplette Trennung der Wirbelsäule vom Beckenring. Dazu ist eine bilaterale Fraktur des dorsalen Beckenrings nötig.

FFP IV a) bilaterale Iliumfraktur

FFP IV b) bilaterale, vertikal und horizontal verlaufende Frakturen durch die Massa lateralis

FFP IV c) multiple, dislozierte Instabilitäten im dorsalen Beckenring

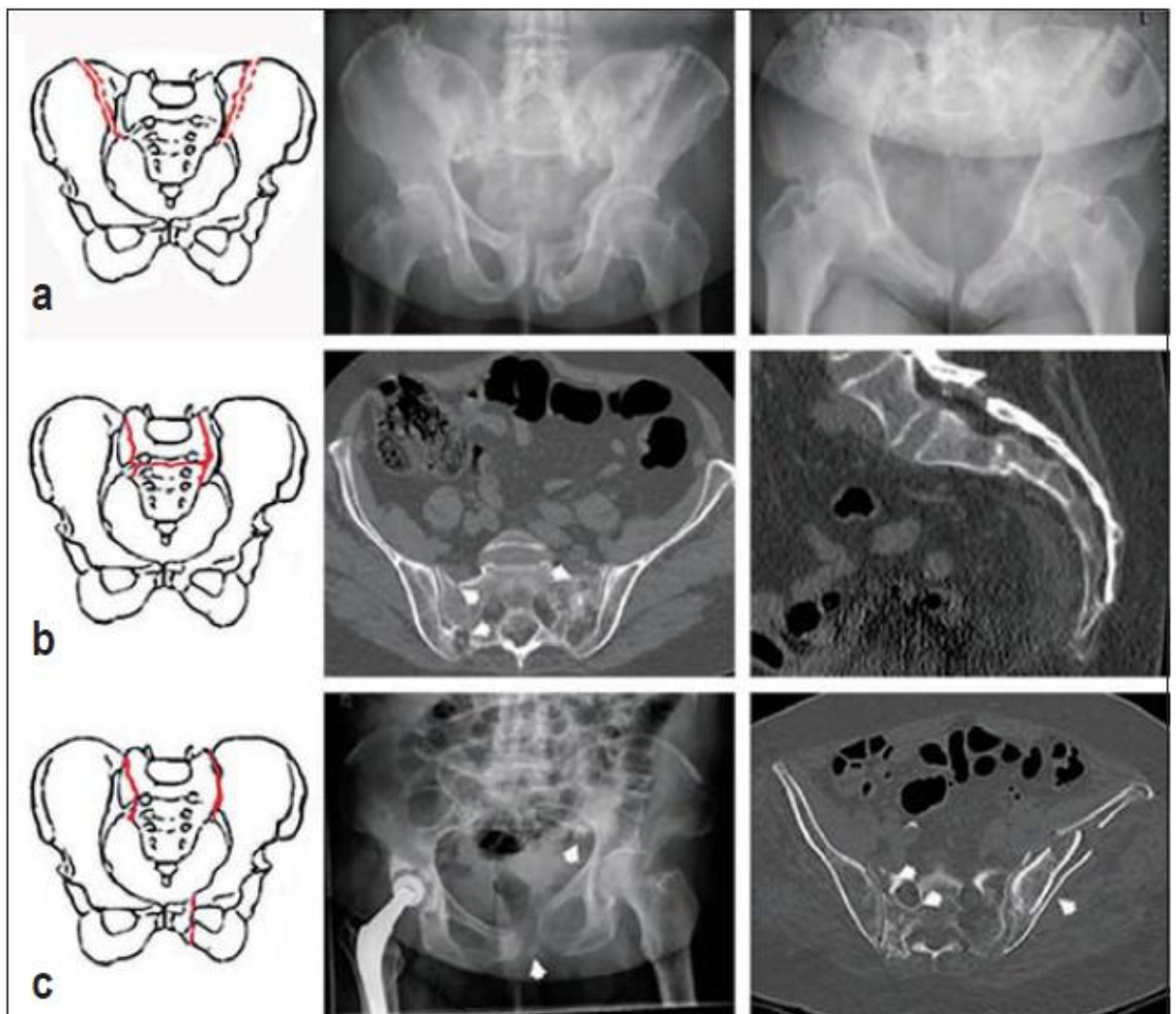


Abb. 12: Schematische Darstellung (links), Röntgenbilder des Beckens mit anteriorem posteriorem Strahlengang (mitte), computertomografische Bilder in koronaler Ebene (rechts) von FFP III a, b, c (49).

1.6 Die spinopelvinen Parameter

1.6.1 Grundlagen der spinopelvinen Parameter

Der Fortschritt der Radiologie in den 1970er Jahren ermöglichte es, Röntgenbilder der gesamten Wirbelsäule anzufertigen. Dadurch konnte die wechselseitige Beziehung zwischen Wirbelsäule und Becken genauer studiert werden.

Zunächst mussten jedoch ausdrucksstarke anatomisch-geometrische Parameter geschaffen werden, welche die physiologische Situation im gesunden Patienten genau definierten. Erst dann wurde es möglich, verschiedene Pathologien abzugrenzen und zu vergleichen (50).

In einer Studie von Daring et. al (1985) verglich man spinopelvine Parameter einer gesunden und einer an Rückenschmerzen leidenden Population. Hierfür wurden Röntgenbilder mit lateralem Strahlengang angefertigt, die den pelvisakralen Übergang zeigten (50).

Die bicoxofemorale Achse

Die bicoxofemorale Achse bildet das Zentrum der Beckenrotation (51) und ist definiert als die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Hüftköpfe. Diese kann mittels lateraler Röntgenaufnahmen oder CT Aufnahmen (52) ermittelt werden. Optimaler Weise überlagern sich die Zentren der Hüftköpfe exakt bei der lateralen Aufnahme. Meist jedoch ist eine Rekonstruktion notwendig, welche entweder an Hand der Acetabulae oder der Hüftköpfe selbst geschieht (siehe Kapitel 2.2.1).

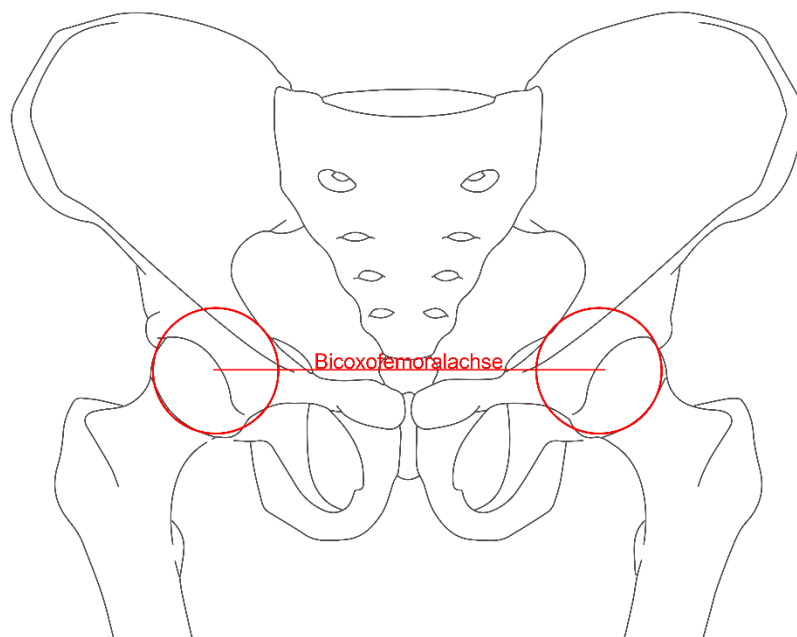


Abb. 13 zeigt die Konstruktion der Bicoxofemoralachse (rote Linie) in der frontalen Ebene.

Sagittal Pelvic Thickness

Thickness oder *sagittal pelvic thickness* (SPT) wird die Strecke bezeichnet zwischen dem Mittelpunkt der Bicoxofemoralachse und dem Mittelpunkt der Oberfläche von S1. Dieser Parameter bildet einen Schenkel des Winkels Pelvic Incidence (12).

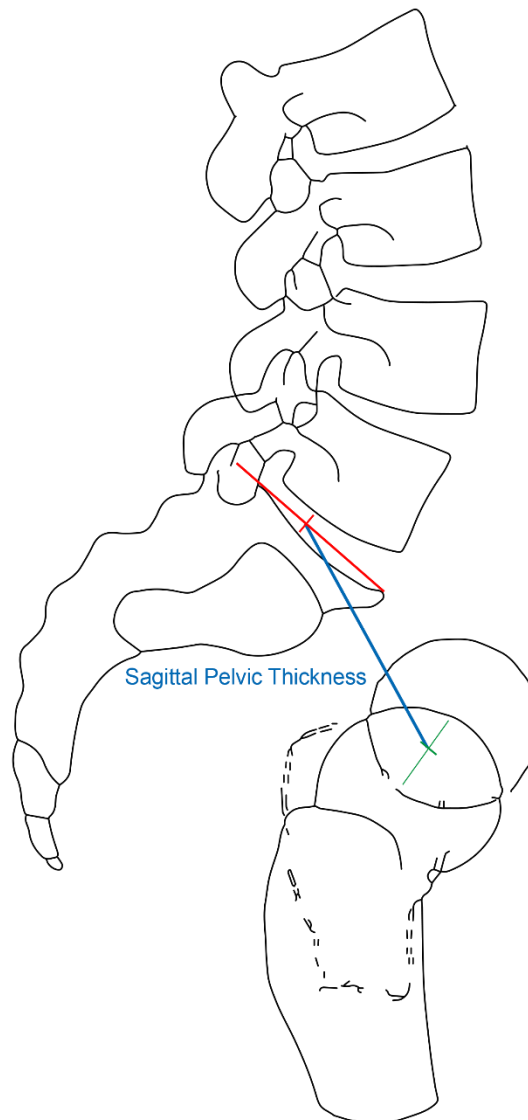


Abb. 14 zeigt schematisch die Strecke (blaue Linie) zwischen der (rekonstruierten) Bicoxofemoralachse (grüne Linie) und dem Mittelpunkt von S1 (rote Linie).

1.6.2 Pelvic Incidence

Die Arbeit von During et al. legte die Grundlage für den von Duval-Beaupère (1992) (12) und Legaye (1998) (11) definierten Parameter: Pelvic Incidence.

Der Winkel zwischen der vertikalen Achse, welche durch den Mittelpunkt von S1 verläuft und der Verbindungslinie der Mittelpunkte von Bicoxofemoralachse und der Oberfläche des Sakrums wird Pelvic Incidence genannt (siehe Abb. 16) (11, 12).

Die Bezeichnung „incidence“ wurde in Anlehnung zur Vermessung des „Einfallswinkel“ in der Optik getroffen. Hierbei wird der Winkel eines einfallenden Strahls auf eine Oberfläche zu deren Lot ermittelt.

Die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Bicoxofemoralachse und der Oberfläche des Sakrums – auch „sagittal pelvic thickness (SPT)“ genannt – repräsentiert den „einfallenden Strahl“, welcher auf die Oberfläche des Sakrums trifft.

Biomechanisch sind das Sakrum und die Hüftgelenke entscheidende Orte der Masseübertragung. So wird das Gewicht des Rumpfes über das Sakrum auf das Becken übertragen und von dort weiter über die Hüftgelenke auf die unteren Extremitäten.

Schon During et al. fasste diese zwei markanten Massenübertragungspunkte in einem Parameter: dem pelvisakralen Winkel zusammen. Im Unterschied zu Duval-Beaupere und Legaye benutzte er jedoch die Tangente der Sakrumoberfläche anstatt der Senkrechten zu Sakrumoberfläche.

Diese anatomische Beziehung zwischen der Orientierung des Sakrums innerhalb des Beckens und den Hüftgelenken wurde als individuell konstant angenommen (12). Neuere Untersuchungen widerlegen diese Aussage.

Je nach Literatur liegen die Normwerte zwischen 40° bis 66° (11, 12, 53-56).

J. Legaye et al. gibt 1998 (11) folgende durchschnittliche Werte für den Pelvic Incidence an: Frauen: 48,2°; Männer: 53,2°.

Anatomisch wirkt sich die Größe des Pelvic Incidence auf den anterioren-posterioren Durchmesser des Beckenrings aus. So haben Patienten mit geringen Werten um ca. 35° einen kleinen Beckendurchmesser. Das heißt die Hüftgelenke befinden sich dicht unterhalb des Sakrums, was der gesamten Morphologie des Beckens einen vertikalen Charakter verleiht. Dies erinnert an die menschlichen Vorfahren, dessen vertikale Beckenorientierung noch viel stärker ausgeprägt war.

Bei hohen Werten des Pelvic Incidence (ca. 85°) ist eine horizontale Beckenmorphologie zu beobachten (57).

Während des Wachstums verändert sich der Pelvic Incidence auf Grund der Horizontalisierung und Lageveränderung des Sakrums (Neugeborene: 27,2°; Erwachsene: 54,5° (58)). Ab dem 30. Lebensjahr bleibt der Wert relativ konstant. (Abweichungen von 3°) (59, 60).

1.6.3 Sacral Slope

Der Sacral Slope ist ein haltungsabhängiger spinopelviner Parameter und ist definiert als der Winkel zwischen der Oberfläche von S1 und einer Horizontalen. Niedrige Werte beschreiben ein vertikal stehendes Sakrum, hohe Werte gegenteiliges (11, 12). Hayden et al. 2017 veranschaulichte die Haltungsabhängigkeit des Sacral Slope bei entspannter Haltung (\emptyset 36,34°), anteriorer (\emptyset 48,84°) und posteriorer (\emptyset 29,42°) Inklinations des Beckens von gesunden Patienten (61). Im Gegensatz zum Pelvic Tilt (siehe Kapitel 1.6.4) bleibt der Sacral Slope das gesamte Leben nahezu konstant (9).

Der Sacral Slope wirkt sich direkt auf das Ausmaß der lumbalen Lordose aus ($r= 0.859$) (11). Niedrige Werte des Sacral Slopes ($< 44^\circ$) führen zu einer abgeflachten lumbalen Lordose, hohe Werte ($> 62^\circ$) bewirken gegenteiliges (55).

Gesunde Populationen weisen Werte von 30° bis 50° auf (11, 12, 53, 55, 61).

J. Legaye et al. gibt 1998 (11) folgende durchschnittliche Werte für den Sacral Slope an: Frauen: 38,2°; Männer: 41,9°.

1.6.4 Pelvic Tilt

Der Pelvic Tilt ist ein haltungsabhängiger spinopelviner Parameter und ist definiert als der Winkel zwischen der Verbindungslinie der Mittelpunkte der Bicoxofemoralachse und der Oberfläche von S1 und einer Vertikalen ausgehend vom Mittelpunkt der Bicoxofemoralachse (siehe Abb. 16) (11, 12).

Der Pelvic Tilt beschreibt die Neigung des Beckens um die bicoxofemorale Achse und indirekt den Abstand zwischen der Deckplatte S1 und der Bicoxofemoralachse. Befinden sich die Hüftköpfe hinter der Deckplatte S1 resultiert dies in einem negativen Pelvic Tilt (62).

Wirbelsäulenveränderungen wie beispielsweise die Abflachung der thorakalen Kyphose beim alternden Menschen bewirkt eine Verschiebung des Körperschwerpunktes nach anterior. Um nun den aufrechten Stand (bzw. die sagittale Balance) zu garantieren führt das Becken eine kompensatorische Neigung durch. Folglich erhöht sich die SPT und somit der Pelvic Tilt (9).

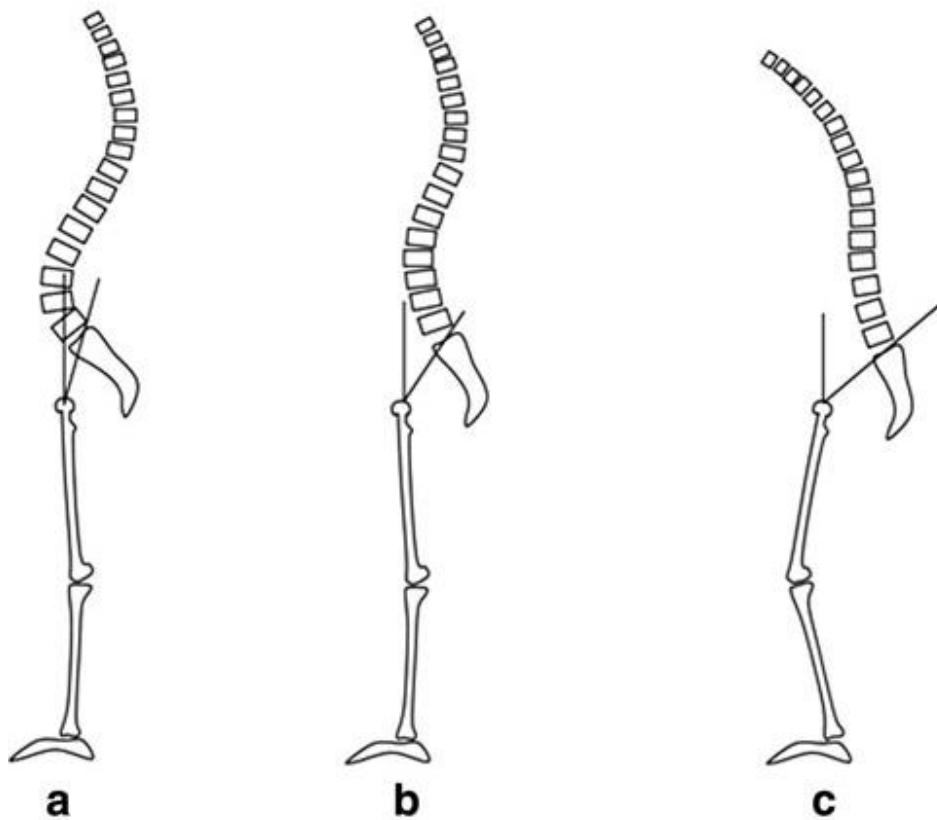


Abb. 15 (9): Pathologische Veränderung von Wirbelsäule und Becken.

Die Steigerung des Pelvic Tilts von a) – c) dient der Wahrung der aufrechten Haltung.

- a) Normale aufrechte Haltung
- b) Krankhafte Haltung
- c) Kompensierte Haltung

Die Literatur weist für den Pelvic Tilt Werte von $4,8^\circ$ bis $19,2^\circ$ auf (11, 12, 55, 62).

J. Legaye et al. gibt 1998 (11) folgende durchschnittliche Werte für den Pelvic Tilt an: Frauen: $10,3^\circ$; Männer: $11,9^\circ$.

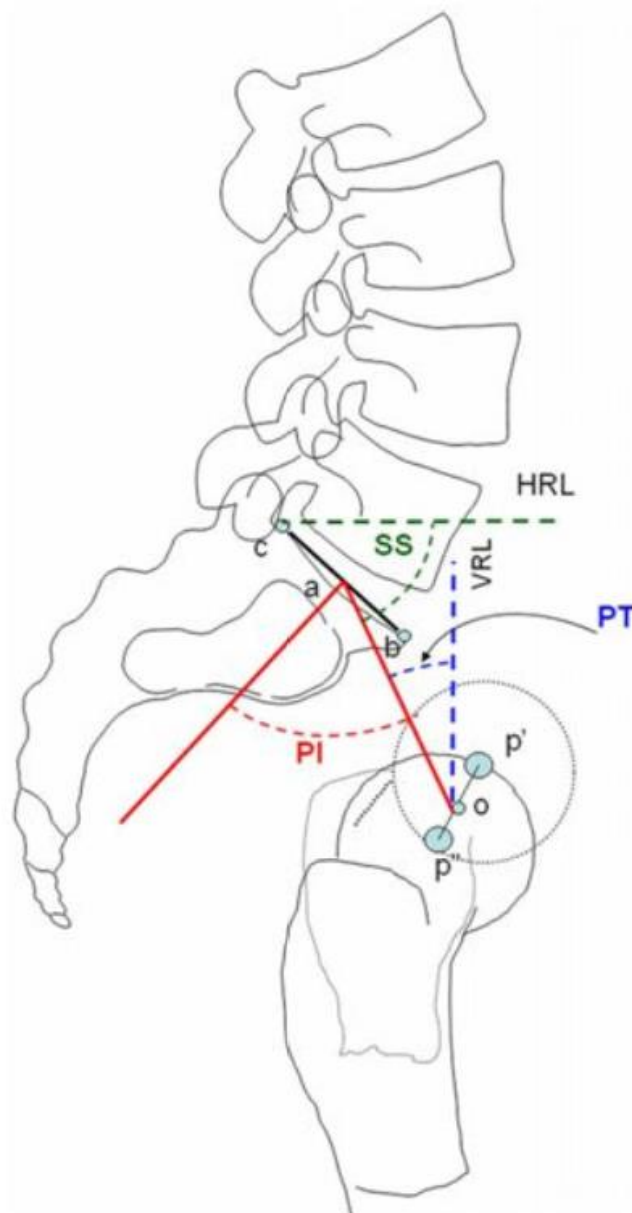


Abb. 16 (63) zeigt die schematische Konstruktion der pelvinen Parameter Pelvic Incidence (rot), Pelvic Tilt (blau) und Sacral Slope (grün). p' und p'' markieren die Hüftköpfe und die Verbindungslinie stellt die Bicoxofemoralachse dar. (HRL: horizontale Referenzlinie; VRL: vertikale Referenzlinie)

1.6.5 S1-Winkel

Der Schnittpunkt der Tangenten der Oberfläche und der ventralen Seite von S1 bilden den S1-Winkel. Dieser Winkel wurde bisher noch nicht in der Literatur erwähnt. Empirische Beobachtungen und Analysen computertomographischer Bilder des Sakrums zeigen eine sehr hohe Variabilität dieses Winkels bei unterschiedlichen Patienten. Welche Faktoren die Ausbildung eines spitzen oder flachen S1-Winkels beeinflussen, ist nicht bekannt. Der o.g. Winkel wurde für die vorliegende Arbeit definiert, um seine Ausprägung in Abhängigkeit von den anderen spinopelvinen Parametern und Frakturformen zu untersuchen.

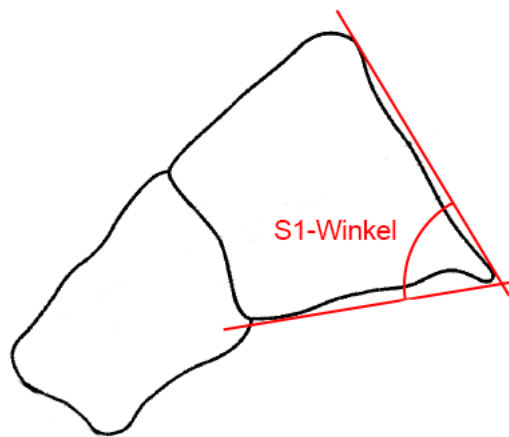


Abb. 17: Darstellung von Wirbelkörper S1 und S2. Der Winkel zwischen den Tangenten (rote Linien) beschreibt den S1-Winkel.

1.6.6 Zusammenhänge zwischen den einzelnen spinopelvinen Parametern

Die arithmetische Summe $PI = PT + SS$ zeigt die Abhängigkeit der einzelnen Parameter.

Wie schon in Kapitel 1.6.3 beschrieben, stehen die Neigungswerte des Beckens in direkter Verbindung mit der Stärke der Ausprägung der lumbalen Lordose (LL) (12).

Die Korrelation ($r = 0,83$) zwischen der Ausprägung der lumbalen Lordose und Lage des Sakrums (Sacral Slope; siehe auch Kapitel 1.6.3) wurde durch Legaye et al. 1998 mathematisch festgehalten und in einer weiteren Studie von Legaye & Duval-Beaupère 2005 bewiesen und verfeinert. Danach errechnet sich die lumbale Lordose nach folgender Formel:

$$\text{Lordosis} = (\text{Sacral Slope} \times 1,087) + 21,61^\circ (\pm 6,39^\circ)$$

Des Weiteren wurden der mathematische Zusammenhang zwischen den Parametern Pelvic Incidence und Sacral Slope in eine weitere Gleichung gefasst.

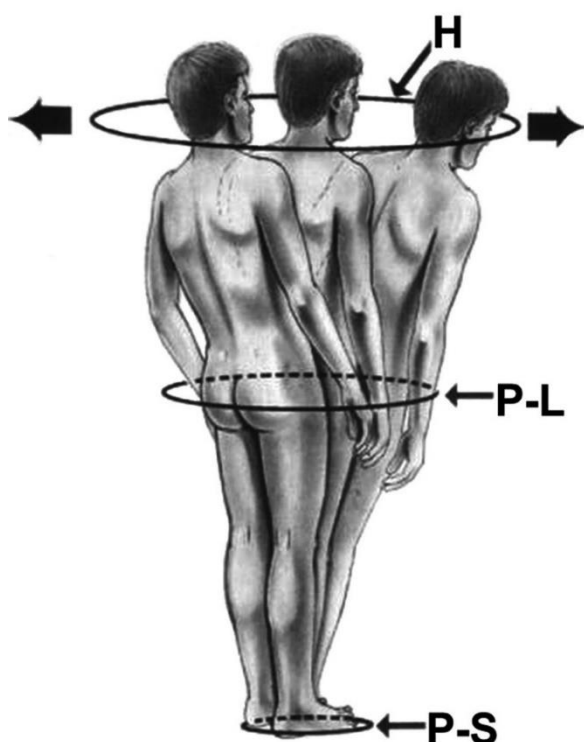
$$\text{Sacral slope} = (\text{Pelvic Incidence} \times 0,5481) + 12,7^\circ (\pm 4,16^\circ)$$

Aus diesen Zusammenhängen folgt, dass ein erhöhter Pelvic Incidence zu einem erhöhten Sacral Slope führt. Folglich erhöht sich die lumbale Lordose und kompensatorische Mechanismen müssen greifen, um die allgemeine Balance zu wahren (64).

