

Aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Neuroradiologie
des Städtischen Klinikums Dessau

Dimensionsbestimmung der interossären Region des
Sacroiliakalgelenks für ein neues Implantatsystem

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät

der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von Jakob Leicht

aus Bützow

Magdeburg 2021

Bibliographische Beschreibung

Leicht, Jakob:

Dimensionsbestimmung der interossären Region des Sakroiliakalgelenks für ein neues Implantatsystem. 2021. 61 Bl., 10 Abb., 26 Tab.

Kurzreferat

Ziel der Untersuchung ist die Vermessung der interossären Region des Sakroiliakalgelenks für ein geplantes Implantatsystem zur Behandlung des sakroiliakalen Schmerzsyndroms unter Erhaltung der normalen Beweglichkeit.

Angelehnt an die komplexe Anatomie wurde ein neues Verfahren zur CT-gestützten Vermessung entwickelt.

Insgesamt zeigt sich eine deutliche Streuung der Messwerte. Das superiore Kompartiment der interossären Region ist am größten und regelmäßigsten ausgeprägt und kommt daher am ehesten für eine Implantation in Frage. Auffällig ist auch ein Geschlechtsdimorphismus, der die bekannten Geschlechtsunterschiede des Beckenskeletts widerspiegelt. Zusammenhänge der Dimensionen mit dem Alter, der spinalen sagittalen Balance oder dem Grad der Arthrose konnten nicht festgestellt werden.

Basierend auf den Ergebnissen werden Vorschläge für einen Prototyp des geplanten Implantats gemacht