1.7 Die sagittale Balance

Dubousset definierte 1998 die spinale Balance als die optimale Ausrichtung der Wirbelsäule in allen drei Ebenen (koronar, sagittal, axial) bei einem Minimum an aufzuwendender Muskelkraft um diese Position zu halten. Das Becken dient als Verbindungsglied und zugleich Stellungsregler zu den unteren Extremitäten (10).

Die Neigungswerte des Beckens stehen in direkter Verbindung mit der Stärke der Ausprägung der lumbalen Lordose, und somit mit einem energieeffizienten Stand. So konnten Duval-Beaupere 1992 zeigen, dass eine Gewichtsverlagerung 30 mm vor oder hinter die bicoxofemorale Achse ohne Muskelaktivität des Musculus biceps femoris und des Musculus gluteus maximus möglich ist. In dieser energetisch ökonomischen Position wird die Balance alleine durch friktionale Kräfte innerhalb der Hüftgelenke aufrecht erhalten (12).



Dubousset visualisierte 1998 die Grenzen der globalen Balance um einen aufrechtstehenden Körper als umgedrehten Kegel („cone of economy“) (siehe Abb. 18). Außerhalb dieses Bereiches würde es ohne Kompensationsbewegungen und Muskelanstrengungen zum Fallen des Körpers kommen (10).

Abb. 18: Darstellung des von Jean Dubousset entwickelten „cone of economy“ (10).

Um die sagittale Balance genauer zu beschreiben wurden messbare Parameter in Röntgenaufnahmen von Wirbelsäule und Becken mit lateralem Strahlengang definiert.

Das spinale Profil wird durch die kyphotischen und lordotischen Winkel bestimmt, welche sich an der Achse der Schwerkraft (C7-Lot siehe unten) orientieren.

Die spinopelvinen Parameter wie z. B. Pelvic Incidence oder Pelvic Tilt ermöglichen eine Differenzierung von pathologischen- und physiologischen Haltungen des Beckens (10).

Das C7-Lot

Das C7-S1-Lot dient der Beurteilung des sagittalen Profils der Wirbelsäule. Hierbei wird das Lot über dem Corpus des 7. Halswirbels (C7) gefällt und zieht idealerweise durch die posterosuperiore Ecke von S1 (65). Liegt das Lot vor – oder hinter der posterosuperioren Ecke von S1 so liegt eine positive – bzw. negative Balance vor (Imbalance) (66).

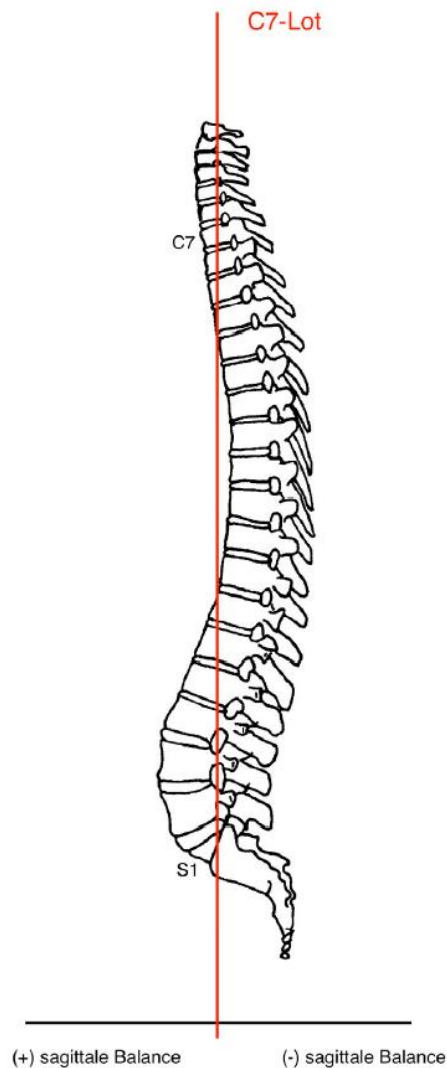


Abb. 19 (67): Sagittales Wirbelsäulenprofil mit Verlauf des C7-S1-Lots (rot).

1.8. Änderungen der spinopelvinen Parameter durch Pathologien

1.8.1 Kompensationsmechanismen bei Störung der sagittalen Balance

Eine Verstärkung der Brustkyphose induziert eine Verschiebung der Gravitationslinie (Lot an C7 angelegt) nach anterior. Um nun wieder die ökonomisch optimale Position zu erreichen wird die lumbale Lordose und die Inklination des Beckens verstärkt (PT wird größer). Dieser kompensatorische Mechanismus ist durch die Größe des Pelvic Incidence und die Flexibilität der Brust- und Lendenwirbelsäule limitiert. Mit steigendem Alter werden die kompensatorischen Fähigkeiten weniger. Beobachtungen von Legaye et al.

(1998); Duval-Beaupère and Legaye (2005) zeigen eine Korrelation zwischen niedrigen Werten des Pelvic Incidence und schmerzhaften Kontraktionen der Wirbelsäulenmuskulatur aufgrund von Instabilitäten der Wirbelsäule (11, 64). Auch überdurchschnittliche erhöhte Werte für den Pelvic Incidence führen zu vergleichbarer Symptomatik (68).

Ist eine Kompensation nicht mehr möglich kommt es zu einer sagittalen Imbalance mit ventralem Überhang. Dadurch erhöht sich die Belastung auf die Bandscheiben und die Muskelanstrengung, wodurch degenerative Erkrankungen entstehen (64).

Weiterhin konnte D. Kim et al. (69) 2017 zeigen, dass die Sturzwahrscheinlichkeit von Patienten im Alter von über 70 Jahren zunimmt, sofern eine sagittale Balance nicht gegeben ist. Verantwortliche Faktoren dafür sind eine schwach ausgeprägte lumbale Lordose, ein niedriger Pelvic Tilt und ein hoher Pelvic Incidence (69).

Menschen mit extrem hohen Werten des Pelvic Incidence neigen vermehrt zur Bildung einer Spondylolysis bzw. im hohen Alter zu einer Spondylolisthesis zwischen dem 4. und 5. Lendenwirbel (58).

1.8.2 Veränderung der spinopelvinen Parameter bei Patienten mit

Osteoporose

2013 wurden innerhalb einer Studie von J.S. Lee et al. 160 Patienten auf Osteoporose und Veränderungen der spinopelvinen Parameter sowie der sagittalen Balance untersucht.

Es konnten Unterschiede zwischen Osteoporosepatienten mit - und ohne sagittale Balance gezeigt werden.

Ein signifikant erhöhter Pelvic Incidence gibt Hinweis auf eine kompensierte Haltung (da $PI = PT + SS$). In der vorliegenden Studie war der Sacral Slope

signifikant ($23,2^\circ (\pm 7,6^\circ)$ zu $26,7^\circ (\pm 9,8^\circ)$) und der Pelvic Tilt nur leicht erhöht ($23,2^\circ (\pm 8,1^\circ)$ zu $25,1^\circ (\pm 8,8^\circ)$) (70).

Eine weitere Studie von Fechtenbaum et al. (2016) bestätigt, dass Patienten mit Osteoporose eine signifikant veränderte sagittale Balance besitzen und das Becken wichtige kompensatorische Funktionen erfüllt (71).

1.8.3 Wirbelsäulenfrakturen

D. Kim et al. verglich 2015 (72) spinopelvine Parameter von 144 Patienten mit und ohne Wirbelsäulenfrakturen, welche mit Rückenschmerzen vorstellig wurden. Radiologische Aufnahmen mit seitlichem Strahlengang von der gesamten Wirbelsäule, ein MRT der lumbalen Wirbelsäule und weitere Messungen (wie z.B. Knochendichtemessung) wurden durchgeführt. Die Auswertung zeigte, dass Patienten mit einer Wirbelsäulenfraktur unter einer sagittalen Imbalance litten, die sich in den spinopelvinen Parametern widerspiegelt (siehe Tab. 1) (72).

Variable	Patienten <u>mit</u> Wirbelfraktur (n=38)	Patienten <u>ohne</u> Wirbelfraktur (n=34)	p-Werte
Alter	71,5 ($\pm 9,1$)	55,0 ($\pm 14,3$)	
Pelvic Incidence	51,0° ($\pm 12,8$)	43,4° ($\pm 10,6$)	0,007
Sacral Slope	28,8° ($\pm 8,9$)	30,1° ($\pm 7,2$)	0,499
Pelvic Tilt	22,1° ($\pm 12,2$)	13,7° ($\pm 9,8$)	0,002

Tab. 1 zeigt die Ergebnisse der Studie von D. Kim et al. (2015) (72).

1.8.4 Beckenringfrakturen

Die Literatur beschreibt einen signifikant erhöhten Pelvic Tilt (\varnothing 32,3°) bei Patienten mit osteoporotischen Beckenringfrakturen im Gegensatz zu gesunden Patienten (\varnothing 6,9°) (73).

1.9 Ziele der Arbeit

Zahlreiche Studien untersuchen den Einfluss der spinopelvinen Parameter auf verschiedenste Pathologien (58, 64, 68, 72, 73). Die aktuelle Literatur gibt Hinweise darauf, dass die Ausprägung der spinopelvinen Parameter ursächlich ist für die Entstehung von Wirbel- oder Beckenringfrakturen (72, 73).

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Hypothese untersucht werden, ob die Ausprägung der spinopelvinen Parameter mit dem Auftreten von unterschiedlichen Frakturmorphologien des Beckenrings und der lumbalen Wirbelsäule korrelieren. Diese Hypothese wird anhand folgender Arbeitsziele untersucht:

1. Die epidemiologische Erfassung der Beckenringfrakturen (2000 - 2015) mittels der FFP-Klassifikation.
2. Der Nachweis einer Korrelation zwischen den verschiedenen Frakturmorphologien des Beckens (FFP) und den spinopelvinen Parametern Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope und S1-Winkel.
3. Aufzeigen der Abhängigkeit der Frakturmorphologie (Lendenwirbelfraktur vs. Beckenringfraktur) von den spinopelvinen Parametern Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope und S1-Winkel.

2. Material & Methoden

2.1 Material

2.1.1 Auswahl der Patientenpopulationen

In der retrospektiven Untersuchung fanden hauptsächlich Röntgenaufnahmen im seitlichen Strahlengang Verwendung, welche den sakral-vertebralen Übergang und zusätzlich (optimaler Weise) beide Hüftköpfe zeigen. Jedoch wurden auch vereinzelt CT Datensätze ausgewertet.

Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurden zwei Patientengruppen mit unterschiedlichen Diagnosen untersucht.

1. Patientenpopulation: Patienten ab 70 Jahren, welche eine Beckenringfraktur erlitten (Jahr 2000 - 2015).
2. Patientenpopulation: Patienten ab 70 Jahren, welche eine Lendenwirbelfraktur erlitten (2000 – 2015).

Da die Untersuchung eine mögliche anatomische Prädisposition für die unterschiedlichen Frakturmorphologien bei niederenergetischen Traumen erörtert, wurde das Alter der Patienten über 70 Jahre gewählt. Ab diesem Alter besteht ein enger Zusammenhang zwischen Frakturrisiko bei Niederenergetraumen und Knochendichte, welche sich durch Osteoporose verringert. 75% aller Frakturen im Lendenwirbel- und Beckenbereich treten bei Frauen im Alter von 65 - 74 auf Grund von Osteoporose auf; bei Männern sind es 65% (4). Daher ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die ausgewählten Patientenpopulationen ein niederenergetisches Trauma erlitten.

2.2 Methode

2.2.1 Vermessung der spinopelvinen Parameter

Die Vermessung der beiden Populationsgruppen wurde unter gleichen Bedingungen durchgeführt.

Zunächst wurde die Datenbank der Universitätsmedizin Mainz nach folgenden Daten durchsucht:

1. Patientenpopulation

Fraktur: Patienten mit Beckenringfrakturen

(ICD: S32.1, S32.2, S32.3, S32.4, S32.5, S32.7, S32.81, S32.83, S32.87, S32.89)

Patienten im Alter ≥ 70 Jahre

Jahr 2000- 2015

2. Patientenpopulation

Fraktur: Patienten mit Frakturen der Lendenwirbelsäule L1-L5

(ICD: S32.01, S32.02, S32.03, S32.04, S32.05)

Patienten im Alter ≥ 70 Jahre

Jahr 2000- 2015

Es wurde ein PC der Firma Dell mit Windows 7 Enterprise Service Pack 1 verwendet. Der verwendete Bildschirm wurde für die radiologische Befundung zugelassen.

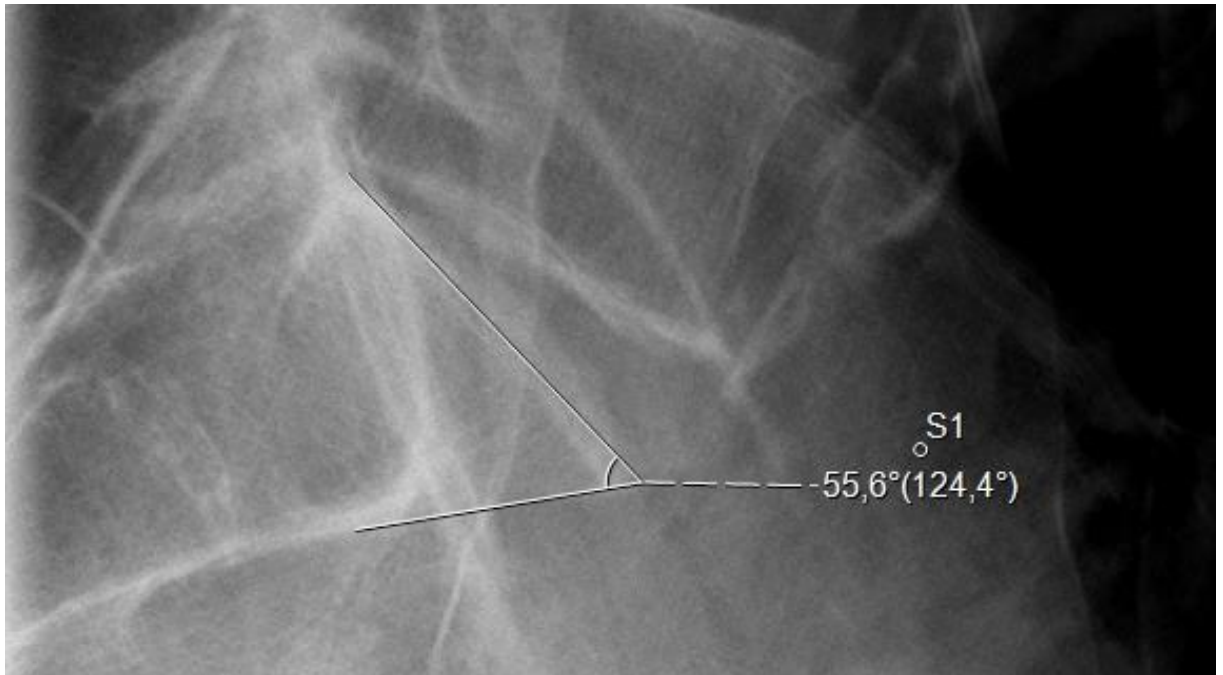
Für die radiologische Analyse wurde die Software Sectra Workstation 19.1 der Firma Sectra AB benutzt.

Es wurden präoperative Röntgen- und CT-Aufnahmen ausgewertet, um eine mögliche Fehlerquelle durch operative Eingriffe weitestgehend auszuschließen. Viele LWS Aufnahmen konnten nicht verwertet werden, da die Hüftköpfe nicht oder nur teilweise sichtbar waren, was die geringe Anzahl der Vergleichsgruppe „Lendenwirbelfrakturen“ erklärt.

Es wurden die spinopelvinen Parameter Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope, S1-Winkel mit den vorhandenen Vermessungstools der Software Sectra Workstation 19.1 bestimmt.

CT-Aufnahmen wurden mit der Methode nach Vrtovec et. al (52) ausgewertet.

1. Bestimmung des Winkels von S1

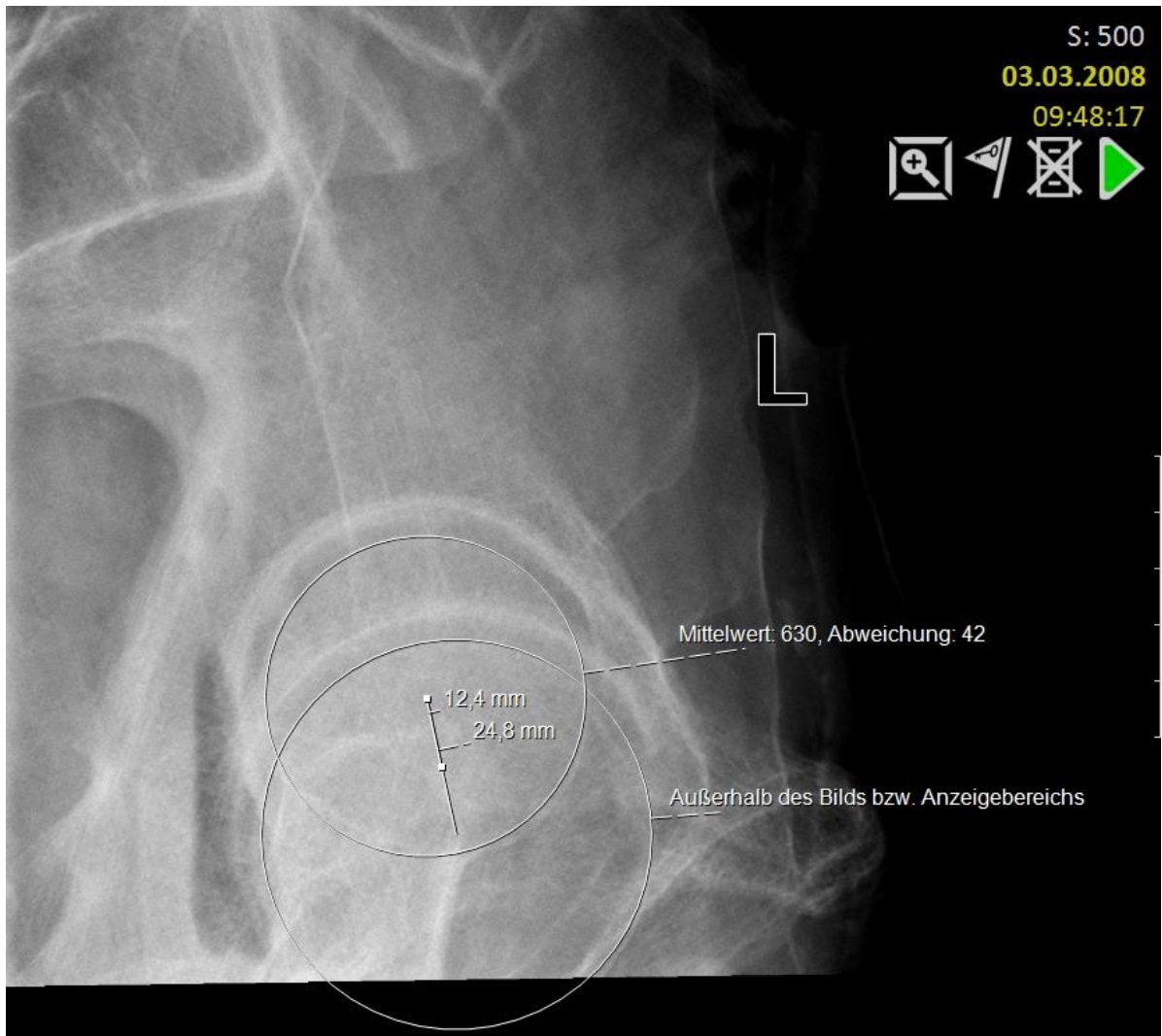


(Abb. 20)

Um den Winkel von S1 zu bestimmen, wurde das Winkel-Tool verwendet und die Eckpunkte so bestimmt, dass ein möglichst tangentialer Verlauf der Winkelarme an der kranialen Oberfläche und der ventralen Seite von S1 ermöglicht wird.

Die Abbildung zeigt einen Wert von $55,6^\circ$ für den Winkel S1.

2. Bestimmung der Pelvic Incidence (PI)



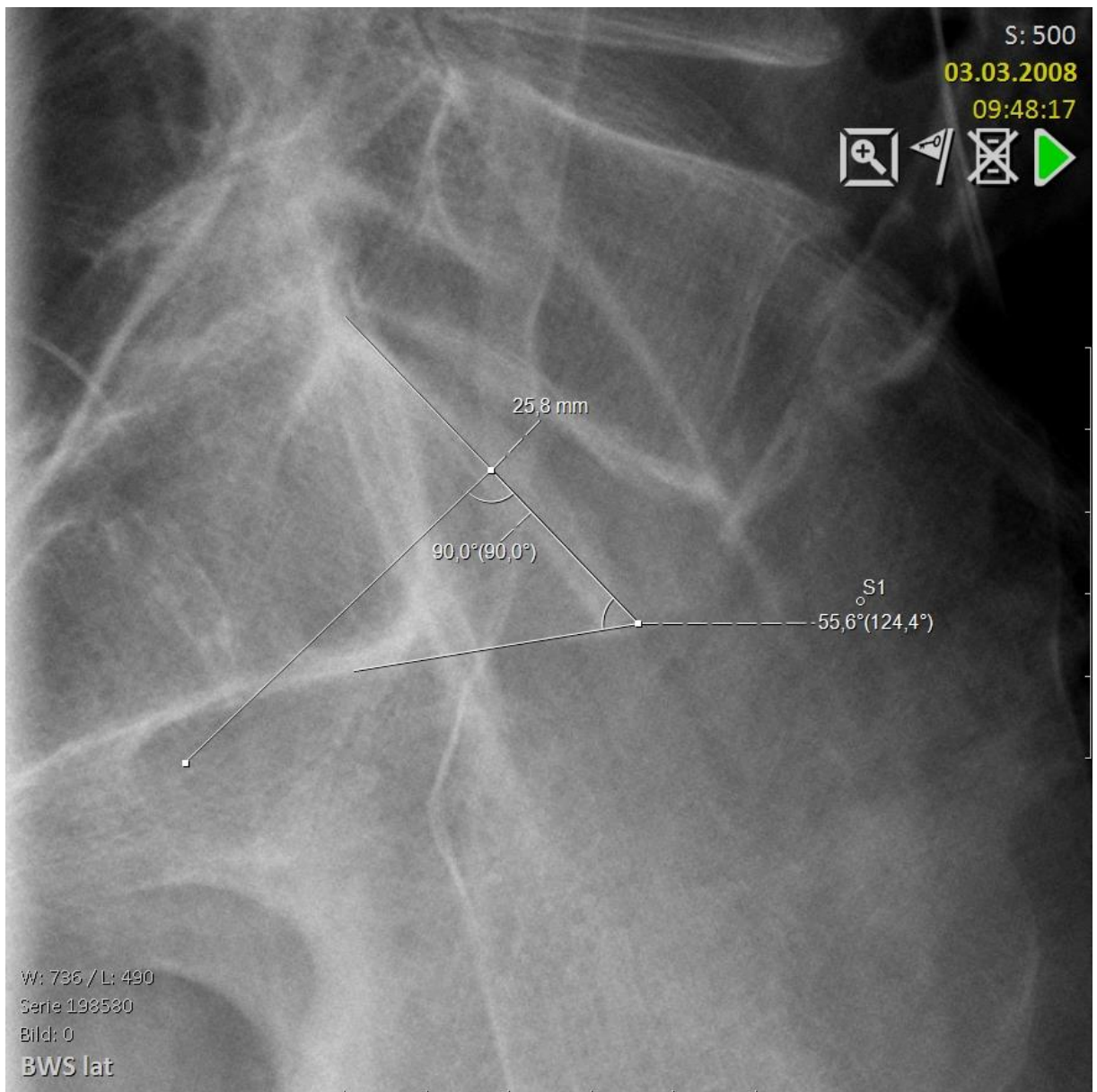
(Abb. 21)

a) Mittelpunktbestimmung der **Bicoxofemoralachse**

Optimaler Weise projizierten sich beide Hüftköpfe (Caput femoris) genau hintereinander, was nur sehr selten der Fall war.

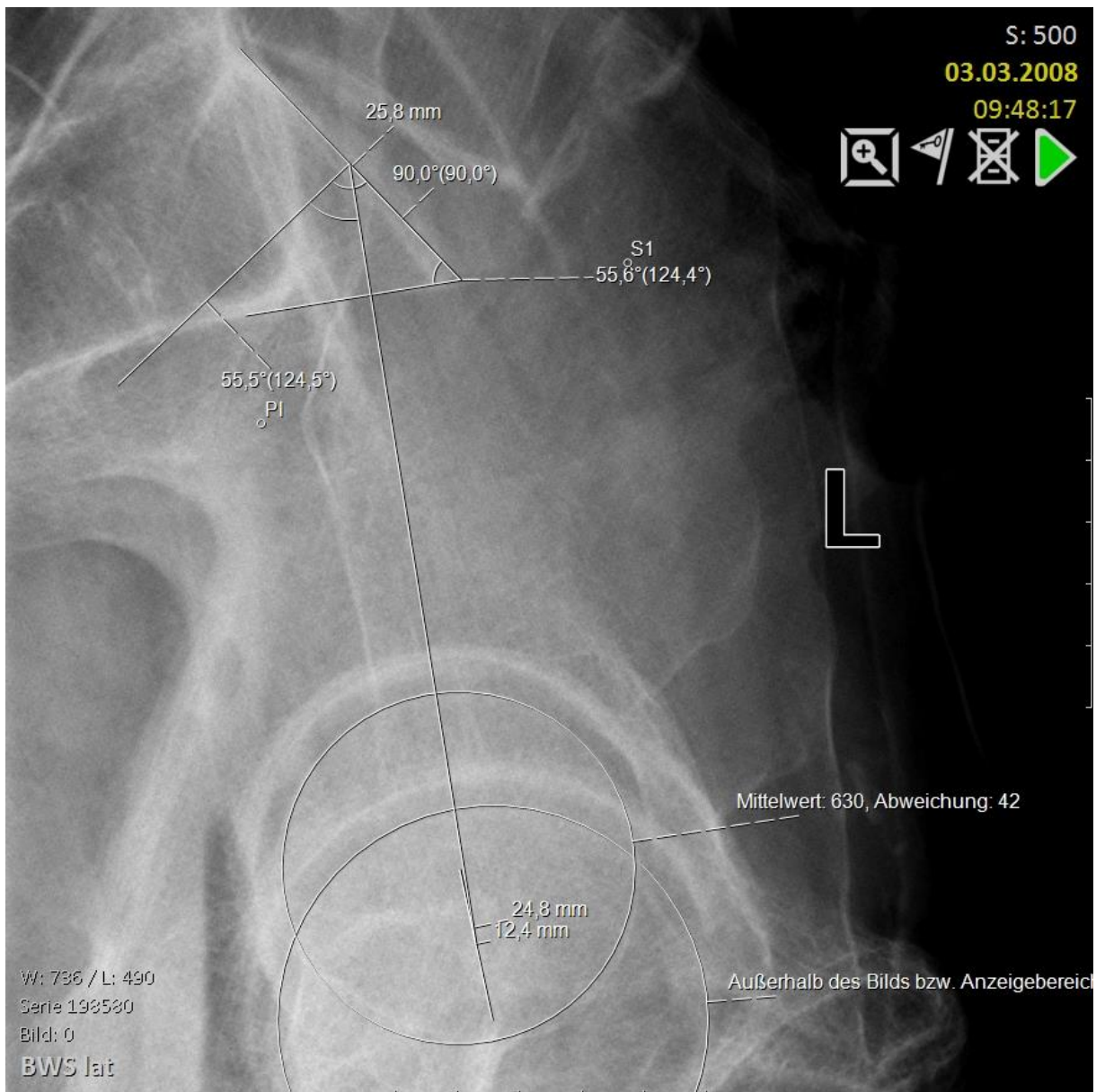
Wie im oberen Beispiel zusehen, wurde mit Hilfe des Kreistools der Mittelpunkt des linken und des rechten Caput femoris ermittelt. Durch Verbindung der Mittelpunkte der Kreise wurde die Bicoxofemoralachse rekonstruiert.

Anschließend wurde durch Vermessungen der Mittelpunkt der Bicoxofemoralachse bestimmt.



(Abb. 22)

b) Danach wurde die kraniale Seite von S1 vermessen um den **Mittelpunkt** zu ermitteln und von da aus eine Orthogonale nach kaudal erstellt.

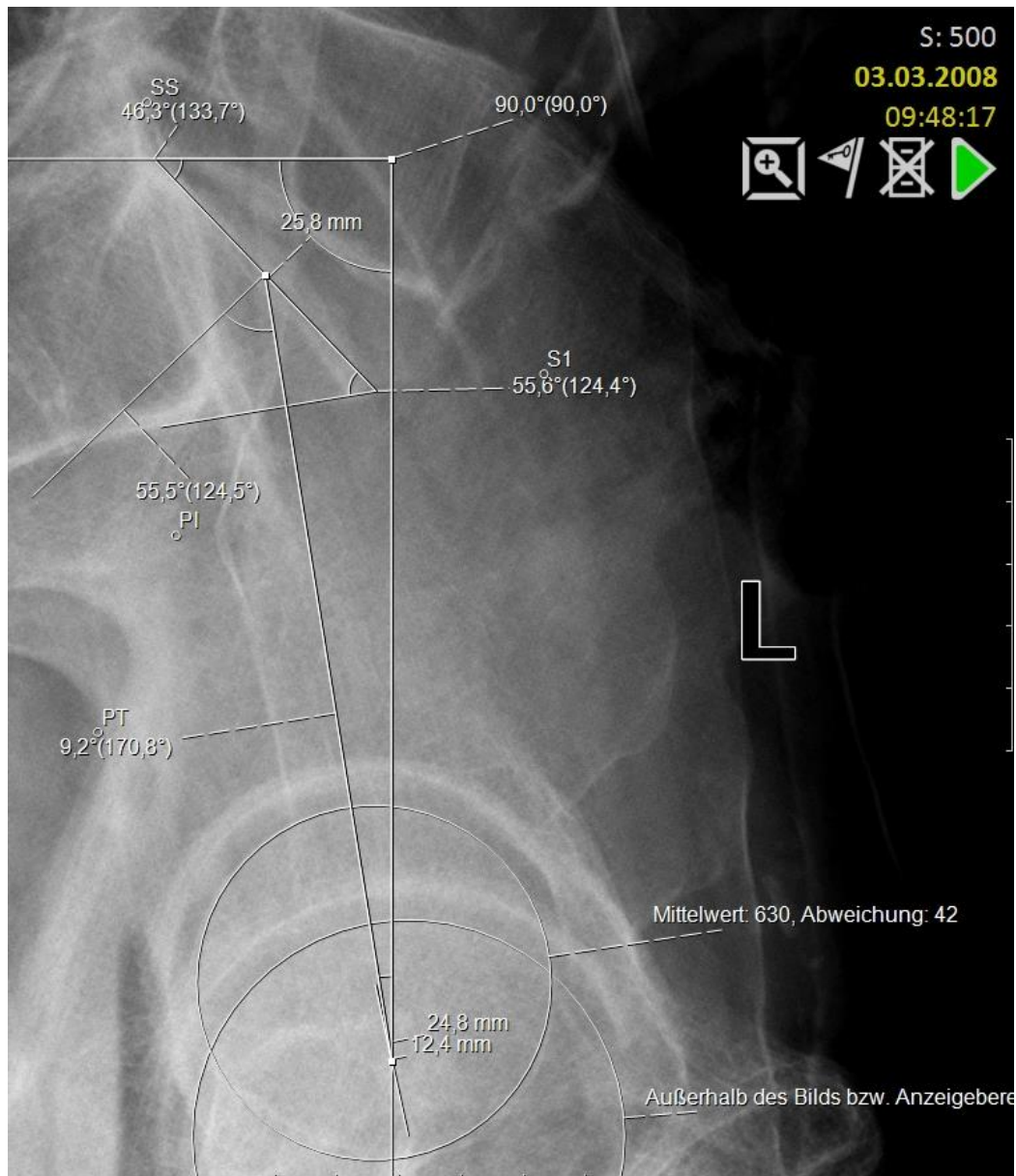


(Abb. 23)

c) Um die **Pelvic Incidence** zu ermitteln, wurde der Winkel zwischen der Orthogonalen auf S1 und der Verbindungslinie des Mittelpunktes von S1 und der bicoxofemoralen Achse bestimmt.

Die Abbildung zeigt einen Wert von $55,5^\circ$ für den Pelvic Incidence.

1. Bestimmung des Pelvic Tilt (PT)

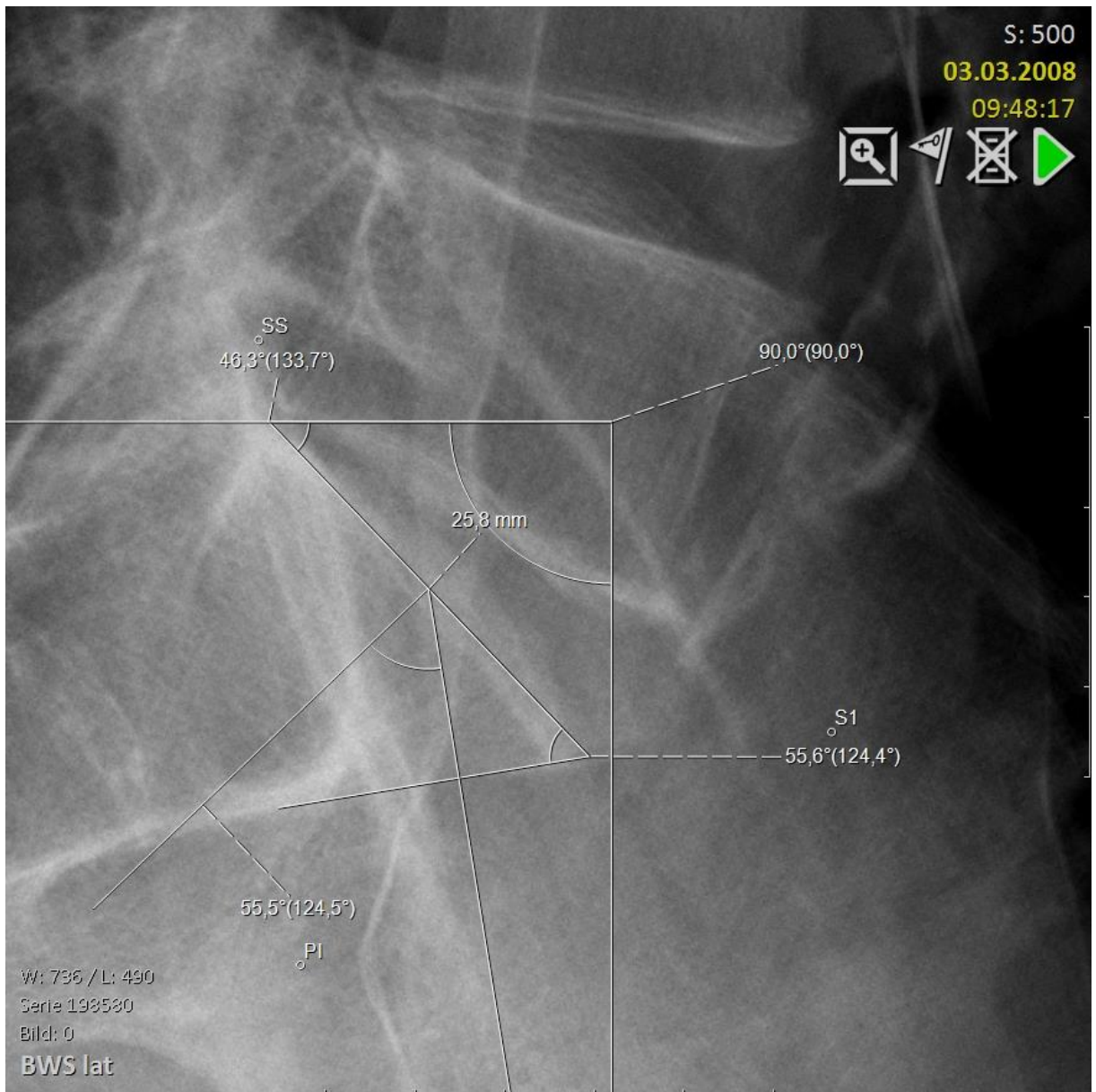


(Abb. 24)

Zur Bestimmung des **Pelvic Tilt** wurde das Lot über dem Mittelpunkt der Bicoxofemoralachse gefällt und der Winkel zur Verbindungslinie zum S1 Mittelpunkt ermittelt.

Die Abbildung zeigt einen Wert von $9,2^\circ$ für den Pelvic Tilt.

2. Bestimmung des Sacral Slope (SS)



(Abb. 25)

Die Bestimmung des **Sacral Slopes** erfolgte durch Bildung einer Orthogonalen zum Lot auf Höhe des dorsalen Endpunktes von S1. Abschließend wurde der Winkel zwischen der gebildeten Horizontalen und der auf der Oberfläche von S1 anliegenden Tangente gemessen.

Die Abbildung zeigt einen Wert von $46,3^\circ$ für den Sacral Slope.

2.2.2 Statistische Methoden

Die statistische Analyse wurde mit Hilfe von SPSS Version 20 (Windows) durchgeführt.

Es wurden zwei verschiedene statistische Auswertungen durchgeführt.

a) Statistische Erfassung des Patientenkollektivs „Beckenringfrakturen“ in Bezug

auf die Klassifikation „fragility fracture of the pelvis“.

Hierzu wurde eine deskriptive Statistik angefertigt und weitere Untersuchungen mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt.

b) Vergleich der spinopelvinen Parameter der Patientenkollektive mit Beckenring-

und Lendenwirbelfrakturen.

Zunächst wurde eine deskriptive Statistik angefertigt. Für die weitere statistischen Untersuchungen wurden die vorliegenden Daten mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests und Q-Q-Diagramme auf Normalverteilung überprüft. Zusätzlich wurde der Levene-Test angewendet um die Varianzhomogenität sicherzustellen. Darauf folgte eine univariate Varianzanalyse (ANOVA) um den Einfluss der einzelnen spinopelvinen Parameter auf die Frakturmorphologie statistisch eindeutig auszuwerten.

Statistische Darstellungen und Tests

Der Boxplot

Mit Hilfe des Boxplots können Daten eines ordinalskalierten Merkmals grafisch dargestellt werden und bietet einen zügigen Überblick über die Streuung, Median und die Extremwerte der Daten (74).

Test auf Normalverteilung

Die Daten wurden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnof Tests und durch grafische Analyse mittels Q-Q-Diagrammen auf Normalverteilung überprüft (74).

Die ANOVA (ANalysis Of VAriance)

Die Varianzanalyse untersucht 3 oder mehrere Gruppen auf deren Variabilität innerhalb der Gruppe und vergleicht diese mit der Variabilität zwischen den Gruppen (74).

Bei der statistischen Auswertung wurde das Modell der „univariaten Varianzanalyse“ gewählt um die Abhängigkeit der Frakturmorphologie, des Geschlechts und der Kombination aus beidem von einem spinopelvinen Parameter (z.B. Pelvic Incidence) zu überprüfen.

Grafik zu den geschätzten Randmitteln

Die Grafik zu den geschätzten Randmittel zeigt nochmals den Unterschied zwischen den einzelnen Patientenpopulationen bezogen auf das Geschlecht und die Ausprägung eines spinopelvinen Parameters. Die geschätzten Randmittel implizieren nicht reine Mittelwerte eines Kollektivs, sondern berücksichtigen zusätzlich die Fallzahl innerhalb einer Gruppe (75).

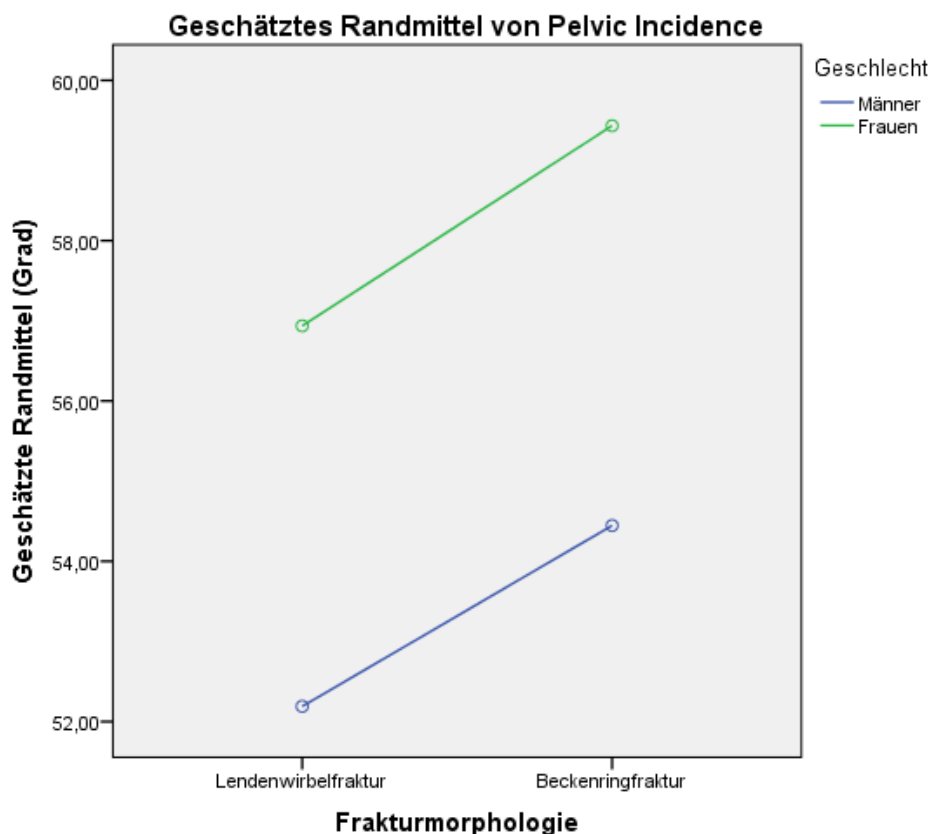


Abb. 26 zeigt das Diagramm für die geschätzten Randmittel am Beispiel

von Pelvic Incidence.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik der untersuchten Patientenkollektive

3.1.1 Geschlechterverteilung

Das retrospektiv untersuchte Patientenkollektiv teilt sich in zwei Diagnosegruppen auf.

67 Patienten mit Lendenwirbelfrakturen, davon waren 44,8 % Männer (n=30) und 55,2 % Frauen (n=37) und 208 Patienten mit Beckenringfrakturen, wovon 13,0 % Männer (n=27) und 87,0 % Frauen (n=181) waren.

Es ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bzgl. des Geschlechts (Chi-Quadrat-Test: 0,000).

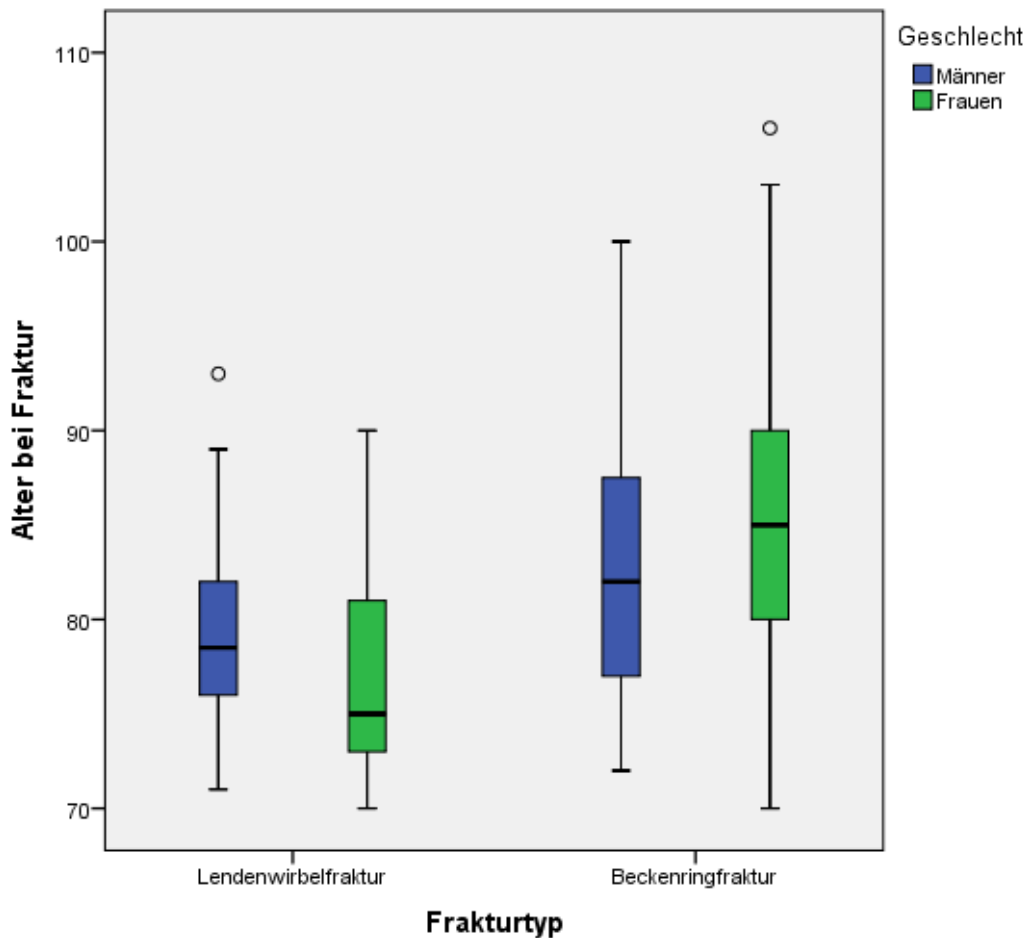


Abb. 27 zeigt die Altersverteilung mittels Boxplot mit den Hauptgruppen Lendenwirbel- und Beckenringfraktur welche nochmals unterteilt sind in die Geschlechter (Männer = Blau; Frauen = Grün).

3.1.2 Altersverteilung zum Zeitpunkt der Fraktur

Statistische Untersuchungen mit Hilfe des t-Tests ergaben einen signifikanten Unterschied ($p = ,002$) bzgl. des Alters der verschiedenen Patientenpopulationen.

a) Patienten mit Lendenwirbelfrakturen

Im Durchschnitt waren die Patienten 77,81 Jahre alt, bei einem Median von 77 Jahren. Frauen waren im Schnitt etwas jünger (76,6 Jahre) als Männer (79,3

Jahre). Der jüngste Patient war 70 und der älteste 93 Jahre alt.

b) Patienten mit Beckenringfrakturen

Im Durchschnitt waren die Patienten 85,9 Jahre alt, der Median liegt bei 85 Jahren. Frauen waren im Schnitt etwas älter (85,2 Jahre) als Männer (82,9 Jahre). Der jüngste Patient war 70 und der älteste 106 Jahre alt.

Geschlecht	Frakturtyp	Mittelwert	N	Minimum	Maximum	Median
Männer	Lendenwirbelfraktur	79,3	30	71	93	79
	Beckenringfraktur	82,9	27	72	100	82
Frauen	Lendenwirbelfraktur	76,6	37	70	90	75
	Beckenringfraktur	85,2	181	70	106	85

Tab. 2 zeigt die Altersverteilung der zwei untersuchten Patientenpopulationen getrennt nach Geschlecht.

3.2 Statistische Auswertung des Patientenkollektivs Beckenringfrakturen

3.2.1 Patientenverteilung in der „fragility fracture of the pelvis“ (FFP) – Klassifikation

Patienten die eine Beckenringfraktur erlitten wurden mittels der FFP-Klassifikation erfasst.

	FFP-Hauptgruppen			
	1	2	3	4
% innerhalb von FFP-Hauptgruppen	16,8	52,4	7,7	23,1

Tab. 3 zeigt das prozentuale Auftreten der einzelnen FFP-Hauptgruppen.

FFP 1a

Insgesamt konnten 34 (16,3%) Patienten mit einer FFP 1a identifiziert werden. Davon waren 5 (14,7%) Männer und 29 (85,3%) Frauen.

FFP 1b

Eine Frau (0,5%) wurde mit einer FFP 1b identifiziert.

FFP 1c

Kein Patient des untersuchten Patientenkollektivs wies eine FFP 1c auf.

FFP 2a

7 (3,4%) Patienten erlitten eine FFP 2a.

Davon waren 1 (14,3%) Männer und 6 (85,7%) Frauen.

FFP 2b

57 (27,4 %) Patienten erlitten eine FFP 2b. Diese Gruppe stellt die am häufigsten klassifizierte Fraktur dar. Davon waren 8 (14 %) Männer und 47 (86 %) Frauen.

FFP 2c

45 (21,6 %) Patienten wurden mit einer FFP 2c identifiziert. Davon waren 9 (20 %) Männer und 36 (80 %) Frauen.

FFP 3a

12 (5,8%) Patienten wurden mit einer FFP 3a identifiziert. Davon waren 1 (8,3%) Männer und 11 (91,7%) Frauen.

FFP 3b

Kein Patient des untersuchten Patientenkollektivs wies eine FFP 3b auf.

FFP 3c

4 (1,9%) Patienten wurden mit einer FFP 3c identifiziert. Davon waren keine Männer und 4 Frauen.

FFP 4a

Eine Frau (0,5%) wurde mit einer FFP 4a identifiziert.

FFP 4b

43 (20,7%) Patienten wurden mit einer FFP 4b identifiziert. Davon waren 2 (4,7%) Männer und 41 (95,3%) Frauen.

FFP 4c

4 (1,9%) Patienten wurden mit einer FFP 4c identifiziert. Davon war 1 (25%) ein Mann und 3 (75 %) Frauen.

Geschlecht * FFP-Klassifikation Kreuztabelle

		FFP – Klassifikation									Gesamt		
		1a	1b	2a	2b	2c	3a	3c	4a	4b		4c	
Geschlecht	Männer	% innerhalb von Geschlecht	18,5%		3,7%	29,6%	33,3%	3,7%			7,4%	3,7%	100,0%
		% innerhalb von FFP-Klassifikation	14,7%		14,3%	14,0%	20,0%	8,3%			4,7%	25,0%	13,0%
	Frauen	% innerhalb von Geschlecht	16,0%	0,6%	3,3%	27,1%	19,9%	6,1%	2,2%	0,6%	22,7%	1,7%	100,0%
		% innerhalb von FFP-Klassifikation	85,3%	100,0%	85,7%	86,0%	80,0%	91,7%	100,0%	100,0%	95,3%	75,0%	87,0%
Gesamt	% innerhalb von Geschlecht	16,3%	0,5%	3,4%	27,4%	21,6%	5,8%	1,9%	0,5%	20,7%	1,9%	100,0%	
	% innerhalb von FFP-Klassifikation	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	

Geschlecht * FFP-Klassifikation Kreuztabelle

		FFP-Klassifikation									Gesamt	
		1a	1b	2a	2b	2c	3a	3c	4a	4b		4c
Geschlecht	Männer	5	0	1	8	9	1	0	0	2	1	27
	Frauen	29	1	6	49	36	11	4	1	41	3	181
Gesamt		34	1	7	57	45	12	4	1	43	4	208

Tab. 4 (oben) zeigt das prozentuale Auftreten von Frakturmorphologien innerhalb der FFP-Klassifikation nach Geschlechtern aufgeteilt.

Tab. 5 (links) zeigt die absoluten Patientenzahlen der Frakturmorphologien innerhalb der FFP-Klassifikation.

3.2.2 Zusammenhänge zwischen spinopelvinen Parametern und Art der Fragilitätsfraktur

Zunächst wurde der Mittelwert der einzelnen spinopelvinen Parameter (Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope, S1-Winkel) für jeden Frakturtyp ermittelt.

Es konnten im Folgenden mittels einfaktorieller ANOVA keine statistischen signifikanten Zusammenhänge zwischen der Ausprägung der spinopelvinen Parameter und den verschiedenen Frakturmorphologien gefunden werden.

Klassifikation		Pelvic Incidence	Pelvic Tilt	Sacral Slope	S1-Winkel
FFP 1a	Mittelwert	56,7°	13,2°	43,5°	60,1°
	N	34	34	34	34
	Standardabweichung	11,2°	6,4°	10,2°	7,2°
FFP 1b	Mittelwert	60,9°	14,1°	46,5°	52,6°
	N	1	1	1	1
	Standardabweichung
FFP 2a	Mittelwert	56,4°	17,1°	39,1°	56,7°
	N	7	7	7	7
	Standardabweichung	8,7°	10,3°	11,7°	3,5°
FFP 2b	Mittelwert	58,2°	13,9°	44,0°	57,7°
	N	57	57	57	57
	Standardabweichung	11,3°	7,8°	7,8°	4,8°
FFP 2c	Mittelwert	56,3°	14,5°	41,8°	58,4°
	N	45	45	45	45
	Standardabweichung	10,0°	7,7°	7,6°	5,4°
FFP 3a	Mittelwert	57,4°	12,4°	44,9°	61,4°
	N	12	12	12	12
	Standardabweichung	16,6°	9,6°	9,3°	6,7°
FFP 3c	Mittelwert	62,7°	20,8°	41,9°	58,8°
	N	4	4	4	4
	Standardabweichung	6,7°	3,5°	9,2°	4,9°
FFP 4a	Mittelwert	62,9°	19,8°	43,3°	60,7°
	N	1	1	1	1
	Standardabweichung
FFP 4b	Mittelwert	64,2°	17,1°	46,7°	58,0°
	N	43	43	43	43
	Standardabweichung	13,0°	7,0°	9,7°	6,3°
FFP 4c	Mittelwert	57,0°	15,3°	41,5°	55,8°
	N	4	4	4	4
	Standardabweichung	22,8°	10,5°	15,7°	5,9°

Tab. 6: Mittelwerte der spinopelvinen Parameter der einzelnen Frakturtypen (FFP-Klassifikation).

FFP 1a

Patienten mit FFP 1a (n=34) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $56,7^\circ (\pm 11,2^\circ)$, Pelvic Tilt von $13,2^\circ (\pm 6,4^\circ)$, Sacral Slope von $43,5^\circ (\pm 10,2^\circ)$ und S1-Winkel von $60,1^\circ (\pm 7,2^\circ)$.

FFP 1b

Nur ein Patient wurde mit FFP 1b klassifiziert, daher sind keine Mittelwerte vorhanden.

FFP 2a

Patienten mit FFP 2a (n=7) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $56,4^\circ (\pm 8,7^\circ)$, Pelvic Tilt von $17,1^\circ (\pm 10,3^\circ)$, Sacral Slope von $39,1^\circ (\pm 11,7^\circ)$ und S1-Winkel von $56,7^\circ (\pm 3,5^\circ)$.

FFP 2b

Patienten mit FFP 2b (n=57) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $58,2^\circ (\pm 11,3^\circ)$, Pelvic Tilt von $13,9^\circ (\pm 7,8^\circ)$, Sacral Slope von $44,0^\circ (\pm 7,8^\circ)$ und S1-Winkel von $57,7^\circ (\pm 4,8^\circ)$.

FFP 2c

Patienten mit FFP 2c (n=45) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $56,3^\circ (\pm 10,0^\circ)$, Pelvic Tilt von $14,5^\circ (\pm 7,7^\circ)$, Sacral Slope von $41,8^\circ (\pm 7,6^\circ)$ und S1-Winkel von $58,4^\circ (\pm 5,4^\circ)$.

FFP 3a

Patienten mit FFP 3a (n=12) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $57,4^\circ (\pm 16,6^\circ)$, Pelvic Tilt von $12,4^\circ (\pm 9,6^\circ)$, Sacral Slope von $44,9^\circ (\pm 9,3^\circ)$ und S1-Winkel von $60,1^\circ (\pm 7,2^\circ)$.

FFP 3c

Patienten mit FFP 3c (n=4) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $62,7^\circ (\pm 6,7^\circ)$, Pelvic Tilt von $20,8^\circ (\pm 3,5^\circ)$, Sacral Slope von $41,9^\circ (\pm 9,2^\circ)$ und S1-Winkel von $58,8^\circ (\pm 4,9^\circ)$.

FFP 4a

Nur ein Patient wurde mit FFP 4a klassifiziert, daher sind keine Mittelwerte vorhanden.

FFP 4b

Patienten mit FFP 4b (n=43) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $64,2^\circ (\pm 13,0^\circ)$, Pelvic Tilt von $17,1^\circ (\pm 7,0^\circ)$, Sacral Slope von $46,7^\circ (\pm 9,7^\circ)$ und S1-Winkel von $58,0^\circ (\pm 6,3^\circ)$.

FFP 4c

Patienten mit FFP 4c (n=4) hatten einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $57,0^\circ (\pm 22,8^\circ)$, Pelvic Tilt von $15,3^\circ (\pm 10,5^\circ)$, Sacral Slope von $41,5^\circ (\pm 15,7^\circ)$ und S1-Winkel von $55,8^\circ (\pm 5,9^\circ)$.

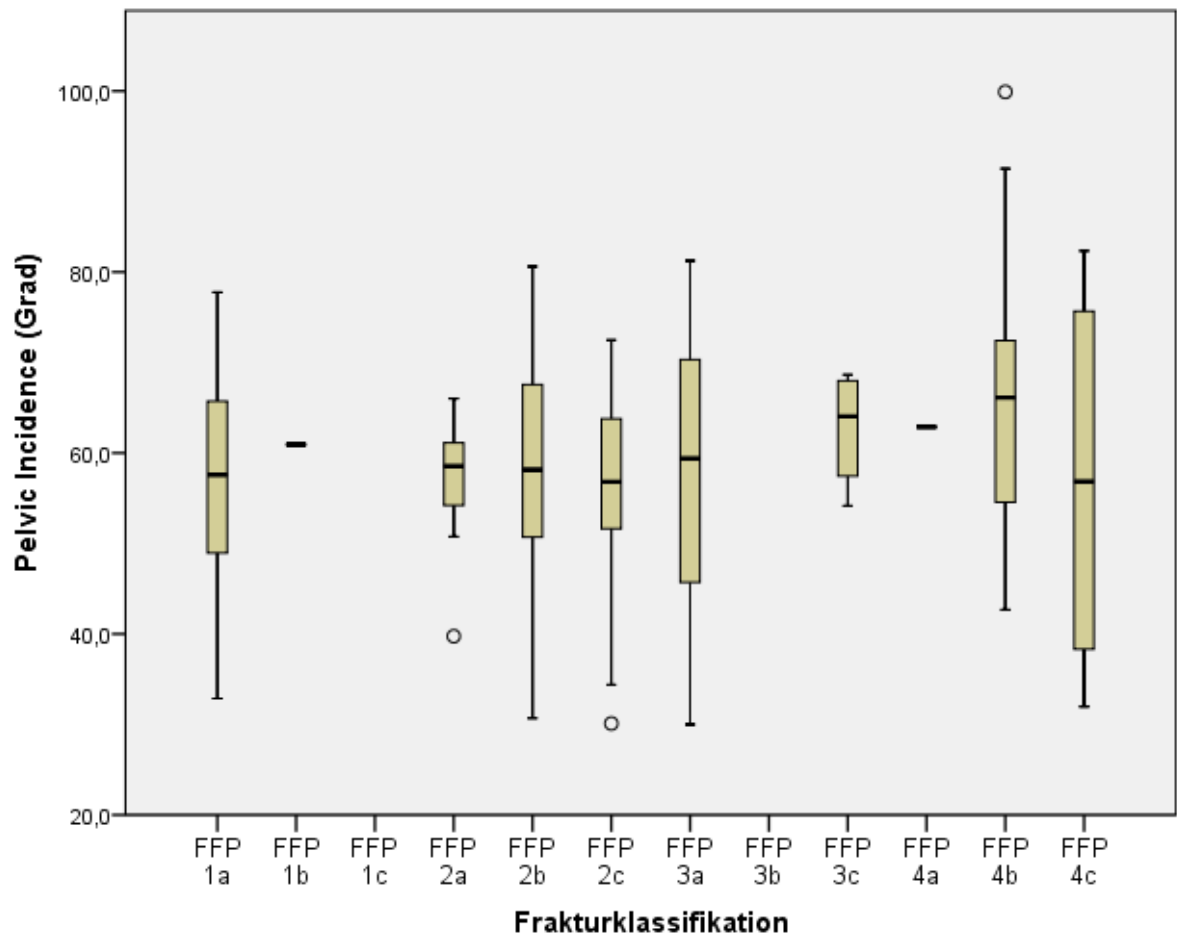


Abb. 28: Grafische Darstellung mittels Boxplot der gemessenen Werte für Pelvic

Incidence in Grad über der jeweiligen Frakturklassifikation (fragility fracture of pelvis).

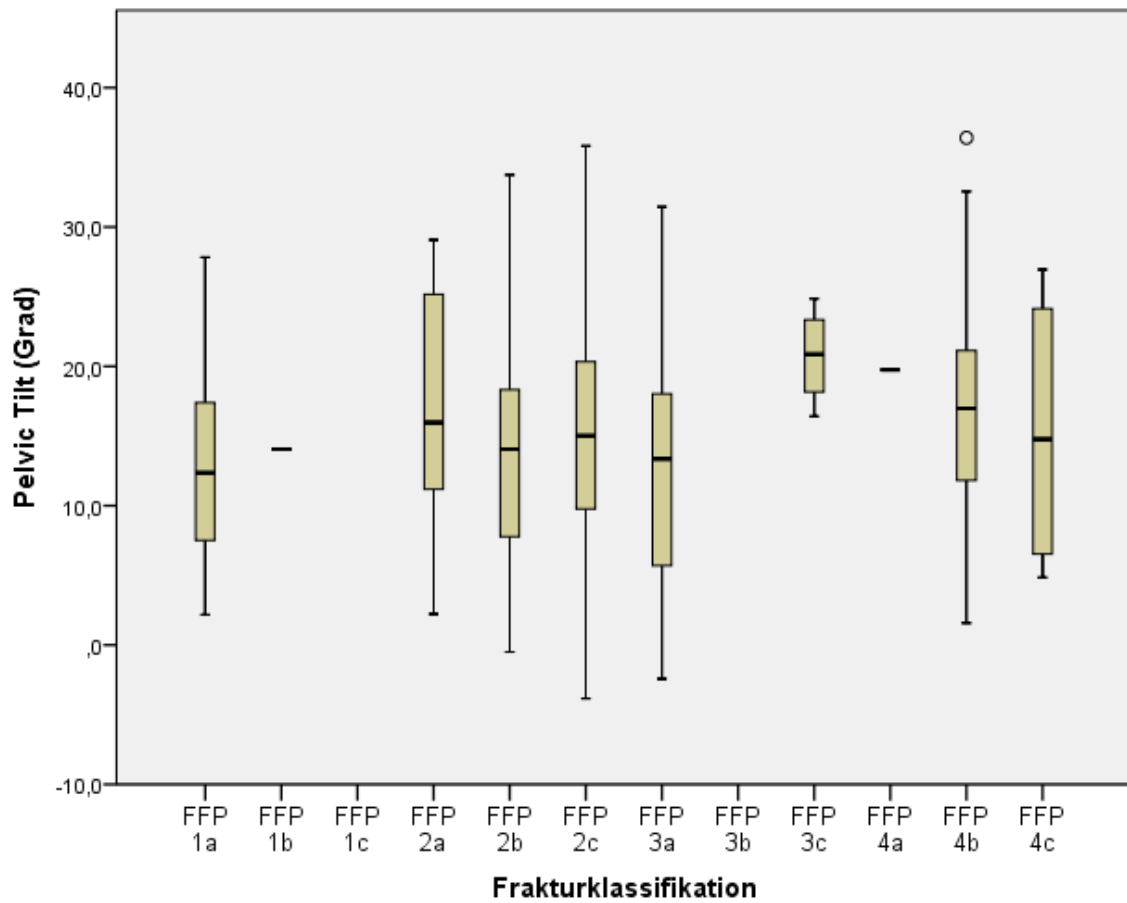


Abb. 29: Grafische Darstellung mittels Boxplot der gemessenen Werte für Pelvic

Tilt in Grad über der jeweiligen Frakturklassifikation (fragility fracture of pelvis).

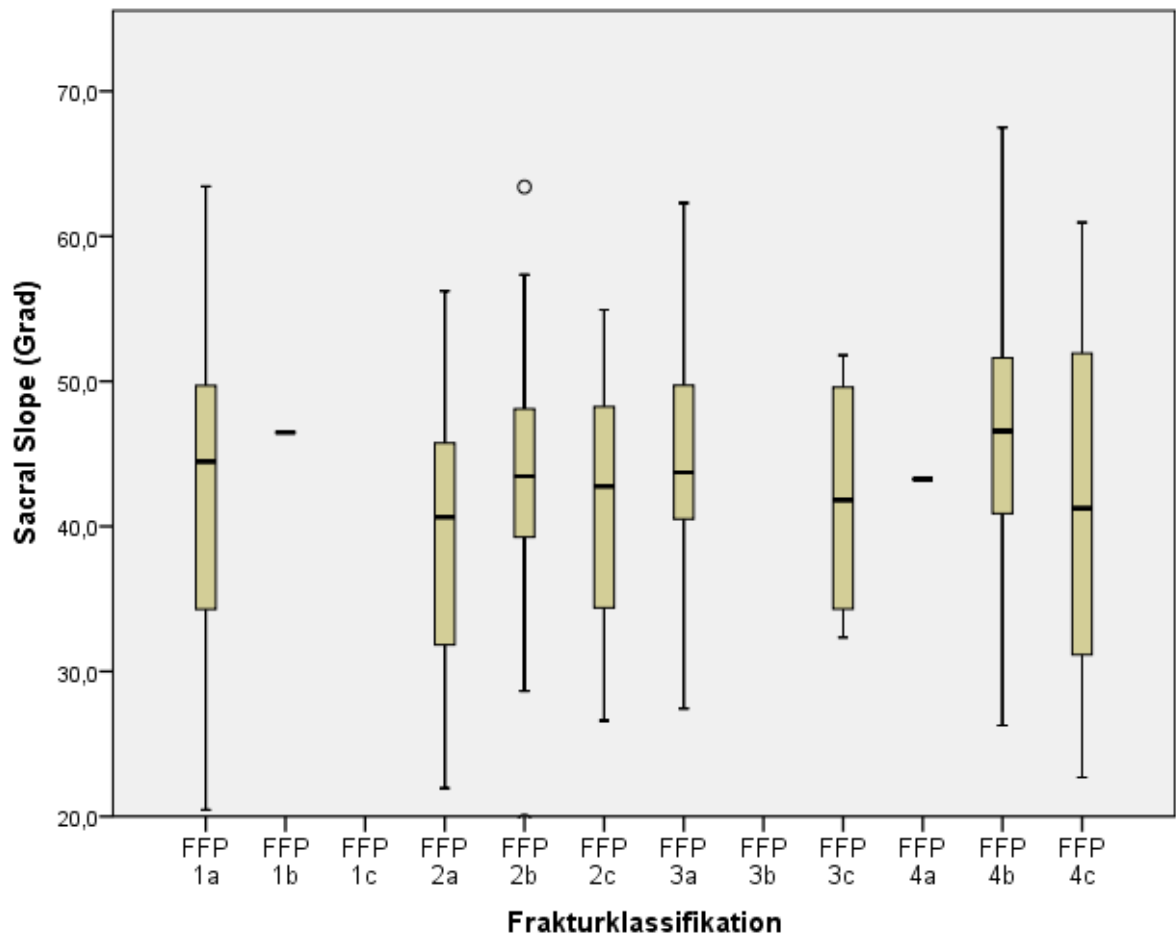


Abb. 30: Grafische Darstellung mittels Boxplot der gemessenen Werte für Sacral

Slope in Grad über der jeweiligen Frakturklassifikation (fragility fracture of pelvis).

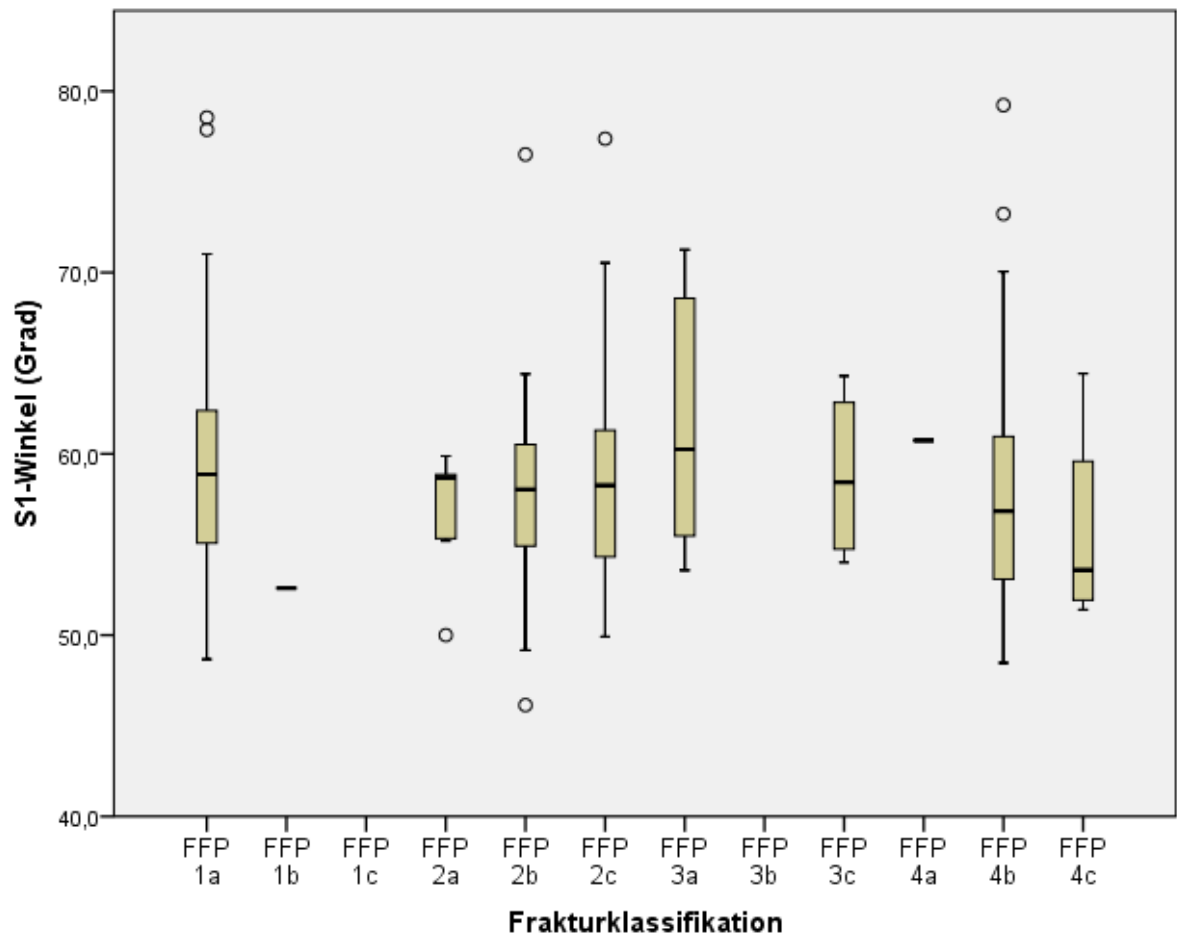


Abb. 31: Grafische Darstellung mittels Boxplot der gemessenen Werte für S1-Winkel in Grad über der jeweiligen Frakturklassifikation (fragility fracture of pelvis).

Einfaktorielle ANOVA

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Pelvic Incidence	Zwischen den Gruppen	1831,3	9	203,4	1,4	,172
	Innerhalb der Gruppen	27933,1	198	141,0		
	Gesamt	29764,5	207			
Pelvic Tilt	Zwischen den Gruppen	642,1	9	71,3	1,2	,276
	Innerhalb der Gruppen	11445,8	198	57,8		
	Gesamt	12087,9	207			
Sacral Slope	Zwischen den Gruppen	741,1	9	82,3	1,0	,430
	Innerhalb der Gruppen	16080,4	198	81,2		
	Gesamt	16821,5	207			
S1 Angle	Zwischen den Gruppen	335,8	9	37,3	1,1	,360
	Innerhalb der Gruppen	6682,6	198	33,7		
	Gesamt	7018,4	207			

Tab. 7: Mittels der einfaktoriellen ANOVA-Varianzanalyse wurde der Zusammenhang zwischen spinopelvinen Parametern und dem Auftreten innerhalb der FFP-Klassifikation statistisch überprüft. Eine Signifikanz konnte nicht nachgewiesen werden.

3.3. Vergleich der spinopelvinen Parameter beider Patientenkollektive

3.3.1 Vergleich aller gemessenen spinopelvinen Parameter

Frakturmorphologie	Geschlecht		Pelvic Incidence	Pelvic Tilt	Sacral Slope	S1-Winkel
Lendenwirbelfraktur	Männer	Mittelwert	52,2°	17,5°	34,5°	55,4°
		N	30	30	30	30
		Standardabweichung	10,1	9,2	10,6	7,4
	Frauen	Mittelwert	56,9°	22,0°	36,0°	53,5°
		N	37	37	37	37
		Standardabweichung	14,6	11,2	11,7	7,8
	Insgesamt	Mittelwert	54,8°	20,0°	35,4°	54,4°
		N	67	67	67	67
Standardabweichung		12,9	10,5	11,2	7,7	
Beckenringfraktur	Männer	Mittelwert	54,4°	12,6°	41,5°	61,8°
		N	27	27	27	27
		Standardabweichung	11,5	7,3	8,9	6,3
	Frauen	Mittelwert	59,4°	15,1°	44,1°	58,0°
		N	181	181	181	181
		Standardabweichung	11,0	7,7	9,0	5,6
	Insgesamt	Mittelwert	58,8°	14,8°	43,8°	58,5°
		N	208	208	208	208
Standardabweichung		12,0	7,7	9,0	5,8	

Tab. 8 zeigt die Mittelwerte, Populationsgröße (N) und die Standardabweichung der vier gemessenen spinopelvinen Parametern (Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope, S1-Winkel) aufgeteilt nach Frakturmorphologie und Geschlecht.

Geschlecht	Frakturtyp		Pelvic Incidence	Pelvic Tilt	Sacral Slope	S1-Winkel
Männer	Lendenwirbelfraktur	Mittelwert	52,2°	17,5°	34,5°	55,4°
		N	30	30	30	30
		Standardabweichung	10,1°	9,2°	10,6°	7,4°
	Beckenringfraktur	Mittelwert	54,4°	12,6°	41,5°	61,8°
		N	27	27	27	27
		Standardabweichung	11,5°	7,3°	8,9°	6,3°
	Insgesamt	Mittelwert	53,3°	15,2°	37,8°	58,5°
		N	57	57	57	57
		Standardabweichung	10,7°	8,6°	10,4°	7,6°
Frauen	Lendenwirbelfraktur	Mittelwert	56,9°	22,0°	36,0°	53,5°
		N	37	37	37	37
		Standardabweichung	14,6°	11,2°	11,7°	7,8°
	Beckenringfraktur	Mittelwert	59,4°	15,1°	44,1°	58,0°
		N	181	181	181	181
		Standardabweichung	12,0	7,7	9,0	5,6
	Insgesamt	Mittelwert	59,0°	16,3°	42,8°	57,2°
		N	218	218	218	218
		Standardabweichung	12,5°	8,7°	10,0°	6,2°

Tab. 9 zeigt die Mittelwerte, Populationsgröße (N) und die Standardabweichung der vier gemessenen spinopelvinen Parametern (Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope, S1-Winkel) aufgeteilt nach Geschlecht und Fraktur.

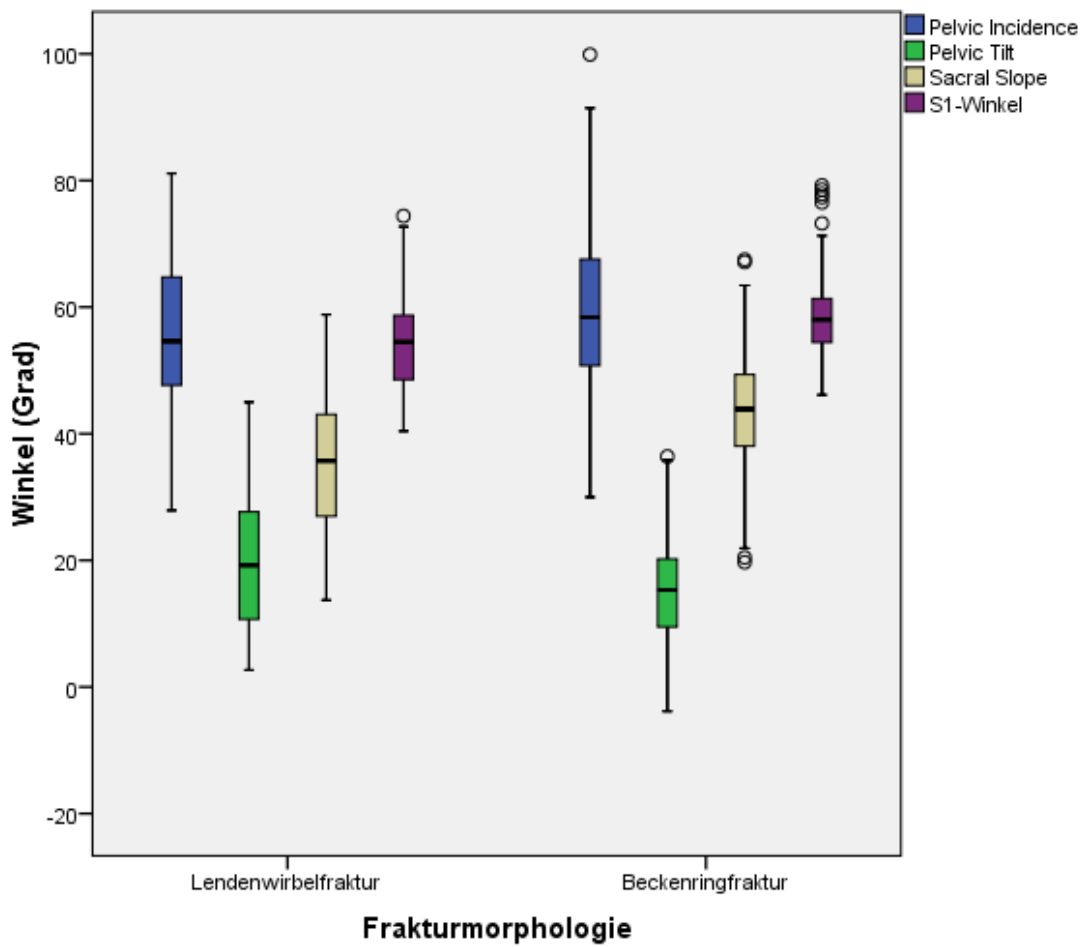


Abb. 31: Die einzelnen spinopelvinen Parameter sind als Boxplot über die zugehörigen Frakturmorphologien aufgetragen.

3.3.2 Pelvic Incidence

Die univariate Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Pelvic Incidence ($p = ,013$), nicht aber zwischen der Frakturmorphologie und dem Pelvic Incidence.

Statistische Auswertung zu Pelvic Incidence

Die Patientenpopulation mit der Diagnose „Lendenwirbelfraktur“ ($n=67$) weist durchschnittlich einen Pelvic Incidence von $54,8^\circ$ ($\pm 12,9^\circ$) auf. Männliche Patienten ($n=30$) haben im Durchschnitt einen Pelvic Incidence von $52,2^\circ$ ($\pm 10,1^\circ$), weibliche Patienten ($n=37$) $56,9^\circ$ ($\pm 14,6^\circ$). Das Minimum liegt bei $27,9^\circ$ und das Maximum bei $81,1^\circ$. Abb. 32 gibt einen guten Überblick.

Patienten mit Beckenringfrakturen ($n=208$) weisen einen leicht höheren Wert von $58,8^\circ$ ($\pm 12,0^\circ$) auf, als Patienten mit Lendenwirbelfrakturen. Männer ($n=27$) haben einen durchschnittlichen Pelvic Incidence von $54,4^\circ$ ($\pm 11,5^\circ$), Frauen ($n=181$) $59,4^\circ$ ($\pm 12,0^\circ$). Das Minimum liegt bei $30,0^\circ$ und das Maximum bei $99,9^\circ$.

Mit Hilfe statistischer (Kolmogorov-Smirnov-Test) und grafischer Analysen (Q-Q Diagramm) konnte keine Abweichung von der Normalverteilung für beide Patientenkollektive festgestellt werden (Lendenwirbelfraktur: KS-Test = $,416$; Beckenringfraktur: KS-Test = $,694$).

	Frakturmorphologie	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Pelvic	Lendenwirbelfraktur	67	54,8	12,9	1,5
Incidence	Beckenringfraktur	208	58,7	11,9	,8

Tab. 10: Deskriptive Statistik mit Mittelwerten des Pelvic Incidence der untersuchten Patientenkollektive.

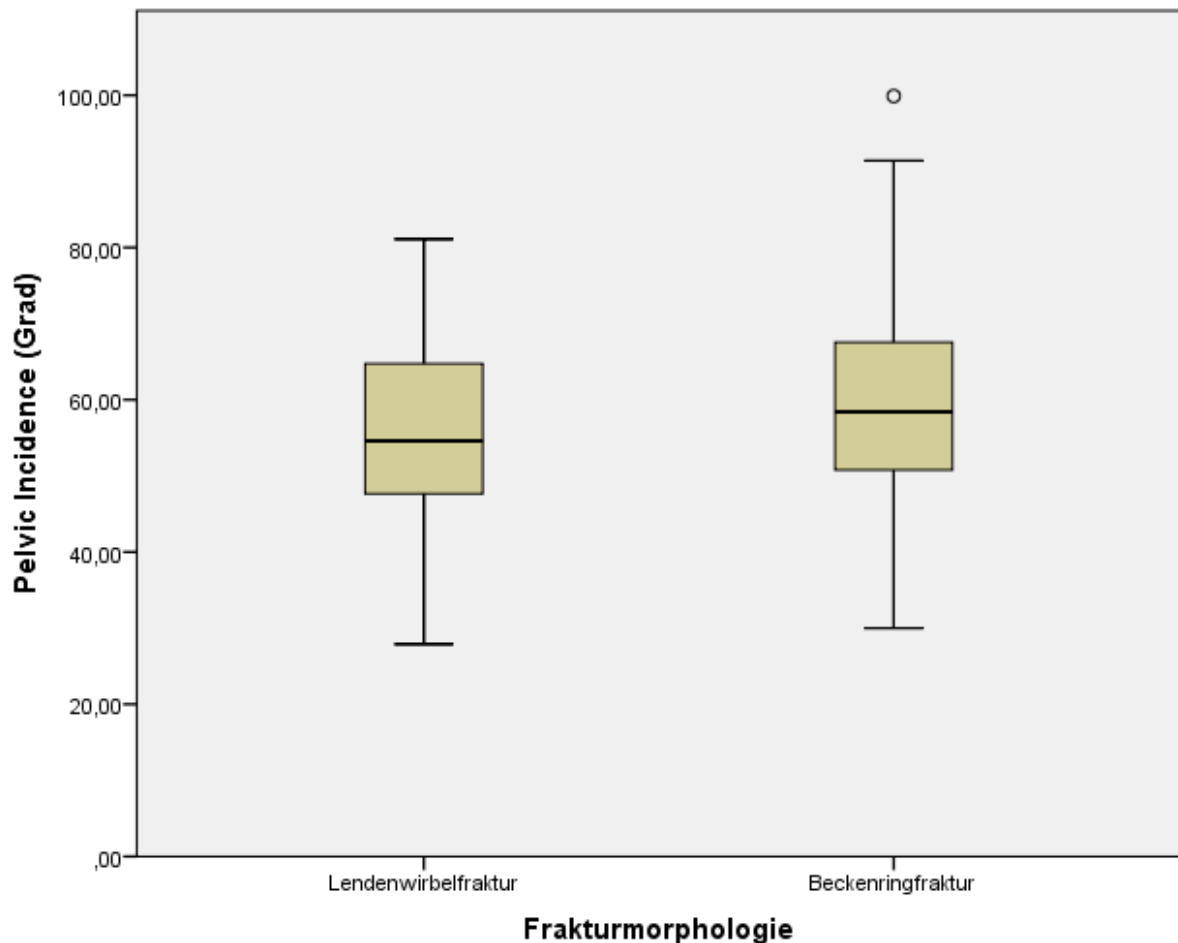


Abb. 32: Boxplot der Werte von Pelvic Incidence (Grad) unterteilt in die verschiedenen Frakturmorphologien.

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Pelvic Incidence

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	1758,24 ^a	3	586,08	3,98	,008
Konstanter Term	483201,65	1	483201,65	3287,68	,000
Geschlecht	920,85	1	920,85	6,26	,013
Frakturmorphologie	219,35	1	219,35	1,49	,223
Geschlecht * Frakturmorphologie	,55	1	,55	,004	,951
Fehler	39829,79	271	146,97		
Gesamt	960884,41	275			
Korrigierte Gesamtvariation	41588,04	274			

a. R-Quadrat = ,042 (korrigiertes R-Quadrat = ,032)

Tab. 11: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse des spinopelvinen Parameters Pelvic Incidence in Korrelation mit dem Geschlecht, der Frakturmorphologie und der Kombination aus beiden Parametern.

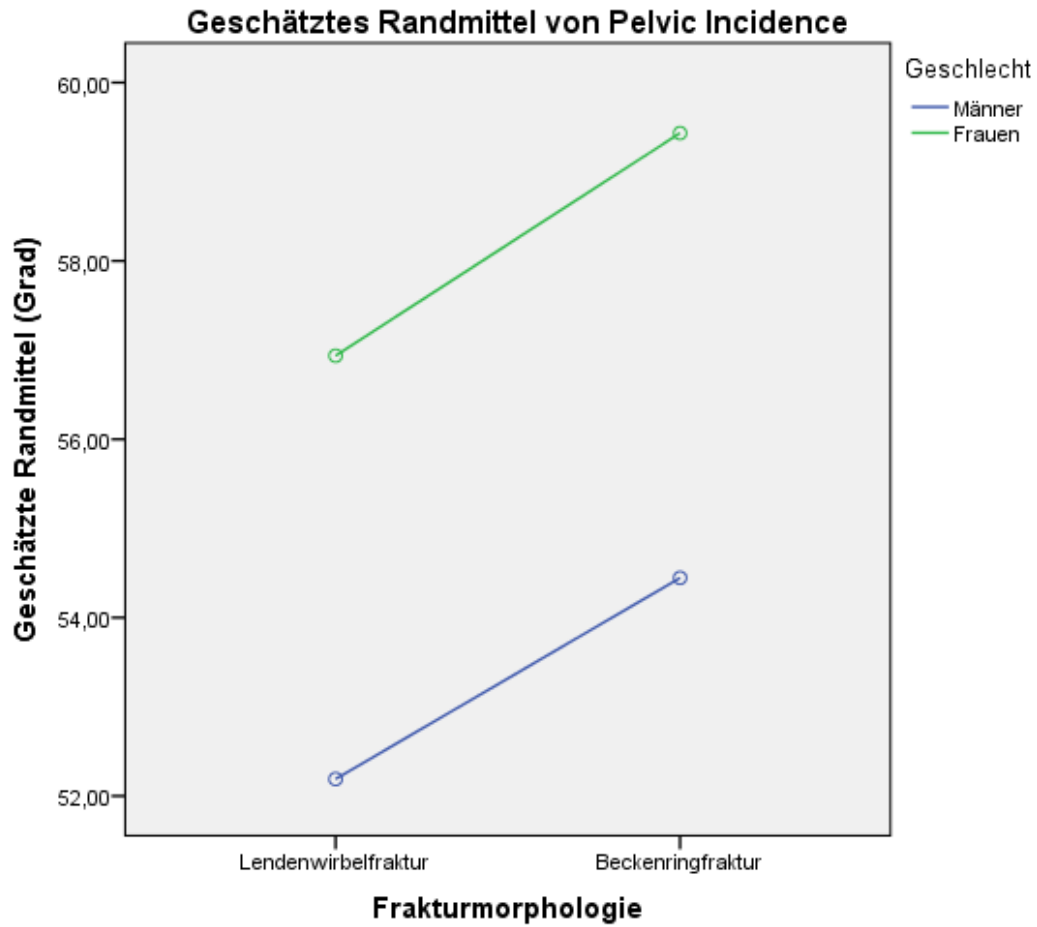


Abb. 33 zeigt die geschätzten Randmittel von Pelvic Incidence (Grad) mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.

3.3.3 Pelvic Tilt

Die univariate Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Zusammenhang des Pelvic Tilts mit dem Frakturtyp ($p=,000$). Zudem gibt es signifikante Unterschiede hinsichtlich des Geschlechts ($p=,009$).

Statistische Auswertung zu Pelvic Tilt

Die Patientenpopulation mit der Diagnose „Lendenwirbelfraktur“ ($n=67$) weist durchschnittlich einen Pelvic Tilt von $20,0^\circ$ ($\pm 10,5^\circ$) auf. Männliche Patienten ($n=30$) haben im Durchschnitt einen Pelvic Tilt von $14,5^\circ$ ($\pm 9,2^\circ$), weibliche Patienten ($n=37$) $22,0^\circ$ ($\pm 11,2^\circ$). Das Minimum liegt bei $2,7^\circ$ und das Maximum bei 45° . Abb. 34 gibt einen guten Überblick.

Patienten mit Beckenringfrakturen ($n=208$) weisen einen leicht niedrigeren Wert von $14,8^\circ$ ($\pm 7,6^\circ$) auf, als Patienten mit Lendenwirbelfrakturen. Männer ($n=27$) haben einen durchschnittlichen Pelvic Tilt von $12,6^\circ$ ($\pm 7,3^\circ$), Frauen ($n=181$) $15,1^\circ$ ($\pm 7,7^\circ$). Das Minimum liegt bei $-3,8^\circ$ und das Maximum bei $36,4^\circ$.

Mit Hilfe statistischer (Kolmogorov-Smirnov-Test) und grafischer Analyse (Q-Q Diagramm) konnte eine Normalverteilung für beide Patientenkollektive belegt werden (Lendenwirbelfraktur: KS-Test = $,772$; Beckenringfraktur: KS-Test = $,512$).

	Frakturmorphologie	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Pelvic Tilt	Lendenwirbelfraktur	67	20,0	10,53	1,28
	Beckenringfraktur	208	14,8	7,64	,52

Tab. 12: Deskriptive Statistik mit Mittelwerten des Pelvic Tilts der untersuchten Patientenkollektive.

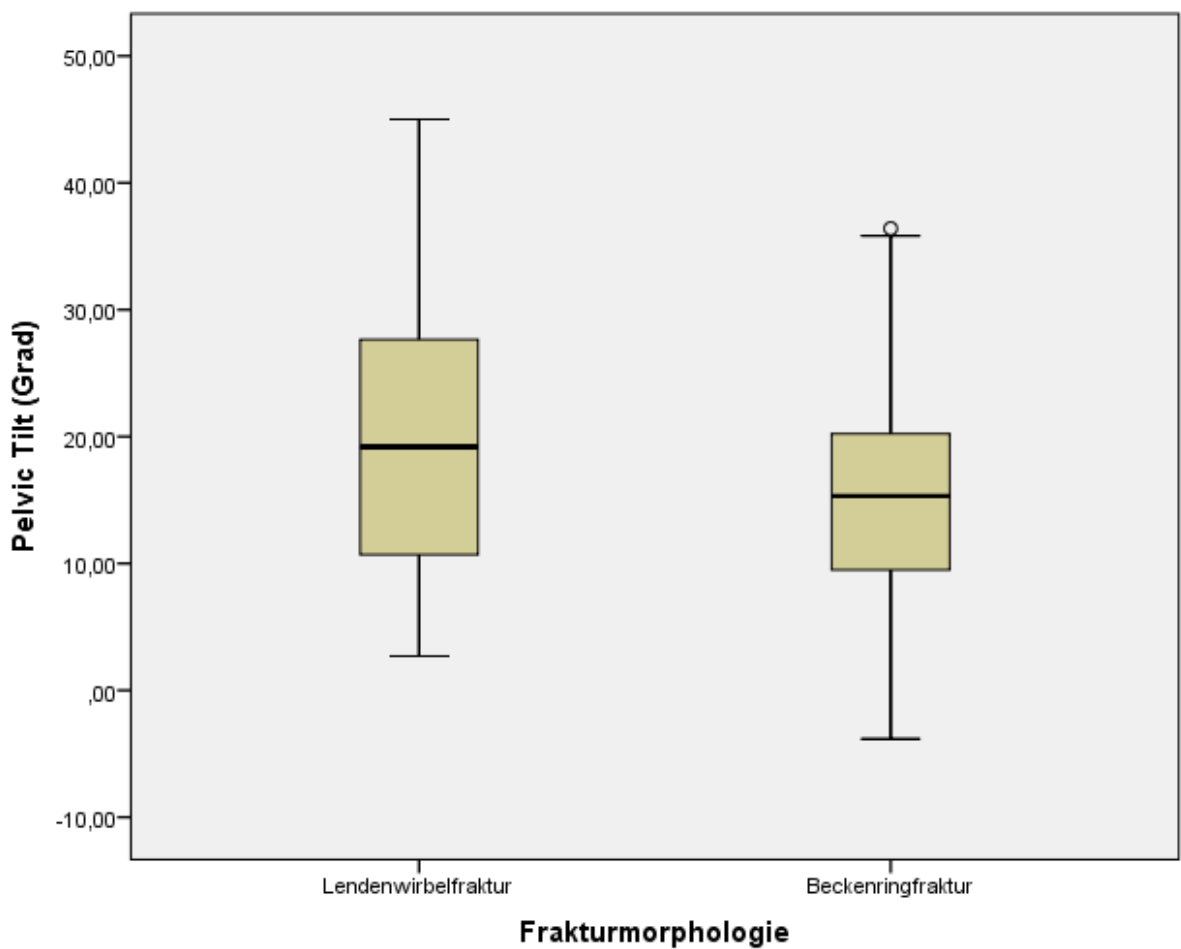


Abb. 34: Boxplot der Werte von Pelvic Tilt (Grad) unterteilt in die verschiedenen Frakturmorphologien.

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Pelvic Tilt

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	1851,46 ^a	3	617,15	8,83	,000
Konstanter Term	43862,03	1	43862,03	628,21	,000
Geschlecht	486,35	1	486,35	6,96	,009
Frakturmorphologie	1347,43	1	1347,43	19,29	,000
Geschlecht * Frakturmorphologie	37,72	1	37,72	,540	,463
Fehler	18921,24	271	69,82		
Gesamt	91701,69	275			
Korrigierte Gesamtvariation	20772,70	274			

a. R-Quadrat = ,089 (korrigiertes R-Quadrat = ,079)

Tab. 13: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse des spinopelvinen Parameters Pelvic Tilt in Korrelation mit dem Geschlecht, der Frakturmorphologie und der Kombination aus beiden Parametern.

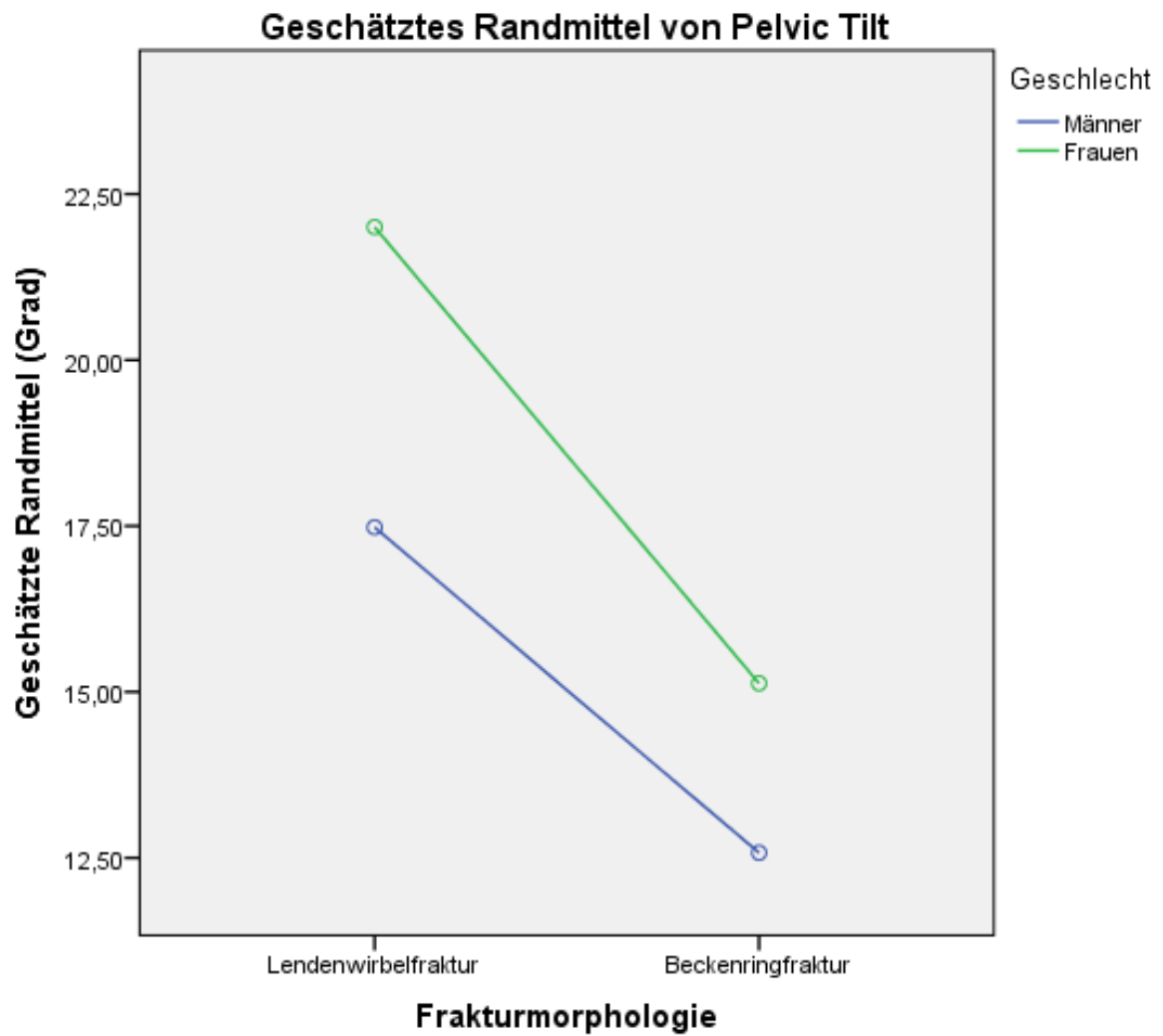


Abb. 35 zeigt die geschätzten Randmittel von Pelvic Tilt (Grad) mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.

3.3.4 Sacral Slope

Die univariate Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Frakturmorphologien ($p = ,000$) bzgl. der Ausprägung des Sacral Slope.

Kein signifikanter Zusammenhang besteht zwischen dem Geschlecht und der Ausprägung des Sacral Slopes ($p = ,178$).

Statistische Auswertung zu Sacral Slope

Die Patientenpopulation mit der Diagnose „Lendenwirbelfraktur“ ($n=67$) weist durchschnittlich einen Sacral Slope von $35,4^\circ (\pm 11,2^\circ)$ auf. Männliche Patienten ($n=30$) haben im Durchschnitt einen Sacral Slope von $34,5^\circ (\pm 10,6^\circ)$, weibliche Patienten ($n=37$) $36,0^\circ (\pm 11,7^\circ)$. Das Minimum liegt bei $13,7^\circ$ und das Maximum bei $58,8^\circ$. Abb. 36 gibt einen guten Überblick.

Patienten mit Beckenringfrakturen ($n=208$) weisen einen höheren Wert von $43,8^\circ (\pm 9,0^\circ)$ auf, als Patienten mit Lendenwirbelfrakturen. Männer ($n=27$) haben einen durchschnittlichen Sacral Slope von $41,5^\circ (\pm 8,9^\circ)$, Frauen $44,1^\circ (\pm 9^\circ)$. Das Minimum liegt bei $19,7^\circ$ und das Maximum bei $67,5^\circ$.

Mit Hilfe statistischer (Kolmogorov-Smirnov-Test) und grafischer Analyse (Q-Q Diagramm) konnte eine Normalverteilung für beide Patientenkollektive belegt werden (Lendenwirbelfraktur: KS-Test = $,351$; Beckenringfraktur: KS-Test = $,739$).

	Frakturmorphologie	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Sacral	Lendenwirbelfraktur	67	35,4	11,2	1,36
Slope	Beckenringfraktur	208	43,8	9,0	,62

Tab. 14: Deskriptive Statistik mit Mittelwerten des Sacral Slopes der untersuchten Patientenkollektive.

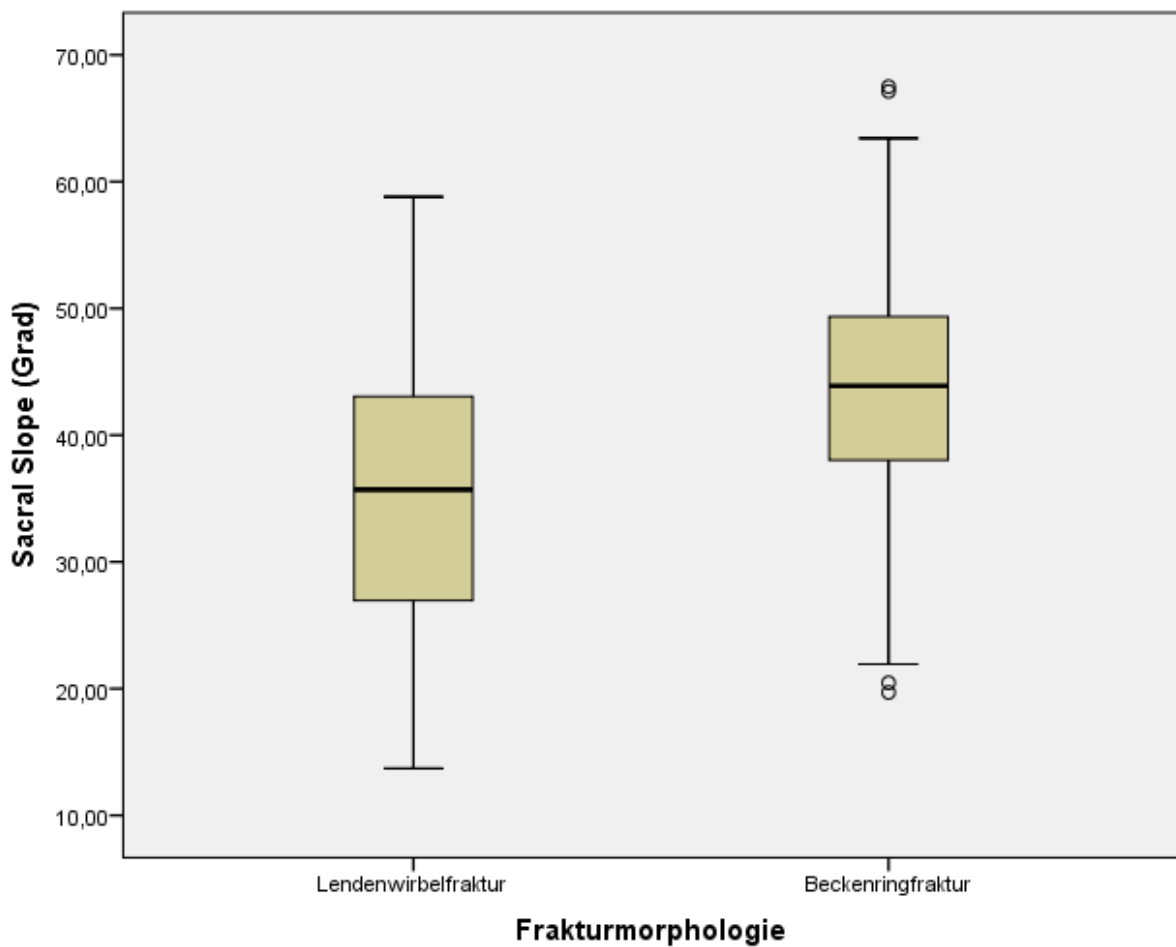


Abb. 36: Boxplot der Werte von Sacral Slope (Grad) unterteilt in die verschiedenen Frakturmorphologien.

Abhängige Variable: Sacral Slope

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	3816,5 ^a	3	1272,1	13,8	,000
Konstanter Term	237163,3	1	237163,3	2587,6	,000
Geschlecht	167,0	1	167,0	1,8	,178
Frakturmorphologie	2219,8	1	2219,8	24,2	,000
Geschlecht * Frakturmorphologie	11,6	1	11,6	,127	,722
Fehler	24838,1	271	91,6		
Gesamt	507982,6	275			
Korrigierte Gesamtvariation	28654,6	274			

5 a. R-Quadrat = ,133 (korrigiertes R-Quadrat = ,124)

: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse des spinopelvinen

Parameters Sacral Slope in Korrelation mit dem Geschlecht, der Frakturmorphologie und der Kombination aus beiden Parametern.

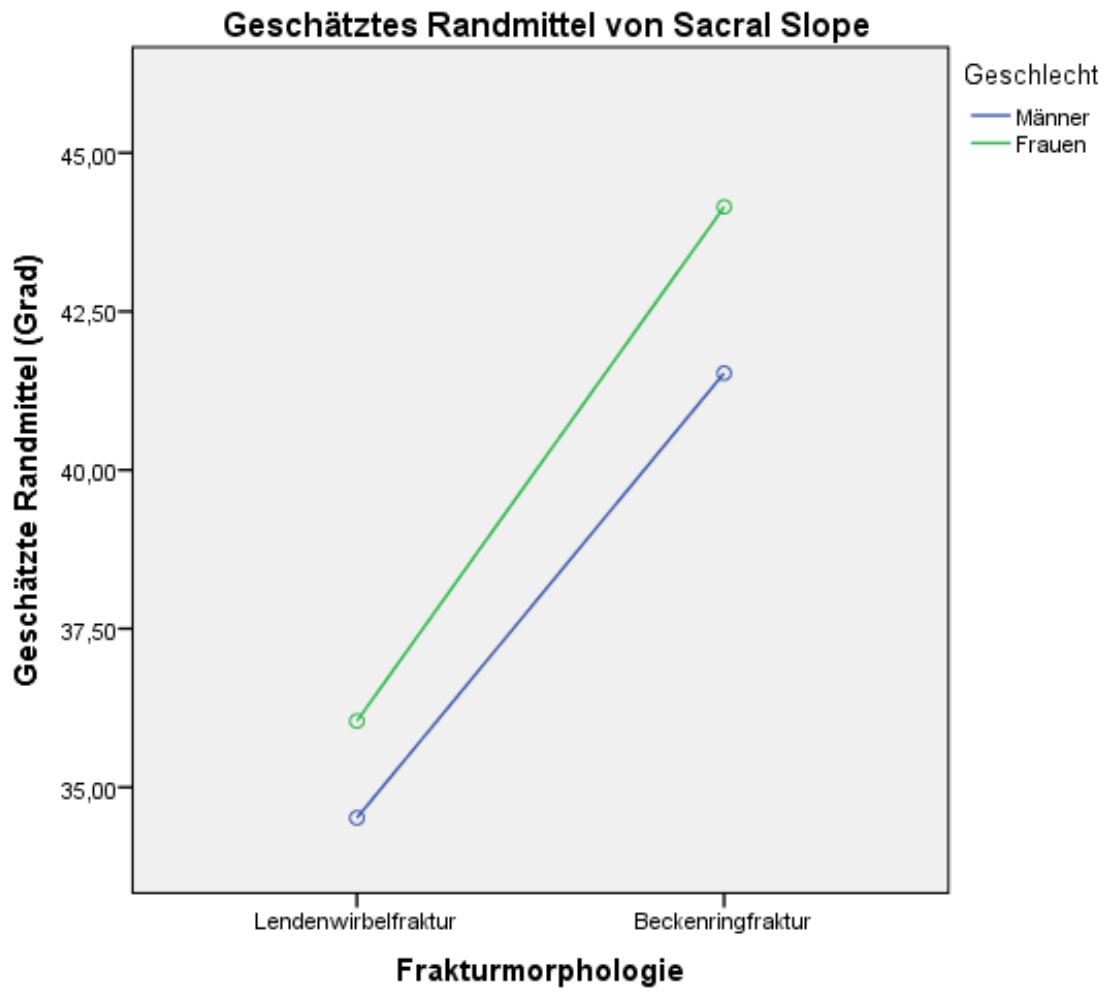


Abb. 37 zeigt die geschätzten Randmittel von Sacral Slope (Grad) mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.

3.3.5 S1-Winkel

Die univariate Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen dem S1-Winkel und der Frakturmorphologie ($p = ,004$). Zudem gibt es signifikante Unterschiede hinsichtlich des Geschlechts ($p = ,000$).

Statistische Auswertung zu S1-Winkel

Die Patientenpopulation mit der Diagnose „Lendenwirbelfraktur“ ($n=67$) weist durchschnittlich einen S1-Winkel von $54,4^\circ (\pm 7,7^\circ)$ auf. Männliche Patienten ($n=30$) haben im Durchschnitt einen S1-Winkel von $55,4^\circ (\pm 7,4^\circ)$, weibliche Patienten ($n=37$) $53,5^\circ (\pm 7,8^\circ)$. Das Minimum liegt bei $40,4^\circ$ und das Maximum bei $74,4^\circ$. Abb. 38 gibt einen guten Überblick.

Patienten mit Beckenringfrakturen ($n=208$) weisen einen leicht höheren Wert von $58,5^\circ (\pm 5,8^\circ)$ auf, als Patienten mit Lendenwirbelfrakturen. Männer ($n=27$) haben einen durchschnittlichen S1-Winkel von $61,8^\circ (\pm 6,3^\circ)$, Frauen ($n=181$) $58,0^\circ (\pm 5,6^\circ)$. Das Minimum liegt bei $46,1^\circ$ und das Maximum bei $79,2^\circ$.

Mit Hilfe statistischer (Kolmogorov-Smirnov-Test) und grafischer Analyse (Q-Q Diagramm) konnte eine Normalverteilung für beide Patientenkollektive belegt werden (Lendenwirbelfraktur: KS-Test = $,513$; Beckenringfraktur: KS-Test = $1,062$).

	Frakturmorphologie	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
S1-Winkel	Lendenwirbelfraktur	67	54,4	7,7	,93
	Beckenringfraktur	208	58,5	5,8	,40

Tab. 15: Deskriptive Statistik mit Mittelwerten des S1-Winkels der untersuchten Patientenkollektive.

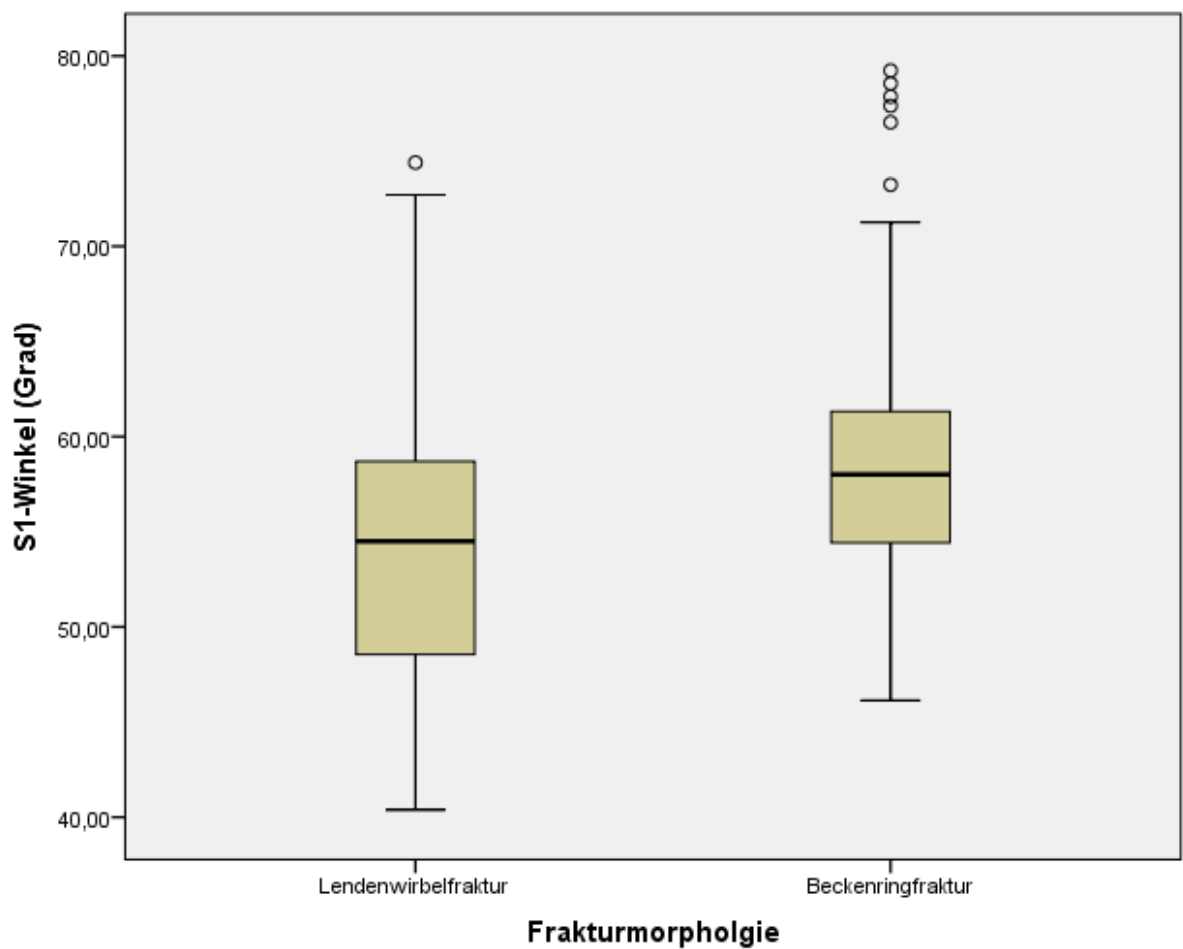


Abb. 38: Boxplot der Werte von S1-Winkel (Grad) unterteilt in die verschiedenen Frakturmorphologien.

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: S1-Winkel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	1269,8 ^a	3	423,2	10,9	,000
Konstanter Term	508125,3	1	508125,3	13131,4	,000
Geschlecht	332,5	1	332,5	8,5	,004
Frakturmorphologie	1146,5	1	1146,5	29,6	,000
Geschlecht * Frakturmorphologie	34,6	1	34,6	,894	,345
Fehler	10486,4	271	38,6		
Gesamt	919567,9	275			
Korrigierte Gesamtvariation	11756,2	274			

a. R-Quadrat = ,108 (korrigiertes R-Quadrat = ,098)

Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse des spinopelvinen

Parameters S1-Winkel in Korrelation mit dem Geschlecht, der Frakturmorphologie und der Kombination aus beiden Parametern.

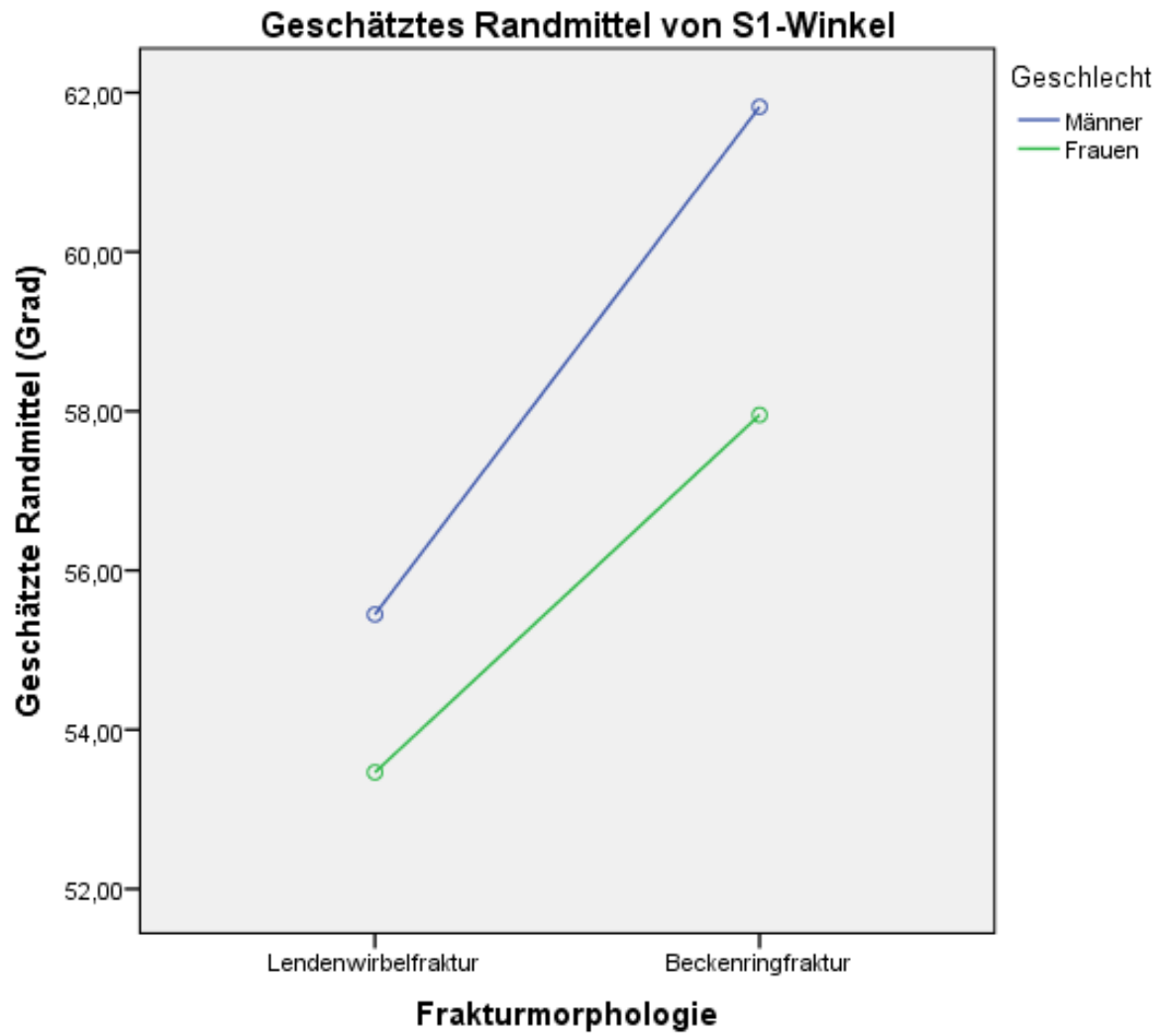


Abb. 39 zeigt die geschätzten Randmittel von S1-Winkel (Grad) mit Unterscheidung nach Geschlecht und Frakturmorphologie.

3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

- a) Eine Korrelation zwischen den (Beckenring-) Frakturmorphologien (FFP-Klassifikation) und den spinopelvinen Parametern Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope und S1-Winkel konnte nicht nachgewiesen werden.
- b) Die Parameter Pelvic Tilt, Sacral Slope und der S1-Winkel zeigen statistisch signifikante Unterschiede bzgl. der Frakturmorphologie. So hatten Patienten mit Beckenringfrakturen einen höheren Sacral Slope ($43,8^\circ$ zu $35,4^\circ$), einen niedrigeren Pelvic Tilt ($14,8^\circ$ zu 20°) und einen höheren S1-Winkel ($58,5^\circ$ zu $54,4^\circ$) als Patienten mit Lendenwirbelfrakturen.

Die Parameter Pelvic Incidence, Pelvic Tilt und der S1-Winkel zeigen statistisch signifikante Unterschiede bzgl. des Geschlechts. Männliche Patienten wiesen einen niedrigeren Pelvic Incidence ($53,3^\circ$ zu $59,0^\circ$), niedrigeren Pelvic Tilt ($15,2^\circ$ zu $16,3^\circ$) und leicht höheren S1-Winkel ($58,5^\circ$ zu $57,2^\circ$) als weibliche Patienten auf.

Pelvic Incidence			
Geschlecht	p = ,013	Männer:	53,3°
		Frauen:	59,0°
Frakturmorphologie	p = ,223		
Geschlecht*Frakturmorphologie	p = ,951		
Pelvic Tilt			
Geschlecht	p = ,009	Männer:	15,2°
		Frauen:	16,3°
Frakturmorphologie	p = ,000	Beckenringfr.:	14,8°
		Lendenwirbelfr.:	20,0°
Geschlecht*Frakturmorphologie	p = ,463		
Sacral Slope			
Geschlecht	p = ,178		
Frakturmorphologie	p = ,000	Beckenringfr.:	43,8°
		Lendenwirbelfr.:	35,4°
Geschlecht*Frakturmorphologie	p = ,722		
S1-Winkel			
Geschlecht	p = ,004	Männer:	58,5°
		Frauen:	57,2°
Frakturmorphologie	p = ,000	Beckenringfr.:	58,5°
		Lendenwirbelfr.:	54,4°
Geschlecht*Frakturmorphologie	p = ,345		

Tab. 18: Übersicht der Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse der einzelnen spinopelvinen Parametern.

4. Diskussion

4.1 Vergleich zur Studie von Rommens und Hofmann (2013)

Die epidemiologischen Resultate aus Kapitel 3.2.1 sind vergleichbar mit der Studie von Rommens et Hofmann aus dem Jahr 2013. Da Rommens et Hofmann ein niedrigeres minimales Alter (> 65 zu > 70 Jahre) wählten, weicht das durchschnittliche Alter im Vergleich leicht ab (79,2 zu 85,9 Jahre). Die Populationsgrößen (n=245 und n=208) verhalten sich hingegen nahezu identisch.

Zunächst lässt sich anhand der prozentualen Verteilung klar feststellen, dass ein Großteil der Patienten weiblich ist (80,8 % und 87 %), was auf die erhöhte Inzidenz an Osteoporose zu erkranken, hinweist (4).

Die Auswertung nach FFP-Klassifikation ergab kongruente Resultate.

FFP-Klassifikation	Rommens und Hofmann (2013)	Falko v. Haaren (2018)
Ia	17,6 %	16,4 %
Ib	0,4 %	0,5 %
Ic	0 %	0 %
IIa	1,2 %	3,4 %
IIb	24,1 %	27,4 %
IIc	26,5 %	21,6 %
IIIa	8,2 %	5,7 %
IIIb	1,6 %	0 %
IIIc	1,2 %	1,9 %
IVa	0,8 %	0,5 %
IVb	15,1 %	20,7 %
IVc	3,3 %	1,9 %

Tab. 19 zeigt die prozentuale Verteilung beider durchgeführter Studien.

Es bestätigen sich die Resultate, dass knapp fast 50% der Patienten an nicht dislozierten Sakrumfrakturen des Alae (Dennis 1) mit oder ohne Beteiligung des vorderen Beckenrings leiden. Diese Frakturmorphologie ist oft Folge eines Sturzes aus niedriger Höhe, zudem ist eine Fraktur in der transalaren Zone des Sakrums ein Hinweis auf eine Ermüdungsfraktur. Weiterhin treten vermehrt FFP IVb Frakturen auf, welche eine bilaterale sakrale Fraktur beschreiben und zu einer maximalen Instabilität führen.

Anhand der Finite-Elemente-Methode wurden die Belastungen auf ein Becken bestimmt, die aus unterschiedlichen Neigungswinkeln (Pelvic Tilt) resultieren. Durch eine retrograde Neigung des Beckens (typisch für ältere Menschen) kommt es zu erhöhten Belastungen des Sakrums, welche vermehrt zu nichtdislozierten Frakturen des Sakrums (IIb, IIc) und bilateralen, vertikalen Frakturen der Massa lateralis des Sakrums (IVb) führen (73).

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den spinopelvinen Parametern Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope, S1-Winkel und der Frakturmorphologie des Beckenrings innerhalb der FFP-Klassifikation besteht.

4.2 Lendenwirbelfrakturen versus Beckenwirbelfrakturen

Bisher untersuchten nur wenige Studien bisher die Korrelation zwischen den spinopelvinen Parametern und Frakturen im Becken- und Wirbelsäulenbereich (70). Je nach Literatur variieren die Normwerte für die spinopelvinen Parameter (11, 12, 53-56). Legaye et al. nannte folgende durchschnittliche Werte:

Pelvic Incidence: $\bar{\varnothing}$ 50,7°, Pelvic Tilt: $\bar{\varnothing}$ 11,1°, Sacral Slope: $\bar{\varnothing}$ 39,9°.

Da der Pelvic Incidence die Summe aus Sacral Slope und Pelvic Tilt ist, haben Patienten mit erhöhtem Pelvic Incidence rein rechnerisch einen erhöhten Sacral Slope und / oder einen erhöhten Pelvic Tilt (12). Untersuchungen zeigen jedoch, dass hauptsächlich der Sacral Slope erhöht ist, was folglich zu einer Verstärkung der lumbalen Lordose und zu einer sagittalen Imbalance führt (68, 69). Diese ist nachweislich eine Prädisposition für eine erhöhte Sturz- und Frakturwahrscheinlichkeit (69). Die signifikant erhöhten Werte für Pelvic Incidence ($56,8^\circ$) und Pelvic Tilt ($17,4^\circ$) in unserer Untersuchung bestätigen die aktuelle Studienlage.

Differenziert man nun die daraus resultierenden verschiedenen Frakturmorphologien, ergeben sich signifikant unterschiedliche Werte für Patientenpopulationen (< 65 Jahre) mit Lendenwirbel- und Beckenringfrakturen.

Patienten mit Lendenwirbelfrakturen wiesen im Vergleich zu Patienten mit Beckenringfrakturen einen signifikant erhöhten Pelvic Tilt auf ($20,0^\circ$ zu $14,8^\circ$; $p=,000$). Umgekehrt verhielt es sich bei den gemessenen Werten des Sacral Slopes. Patienten mit Beckenringfrakturen wiesen einen signifikant erhöhten Wert von $43,8^\circ$ zu $35,4^\circ$ (Lendenwirbelfraktur; $p=,000$) auf. Diese Ergebnisse bestätigen zwar die Untersuchungen von T. Sato, dass Patienten mit Fragilitätsfrakturen des Beckenrings generell einen erhöhten Wert für Pelvic Tilt aufweisen, jedoch sind die durchschnittlich gemessenen Werte von T. Sato ca. 60 % höher ($32,3^\circ$ zu $20,0^\circ$) (73).

D. Kim et al. beschreibt 2015, dass Patienten mit Wirbelsäulenfrakturen einen signifikant höheren Pelvic Incidence ($51,0^\circ$ zu $43,4^\circ$) und Pelvic Tilt ($22,1^\circ$ zu $13,7^\circ$) aufweisen als gesunde Patienten (72). Unsere Studie bestätigt diese Ergebnisse mit vergleichbaren, signifikant erhöhten Werten für Pelvic Incidence ($54,8^\circ$) und Pelvic Tilt (20°). Zusätzlich konnten wir zeigen, dass sich der Pelvic Incidence innerhalb der untersuchten Frakturmorphologien nicht signifikant unterscheidet ($p=,223$). Dies unterstreicht nochmals die Gemeinsamkeit der fehlenden sagittalen Balance von Patienten mit Fragilitätsfrakturen (68, 69).

Signifikante Unterschiede bzgl. des Pelvic Incidence konnten nur innerhalb der Geschlechter (unabhängig der Frakturmorphologie) nachgewiesen werden (Frauen: 58° , Männer: 53° ; $p=,013$). Ausschlaggebend hierfür ist der signifikant unterschiedliche Pelvic Tilt (Frauen: $18,6^\circ$ Männer: $13,6^\circ$; $p=,009$) und der

statistisch nicht signifikant unterschiedliche Sacral Slope (Frauen: 39,9° Männer: 38,0°; $p=,178$). Dieses Resultat bestätigt die Ergebnisse von Amonoo-Kuofi 1992, welcher durch rein radiologische Messungen feststellte, dass das Sakrum von Frauen horizontaler ausgerichtet ist als das von Männern. Peleg et al wiederlegt 2007 diese Forschungsergebnisse nach der manuellen und radiologischen Vermessung von 438 Skeletten (60). Anatomisch könnte diese Variation auf der unterschiedlichen Morphologie des weiblichen und männlichen Beckens beruhen (siehe Kapitel 1.2.2) (18). So ist die anteriore-posteriore Ausdehnung des weiblichen Beckens größer als die des männlichen. Dadurch erhält das männliche Becken einen eher vertikalen Charakter, was die Lage des Sakrums zu den Hüftgelenken beeinflusst und somit den Pelvic Incidence (57).

Im Allgemeinen ist festzuhalten, dass eine Störung der sagittalen Balance eine klare Prädisposition für Lendenwirbel- und Beckenringfrakturen darstellt.

4.3 S1-Winkel

Die vergleichende Bewertung des S1-Winkels ist mangels adäquater Literatur nicht möglich.

Statistisch konnte keine signifikante Abhängigkeit des S1-Winkels von den anderen spinopelvinen Parametern (Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope) festgestellt werden (univariate ANOVA).

Signifikante Unterschiede ließen sich zwischen den Patientenpopulationen mit Beckenringfrakturen und Lendenwirbelfrakturen feststellen.

Patienten mit Lendenwirbelfraktur: S1-Winkel = 54,4° ($\pm 7,7^\circ$)

Patienten mit Beckenringfraktur: S1-Winkel = 58,5° ($\pm 5,8^\circ$)

Weiterhin konnte ein signifikanter Unterschied zwischen männlichen- und weiblichen Patienten bewiesen werden.

Weibliche Patienten: S1-Winkel = 55,7° ($\pm 11,7^\circ$)

Männliche Patienten: S1-Winkel = 58,6° ($\pm 10,6^\circ$)

Trotz der statistisch signifikanten Ergebnisse ist eine klinische Relevanz auf Grund der geringen Abweichung fraglich.

4.4 Fehlerbetrachtung

Mögliche Fehlerquellen stellen Messungenauigkeiten dar, welche zum einen aus der manuellen Auswahl der zumessenden Fixpunkte entsteht und zum anderen aus der oftmals nötigen Rekonstruktion der Hüftköpfe. Duval-Beaupere et al. (1992) diskutierte die Messgenauigkeit bei der Bestimmung des Pelvic Incidence und kam zu dem Ergebnis, dass eine Messung bis auf 1° bis 2° möglich sei. Gleichzeitig bemerkte er, dass der Pelvic incidence haltungsabhängig ist und bis zu 6° variiert. Dies wurde auf die Beweglichkeit im Iliosakralgelenk zurückgeführt. Trotz dieser Feststellung wird der Pelvic Incidence als individuell konstant bezeichnet. Neuere Untersuchungen von Place et al. (2017) (56) und Hayden et. al (2017) (61) an gesunden asymptomatischen Patienten belegen die individuelle Variabilität dieses Parameters. Im Rahmen der Studie von Place et. al (2017) wurden 50 Probanden mit einem Durchschnittsalter von ca. 27 Jahren in drei verschiedenen Haltungen radiologisch untersucht. Hierbei wurde der Pelvic Incidence bei entspannter Haltung, maximaler Rotation des Beckens nach anterior und posterior verglichen. Eine Abweichung von durchschnittlich 3° konnte festgestellt werden. Durch statistische Beweisführung konnte eine fehlerhafte Messung ausgeschlossen werden (56).

Auch wenn die ausgewerteten Röntgenaufnahmen alle in nahezu identischer Haltung durchgeführt wurden ist eine leichte Variabilität durch Haltung und Messungenauigkeiten nicht auszuschließen. Insofern ist eine durchschnittliche Variation von ca. 5° möglich.

Weiterhin ist die Geschlechter- und Altersverteilung der untersuchten Patientenpopulationen (Lendenwirbelfraktur und Beckenringfraktur) signifikant unterschiedlich, was die statistische Aussagekraft mindert.

5. Zusammenfassung der Arbeit

5.1 Deutsche Zusammenfassung der Arbeit

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med. dent.

Titel:

Bestimmung der spinopelvinen Parameter bei Patienten mit Fragilitätsfrakturen
des Beckenrings

eingereicht von:

Falko Friedrich-Wilhelm Baron von Haaren

angefertigt in:

Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

betreut von Prof. Dr. med. A. Hofmann

April 2019

Der demografische Wandel hat erheblichen Einfluss auf zukünftige Entwicklungen in der Medizin. Im Jahr 2050 wird ein Drittel der Deutschen älter als 60 Jahre sein (1), weltweit werden es laut Schätzungen der Vereinten Nationen mehr als 2 Milliarden Menschen sein (2). Die erhöhte Aktivität und Mobilität älterer Menschen führt vermehrt zu Stürzen mit Frakturfolge (76). Ein Anteil dieser Patienten erleidet Beckenringfrakturen. Vergleicht man jedoch die Schwere der Begleitverletzungen von Patienten höheren Alters (< 65 Jahre) mit

jüngeren Patienten (20 - 30 Jahre) fällt auf, dass es große Diskrepanzen gibt. Grund dessen ist die Verletzungsursache. Da der Beckenring als stabilster osteoligamentärer Verbund des menschlichen Körpers nur durch enorm hohe Kräfte gesprengt werden kann, treten Beckenringfrakturen bei jungen Erwachsenen nur im Rahmen von hochenergetischen Traumen wie z. B. Verkehrsunfällen oder Stürzen aus großer Höhe auf (5). Oft sind lebensbedrohliche Begleitverletzungen festzustellen (6).

Ganz anders verhält es sich bei Patienten höheren Alters (< 65 Jahre). Erkrankungen, welche die Knochendichte verringern (wie z. B. die Osteoporose), führen zu Frakturen durch niederenergetische Traumen (z. B. ein Sturz vom Stuhl oder aus dem Stand). Das Ausmaß der Begleitverletzungen ist oftmals gering (6).

Diese großen Unterschiede bewogen Rommens et Hofmann 2013 zur Entwicklung einer eigenständigen Klassifikation für Fragilitätsfrakturen des Beckenrings, die sog. FFP („*fragility fracture of the pelvis*“) – Klassifikation, um präzisere Therapieentscheidungen für Patienten mit niederenergetischen Traumen zu ermöglichen (6).

Die vorliegende retrospektive Studie untersucht die Beziehung zwischen der Frakturmorphologie des Beckens und einer anatomischen Prädisposition des spinopelvinen Überganges. Zusätzlich wurde der spinopelvine Übergang von Patienten mit Lendenwirbelfrakturen vermessen und mit den Messungen von Patienten mit Beckenringfrakturen verglichen.

Anhand von Röntgenbildern mit lateralem Strahlengang und CT-Aufnahmen wurden die spinopelvinen Parameter Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope und der S1-Winkel bestimmt. 208 Patienten mit Beckenringfraktur und 67 mit Lendenwirbelfraktur wurden in die Messung mit einbezogen.

Zunächst wurde ein statistischer Zusammenhang zwischen der Ausprägung der verschiedenen spinopelvinen Parametern und der einzelnen Frakturmorphologien des Beckenrings (FFP-Klassifikation) untersucht. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Beckenringfrakturmorphologien festgestellt werden.

Des Weiteren wurden die Ausprägungen der spinopelvinen Parameter der verschiedenen Patientenpopulationen (Beckenringfraktur vs. Lendenwirbelfraktur) miteinander verglichen.

Die Parameter Pelvic Tilt, Sacral Slope und der S1-Winkel zeigen statistisch signifikante Unterschiede bzgl. der Frakturmorphologie. So hatten Patienten mit Beckenringfrakturen einen höheren Sacral Slope ($43,8^\circ$ zu $35,4^\circ$), einen niedrigeren Pelvic Tilt ($14,8^\circ$ zu 20°) und einen höheren S1-Winkel ($58,5^\circ$ zu $54,4^\circ$) als Patienten mit Lendenwirbelfrakturen.

Die Parameter Pelvic Incidence, Pelvic Tilt und der S1- Winkel zeigen statistisch signifikante Unterschiede bzgl. des Geschlechts. Männliche Patienten wiesen einen niedrigeren Pelvic Incidence ($53,3^\circ$ zu $59,0^\circ$), niedrigeren Pelvic Tilt ($15,2^\circ$ zu $16,3^\circ$) und leicht höheren S1-Winkel ($58,5^\circ$ zu $57,2^\circ$) als weibliche Patienten auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Frakturmorphologie von den haltungsabhängigen spinopelvinen Parametern (Pelvic Tilt, Sacral Slope) und dem S1-Winkel beeinflusst wird. Generell bestätigen die Resultate die aktuelle Studienlage, dass eine Störung der sog. sagittalen Balance mit einem erhöhten Risiko eine Fraktur im Becken- oder Lendenwirbelbereich zu erleiden einhergeht.

5.2 Englische Zusammenfassung der Arbeit

Demographic change will highly influence medicine of tomorrow (1). In 2050 there will be 2 billion people older than 60 worldwide (2). Due to high life expectancy, old people will be more active. Consequently, there will be more fractures and injuries, some of them will have a pelvic fracture (76).

Normally pelvic fractures are caused by high-energy trauma like traffic accidents or falls from great heights and patients have life threatening injuries (5, 6).

The elderly (< 65 years) suffer from pelvic fractures as a result of low bone mass density. Therefore, low energy trauma like a fall from standing position can break bones (6). Although there is a great difference between young and old patients with pelvic fractures, fracture classification is the same. Rommens et Hofmann solved this problem 2013 by creating a new classification for pelvic fractures caused by low energy trauma. It is called FFP („fragility fracture of the pelvis“) – classification (6).

Our retrospective study investigates an anatomic predisposition for different pelvic fractures and fractures of the lower spine. We used lateral x-rays and computer tomography pictures in order to analyse the spinopelvic transient. Measured parameters were: pelvic incidence, pelvic tilt, sacral slope and s1-angle.

208 patients with pelvic fractures and 67 with lower spine fractures were measured.

We couldn't find a statistically significant connection between anatomic predisposition and different morphologies of fragility fractures of the pelvis.

Further results show that patients suffering from pelvic fractures have a statistically significant higher sacral slope ($43,8^\circ$ to $35,4^\circ$), a lower pelvic tilt ($14,8^\circ$ to 20°) and a higher s1-angle ($58,5^\circ$ to $54,4^\circ$) than patients with fractures of the lower spine.

Moreover, we could find significant different parameters of male and female patients. Male patients have a lower pelvic incidence ($53,3^\circ$ to $59,0^\circ$), a lower

pelvic tilt (15,2° to 16,3°), and a slightly higher s1-angle (58,5° to 57,2°) than female patients.

Our results verify the existence of anatomic predispositions for a pelvic- or lower spine fracture. Generally, our results confirm current literature that a distortion of sagittal balance leads to a higher risk for falls, therefore leading to fractures.

6. Literaturverzeichnis

1. United Nations DoEaSA.
World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables.
Population Division (2017). 2017;Working Paper No. ESA/P/WP/248.
2. United N, Statistical O, United N, Statistical D, United N, Department of Social A, et al.
Demographic yearbook. Annuaire démographique. Demographic yearbook Annuaire
démographique. 2017.
3. Raschke MJ.
Alterstraumatologie : Prophylaxe, Therapie und Rehabilitation.
1. Aufl. ed. München u.a.2009.
4. Hadji P, Klein S, Gothe H, Häussler B, Kless T, Schmidt T, et al.
Epidemiologie der Osteoporose – Bone Evaluation Study.
Dtsch Arztebl International. 2013;110(4):52-7.
5. Tile M HT, Vrahas M. Biomechanics of the pelvic Ring. In: Tile M, Helfet D, Kellam J, eds. .
Fractures of the Pelvis and Acetabulum. 2003:32–45.
6. Rommens PM, Wagner D, Hofmann A.
Osteoporotische Frakturen des Beckenrings.
Z Orthop Unfall. 2012;150(03):e107-e20.
7. Rommens PM, Hofmann A.
Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: Recommendations for
surgical treatment.
Injury. 2013;44(12):1733-44.
8. Culemann U, Oestern HJ, Pohlemann T.
Aktuelle Behandlung der Beckenringfraktur.
Der Chirurg. 2013;84(9):809-26.
9. Rousouly P, Nnadi C.
Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management.
European Spine Journal. 2010;19(11):1824-36.
10. Dubousset J.
Importance de la notion de la vertèbre pelvienne dans l'équilibre rachidien. Application à la
chirurgie de la colonne vertébrale chez l'enfant et l'adolescent.
Paris: Frison Roche; 1998.
11. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C.
Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal
sagittal curves.
European spine journal : official publication of the European Spine Society,
the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine
Research Society. 1998;7(2):99-103.

12. Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson P.
A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position.
Annals of biomedical engineering. 1992;20(4):451-62.
13. Drenckhahn D.
Anatomie Teil: Bd. 1., Zellen- und Gewebelehre, Entwicklungslehre, Skelett- und Muskelsystem, Atemsystem, Verdauungssystem, Harn- und Genitalsystem.
München ; Jena: Elsevier, Urban & Fischer; 2008.
14. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M.
Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem : 183 Tabellen. Prometheus : LernAtlas der Anatomie Voll 4., überarb. und erw. Aufl. ed.
Stuttgart u.a.2014.
15. Leucht P, Fischer K, Muhr G, Mueller EJ.
Epidemiology of traumatic spine fractures.
Injury.40(2):166-72.
16. F. D.
Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Stabilisationsmethoden der instabilen Beckenringverletzung.
Habilitationsschrift, Universität Kiel; 1998
17. Tague RG.
Sexual dimorphism in the human bony pelvis, with a consideration of the Neandertal pelvis from Kebara Cave, Israel.
American journal of physical anthropology. 1992;88(1):1-21.
18. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. 1.21 Bandapparat und Beckenmaße.
In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH, editors. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.
4. überarbeitete und erweiterte Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2014.
19. Guigui P, Levassor, N., Rillardon, L., Wodecki, P., Cardinne, L.
Valeur physiologique des paramètres pelviens et rachidiens de l'équilibre sagittal du rachis.
Rev Chir Orthop. 2003;89:496-506.
20. Baidwan NK, Naranje SM.
Epidemiology and recent trends of geriatric fractures presenting to the emergency department for United States population from year 2004–2014.
Public Health. 2017;142:64-9.
21. Dodge G, Brison R.
Low-impact pelvic fractures in the emergency department.
Cjem. 2010;12(6):509-13.
22. Balogh Z, King KL, Mackay P, McDougall D, Mackenzie S, Evans JA, et al.
The epidemiology of pelvic ring fractures: a population-based study.
J Trauma. 2007;63(5):1066-73; discussion 72-3.

23. Kaelin A, Duparc J-C.
Chirurgische Techniken in Orthopädie und Traumatologie : Bd. 6 Beckenring und Hüfte.
1. Aufl. ed. München u.a. 2005.
24. Pizanis A, Pohlemann T, Burkhardt M, Aghayev E, Holstein JH.
Emergency stabilization of the pelvic ring: Clinical comparison between three different techniques.
Injury. 2013;44(12):1760-4.
25. Gansslen A, Pohlemann T, Paul C, Lobenhoffer P, Tscherne H.
Epidemiology of pelvic ring injuries.
Injury. 1996;27 Suppl 1:S-A13-20.
26. Senst W, Bida B.
Begutachtung von Beckenverletzungen.
Zentralbl Chir. 2000;125(09):737-43.
27. Holstein JH, Culemann U, Pohlemann T.
What are predictors of mortality in patients with pelvic fractures?
Clin Orthop Relat Res. 2012;470(8):2090-7.
28. Hauschild O, Strohm PC, Culemann U, Pohlemann T, Suedkamp NP, Koestler W, et al.
Mortality in patients with pelvic fractures: results from the German pelvic injury register.
J Trauma. 2008;64(2):449-55.
29. Johnell O, Kanis JA.
An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures.
Osteoporosis International. 2006;17(12):1726-33.
30. Momiy JP, Clayton JL, Villalba H, Cohen M, Hiatt JR, Cryer HG, et al.
Pelvic fractures in children.
The American surgeon. 2006;72(10):962-5.
31. Chia JP, Holland AJ, Little D, Cass DT.
Pelvic fractures and associated injuries in children.
J Trauma. 2004;56(1):83-8.
32. Tile M.
Pelvic ring fractures: should they be fixed?
Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume. 1988;70-B(1):1-12.
33. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie.
Der Unfallchirurg : Organ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie.
Berlin 1996.
34. Cosker TD, Ghandour A, Gupta SK, Tayton KJ.
Pelvic ramus fractures in the elderly: 50 patients studied with MRI.
Acta orthopaedica. 2005;76(4):513-6.

35. Koval KJ, Aharonoff GB, Schwartz MC, Alpert S, Cohen G, McShinawy A, et al. Pubic rami fracture: a benign pelvic injury? *J Orthop Trauma*. 1997;11(1):7-9.
36. Schädel-Höpfner M, Celik I, Stiletto R, Giannadakis K, Froehlich JJ, Gotzen L. Häufigkeit hinterer Läsionen bei vorderen Beckenringfrakturen. *Der Chirurg*. 2002;73(10):1013-8.
37. Ruchholtz S. Beckenringfrakturen. In: Ruchholtz S, Wirtz DC, editors. *Orthopädie und Unfallchirurgie essentials*. 2. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2012.
38. Pennal GF SG. Fractures of the pelvis. American Academy of Orthopaedic Surgeons Film Library 1961.
39. Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;227:67-81.
40. Nanninga GL, de leur K, Panneman MJM, van der Elst M, Hartholt KA. Increasing rates of pelvic fractures among older adults: The Netherlands, 1986–2011. *Age and Ageing*. 2014;43(5):648-53.
41. McCabe MP, Smyth MP, Richardson DR. Current Concept Review: Vitamin D and Stress Fractures. *Foot & Ankle International*. 2012;33(6):526-33.
42. Tokumaru S, Toita T, Oguchi M, Ohno T, Kato S, Niibe Y, et al. Insufficiency Fractures After Pelvic Radiation Therapy for Uterine Cervical Cancer: An Analysis of Subjects in a Prospective Multi-institutional Trial, and Cooperative Study of the Japan Radiation Oncology Group (JAROG) and Japanese Radiation Oncology Study Group (JROSG). *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 2012;84(2):e195-e200.
43. Dreher R, Buttgereit F, Demary W, Görtz B, Hein G, Kern P, et al. Insuffizienzfrakturen in der Rheumatologie. *Zeitschrift für Rheumatologie*. 2006;65(5):417-23.
44. Morris RO, Sonibare A, Green DJ, Masud T. Closed pelvic fractures: characteristics and outcomes in older patients admitted to medical and geriatric wards. *Postgraduate medical journal*. 2000;76(900):646-50.
45. Alost T, Waldrop RD. Profile of geriatric pelvic fractures presenting to the emergency department. *The American Journal of Emergency Medicine*. 1997;15(6):576-8.
46. Cabarrus MC, Ambekar A, Lu Y, Link TM. MRI and CT of Insufficiency Fractures of the Pelvis and the Proximal Femur. *American Journal of Roentgenology*. 2008;191(4):995-1001.

47. Dalal SA, Burgess AR, Siegel JH, Young JW, Brumback RJ, Poka 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):981-1000; discussion -2.
48. Scheyerer MJ, Osterhoff G, Wehrle S, Wanner GA, Simmen H-P, Werner CML.
Detection of posterior pelvic injuries in fractures of the pubic rami.
Injury. 2012;43(8):1326-9.
49. Oberkircher L, Ruchholtz S, Rommens PM, Hofmann A, Bücking B, Krüger A.
Osteoporotic Pelvic Fractures.
Dtsch Arztebl International. 2018;115(5):70-80.
50. During J, Goudfrooij H, Keessen W, Beeker TW, Crowe A.
Toward standards for posture. Postural characteristics of the lower back system in normal and pathologic conditions.
Spine (Phila Pa 1976). 1985;10(1):83-7.
51. John JF, Fisher PE.
Radiographic determination of the anatomic hip joint center. A cadaver study.
Acta orthopaedica Scandinavica. 1994;65(5):509-10.
52. Vrtovec T, Janssen MM, Pernus F, Castelein RM, Viergever MA.
Analysis of pelvic incidence from 3-dimensional images of a normal population.
Spine (Phila Pa 1976). 2012;37(8):E479-85.
53. Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J.
Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine.
European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society. 2002;11(1):80-7.
54. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mitulescu A, Marty C, et al.
Anatomical reliability of two fundamental radiological and clinical pelvic parameters: incidence and thickness.
European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology. 2005;15(3):197-204.
55. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, et al.
Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis.
European Spine Journal. 2006;15(4):415-22.
56. Place HM, Hayes AM, Huebner SB, Hayden AM, Israel H, Brechbuhler JL.
Pelvic incidence: a fixed value or can you change it?
The Spine Journal. 2017.
57. Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, Nicolas P.
Pelvic parameters: origin and significance.
European Spine Journal. 2011;20(5):564.

58. Tardieu C, Bonneau N, Hecquet J, Boulay C, Marty C, Legaye J, et al.
How is sagittal balance acquired during bipedal gait acquisition? Comparison of neonatal and adult pelvis in three dimensions. Evolutionary implications.
Journal of Human Evolution. 2013;65(2):209-22.
59. Amonoo-Kuofi HS.
Changes in the lumbosacral angle, sacral inclination and the curvature of the lumbar spine during aging.
Acta anatomica. 1992;145(4):373-7.
60. Peleg S, Dar G, Medlej B, Steinberg N, Masharawi Y, Latimer B, et al.
Orientation of the human sacrum: anthropological perspectives and methodological approaches.
American journal of physical anthropology. 2007;133(3):967-77.
61. Hayden AM, Hayes AM, Brechbuhler JL, Israel H, Place HM.
The effect of pelvic motion on spino-pelvic parameters.
The spine journal : official journal of the North American Spine Society. 2017.
62. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J.
Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position.
Spine (Phila Pa 1976). 2005;30(3):346-53.
63. Sengupta DK.
Spinopelvic Balance.
JBJS reviews. 2014;2(8).
64. Legaye J, Duval-Beaupere G.
Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation. *Acta orthopaedica Belgica*. 2005;71(2):213-20.
65. Schwab F, Lafage V, Boyce R, Skalli W, Farcy JP.
Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position.
Spine (Phila Pa 1976). 2006;31(25):E959-67.
66. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, McEneaney KW.
An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers.
Spine (Phila Pa 1976). 1995;20(12):1351-8.
67. Stavenhagen AGv.
Literaturstudium zur sagittalen Balance der Wirbelsäule und Validierung der Reliabilität eines neuen vereinfachten Messverfahrens.
Leipzig; 2014.
68. Barrey C, Jund J, Perrin G, Roussouly P.
Spinopelvic alignment of patients with degenerative spondylolisthesis.
Neurosurgery. 2007;61(5):981-6; discussion 6.

69. Kim J, Hwang JY, Oh JK, Park MS, Kim SW, Chang H, et al.
The association between whole body sagittal balance and risk of falls among elderly patients seeking treatment for back pain.
Bone & joint research. 2017;6(5):337-44.
70. Lee JS, Lee HS, Shin JK, Goh TS, Son SM.
Prediction of sagittal balance in patients with osteoporosis using spinopelvic parameters.
European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society. 2013;22(5):1053-8.
71. Fechtenbaum J, Etcheto A, Kolta S, Feydy A, Roux C, Briot K.
Sagittal balance of the spine in patients with osteoporotic vertebral fractures.
Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA. 2016;27(2):559-67.
72. Kim DH, Choi DH, Park JH, Lee JH, Choi YS.
What is the effect of spino-pelvic sagittal parameters and back muscles on osteoporotic vertebral fracture?
Asian spine journal. 2015;9(2):162-9.
73. Sato T, Shiota N, Sawaguchi T.
Non-Operative Treatment.
In: Rommens PM, Hofmann A, editors. Fragility Fractures of the Pelvis.
Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 83-95.
74. Fahrmeir L, Heumann C, Künstler R, Pigeot I, Tutz G. Statistik :
Der Weg zur Datenanalyse.
Springer-Lehrbuch. 8. Aufl. 2016 ed. Berlin, Heidelberg 2016.
75. Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber R.
Multivariate Analysemethoden : Eine anwendungsorientierte Einführung.
15. Aufl. 2018 ed. Berlin, Heidelberg 2018.
76. Hernlund E, Svedbom A, Ivergård M, Compston J, Cooper C, Stenmark J, et al.
Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden.
A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA).
Archives of osteoporosis. 2013;8(1-2):136-.

7. Anhang

Tests auf Normalverteilung

Pelvic Incidence

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests

		Pelvic Incidence
N		67
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	54,81
	Standardabweichung	12,92
Extremste Differenzen	Absolut	,051
	Positiv	,051
	Negativ	-,047
Kolmogorov-Smirnov-Z		,416
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,995

a. Frakturmorphologie = Lendenwirbelfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

a) Lendenwirbelfraktur

Tab. 20: Prüfung der Werte von Pelvic Incidence der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

b)

		Pelvic Incidence
N		208
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	58,78
	Standardabweichung	11,99
Extremste Differenzen	Absolut	,048
	Positiv	,036
	Negativ	-,048
Kolmogorov-Smirnov-Z		,694
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,721

a. Frakturmorphologie = Beckenringfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

Beckenringfraktur

Tab. 21: Prüfung der Werte von Pelvic Incidence der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

Q-Q-Diagramme

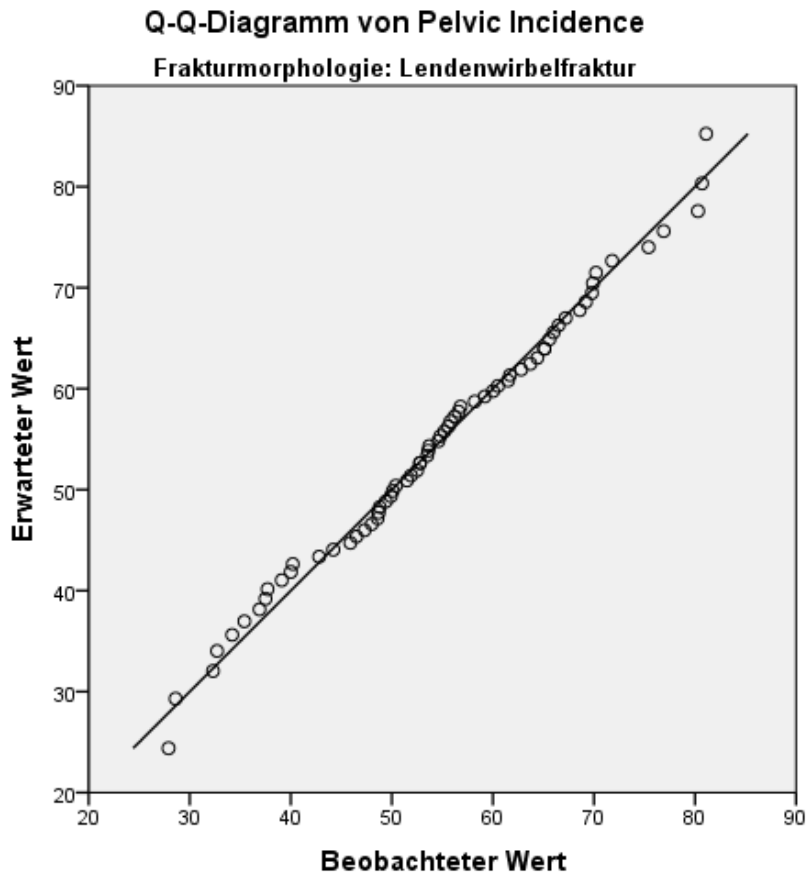


Abb. 40: Q-Q-Diagramm von Pelvic Incidence und der Frakturmorphologie Lendenwirbelfraktur.

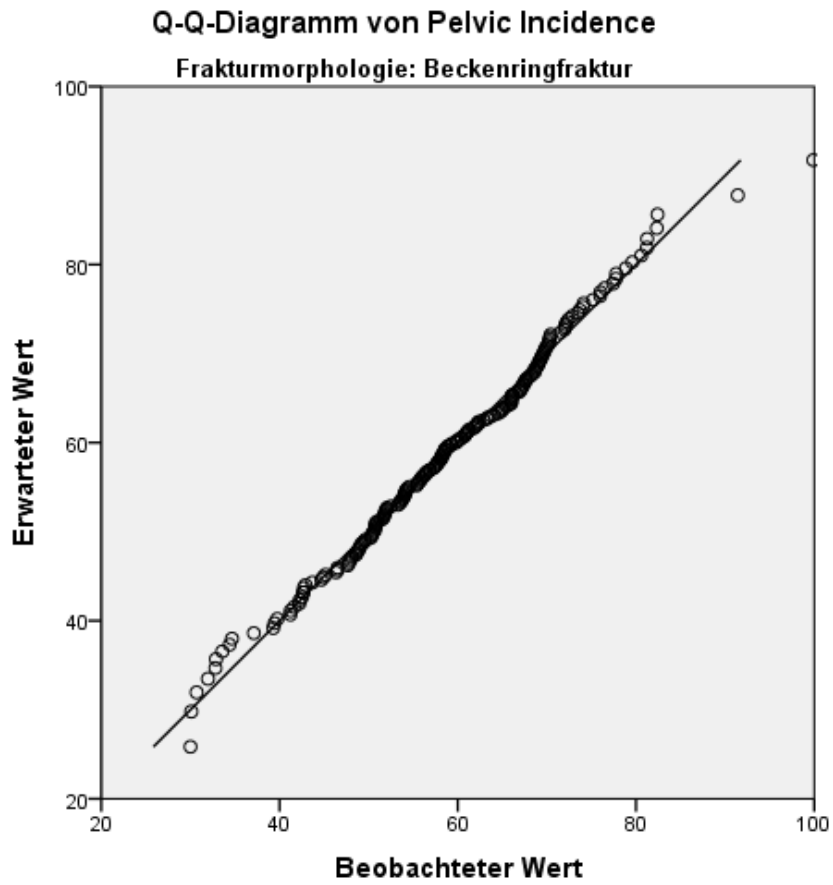


Abb. 41: Q-Q-Diagramm von Pelvic Incidence und der Frakturmorphologie Beckenringfraktur.

Pelvic Tilt

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests

a) Lendenwirbelfraktur

		Pelvic Tilt
N		67
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	19,97
	Standardabweichung	10,53
Extremste Differenzen	Absolut	,094
	Positiv	,094
	Negativ	-,057
Kolmogorov-Smirnov-Z		,772
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,590

a. Frakturmorphologie = Lendenwirbelfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

Tab. 22: Prüfung der Werte von Pelvic Tilt der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

b) Beckenringfraktur

		Pelvic Tilt
N		208
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	14,79
	Standardabweichung	7,64
Extremste Differenzen	Absolut	,036
	Positiv	,036
	Negativ	-,032
Kolmogorov-Smirnov-Z		,512
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,956

a. Frakturmorphologie = Beckenringfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

Tab. 23: Prüfung der Werte von Pelvic Tilt der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

Q-Q-Diagramme

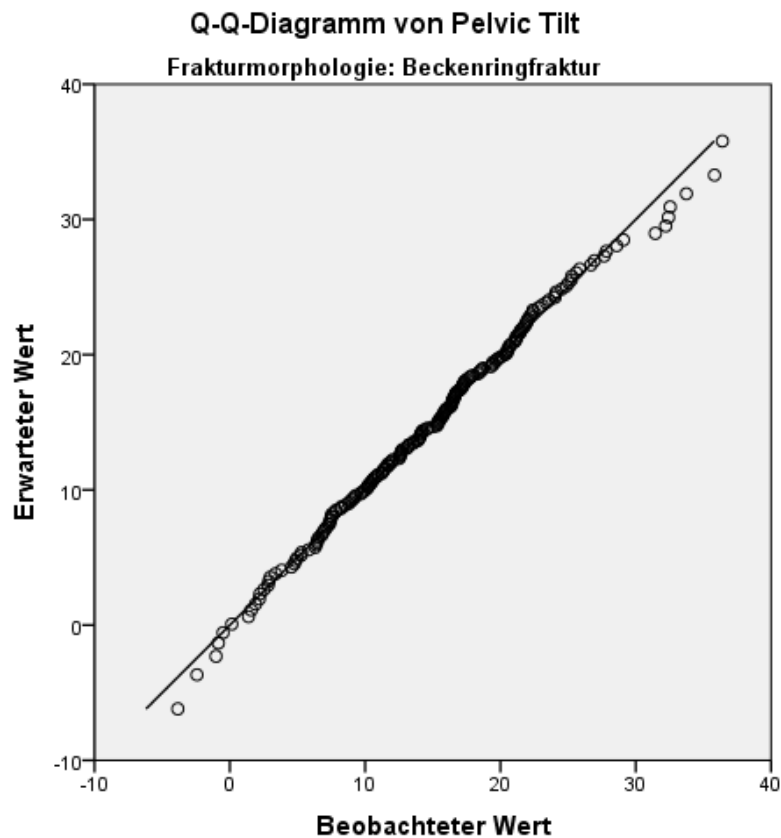


Abb. 42: Q-Q-Diagramm von Pelvic Tilt und der Frakturmorphologie Lendenwirbelfraktur.

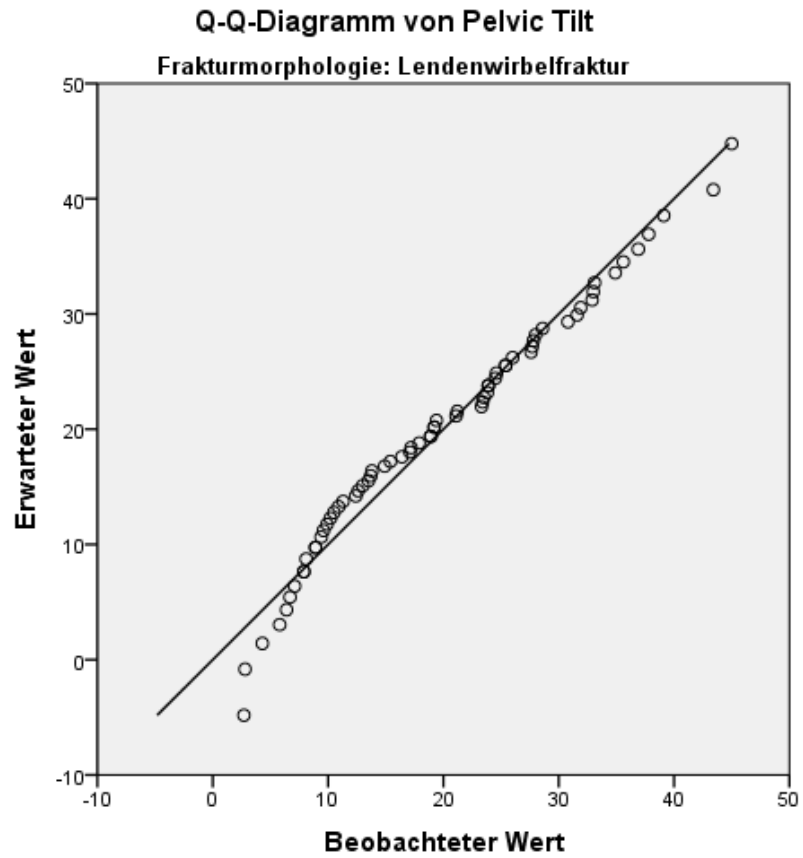


Abb. 43: Q-Q-Diagramm von Pelvic Tilt und der Frakturmorphologie Beckenringfraktur.

Sacral Slope

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests

a) Lendenwirbelfraktur

		Sacral Slope
N		67
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	35,35
	Standardabweichung	11,15
Extremste Differenzen	Absolut	,043
	Positiv	,042
	Negativ	-,043
Kolmogorov-Smirnov-Z		,351
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		1,000

a. Frakturmorphologie = Lendenwirbelfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

Tab. 24: Prüfung der Werte von Sacral Slope der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

b) Beckenringfraktur

		Sacral Slope
N		208
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	43,80
	Standardabweichung	9,01
Extremste Differenzen	Absolut	,051
	Positiv	,031
	Negativ	-,051
Kolmogorov-Smirnov-Z		,739
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,646

a. Frakturmorphologie = Beckenringfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

Tab. 25: Prüfung der Werte von Sacral Slope der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

Q-Q-Diagramme

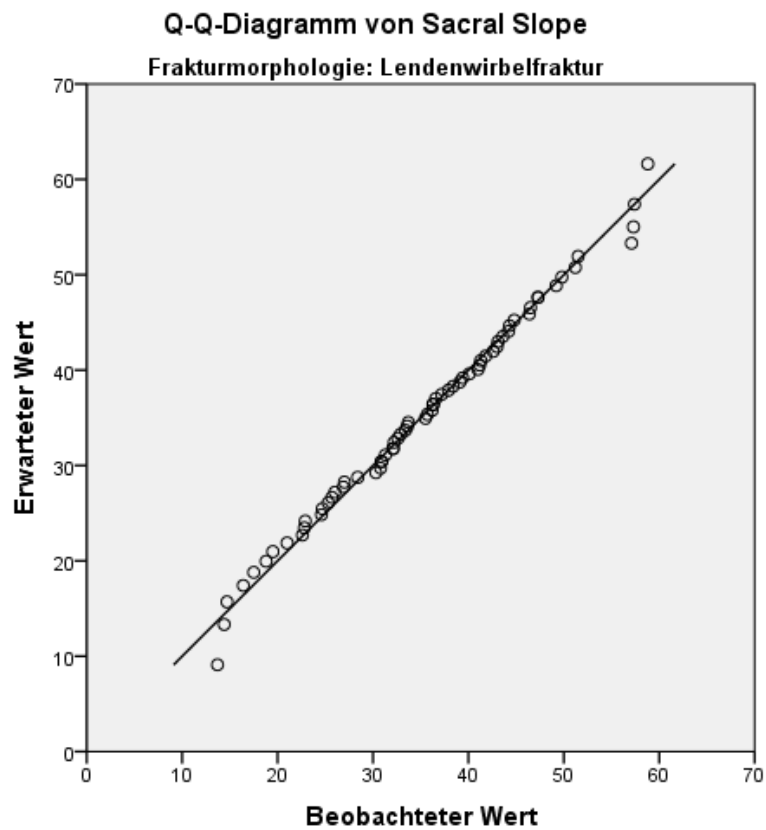


Abb. 44: Q-Q-Diagramm von Sacral Slope und der Frakturmorphologie Lendenwirbelfraktur.

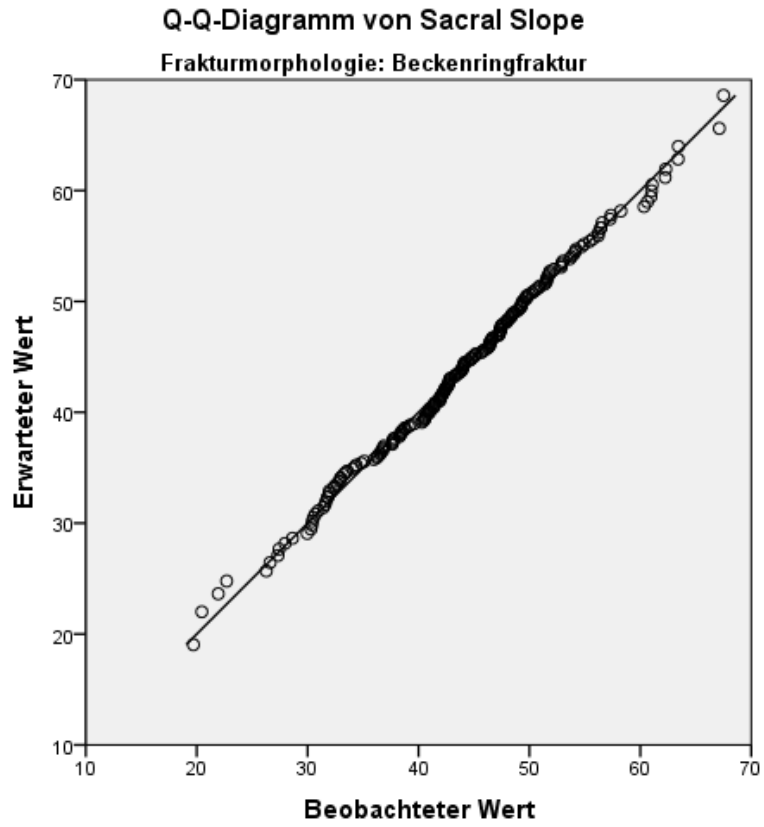


Abb. 45: Q-Q-Diagramm von Sacral Slope und der Frakturmorphologie Beckenringfraktur.

S1-Winkel

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests

a) Lendenwirbelfraktur

		S1-Winkel
N		67
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	54,35
	Standardabweichung	7,67
Extremste Differenzen	Absolut	,063
	Positiv	,063
	Negativ	-,040
Kolmogorov-Smirnov-Z		,513
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,955

a. Frakturmorphologie = Lendenwirbelfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

Tab. 26: Prüfung der Werte des S1-Winkels der Patienten mit Lendenwirbelfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

b) Beckenwirbelfraktur

		S1-Winkel
N		208
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	58,45
	Standardabweichung	5,82
Extremste Differenzen	Absolut	,074
	Positiv	,074
	Negativ	-,047
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,062
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,210

a. Frakturmorphologie = Beckenringfraktur

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

Tab. 27: Prüfung der Werte des S1-Winkels der Patienten mit Beckenringfrakturen auf Normalverteilung. Eine Normalverteilung besteht.

Q-Q-Diagramme

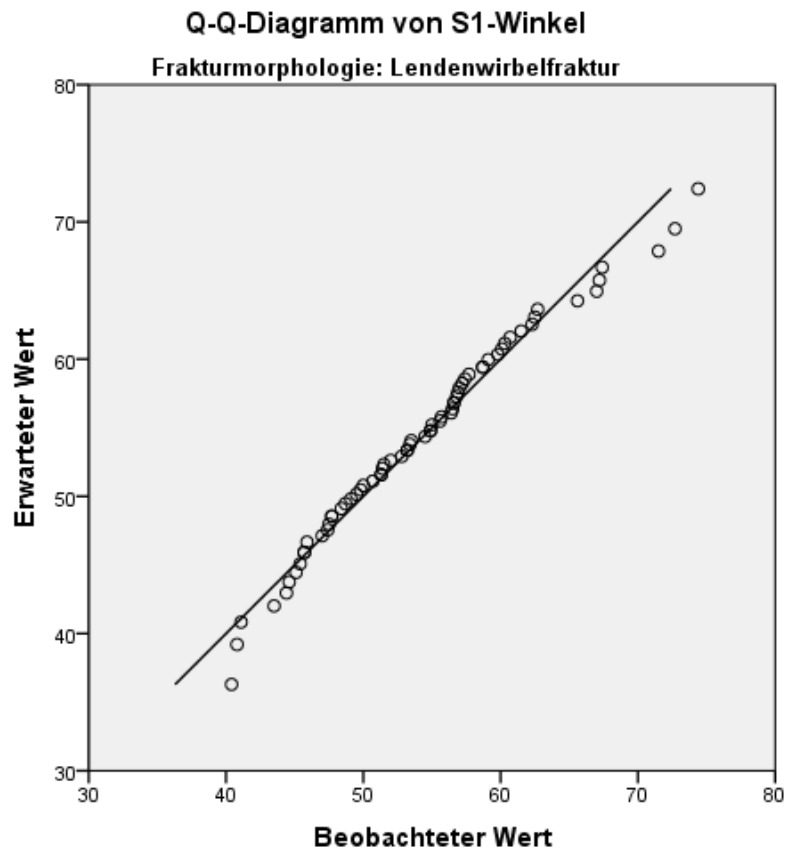


Abb. 46: Q-Q-Diagramm von S1-Winkel und der Frakturmorphologie Lendenwirbelfraktur.

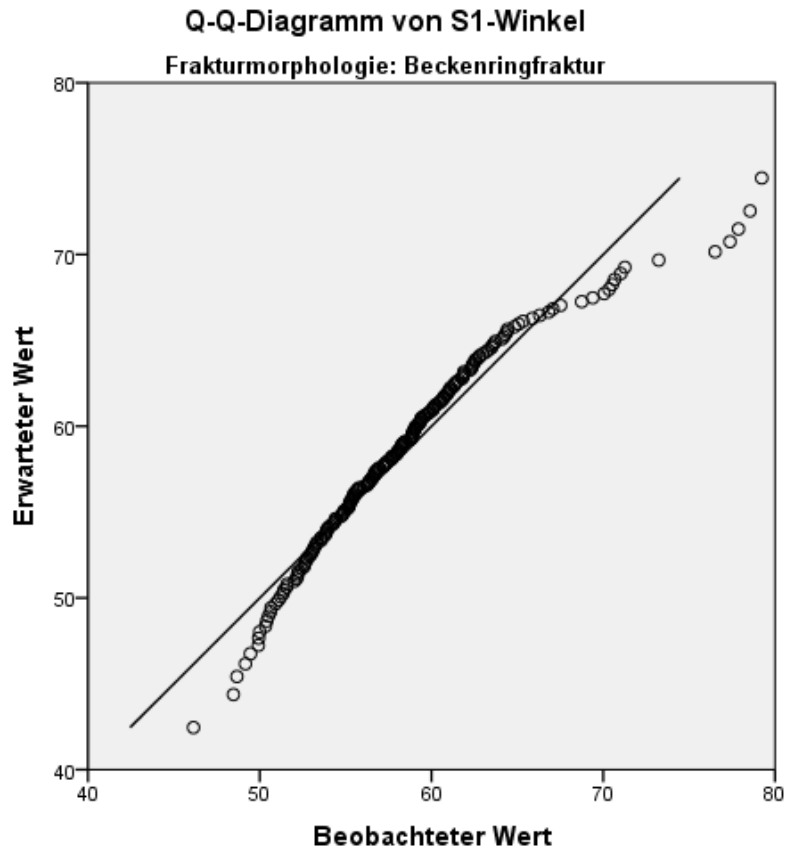


Abb. 47: Q-Q-Diagramm von S1-Winkel und der Frakturmorphologie Beckenringfraktur.

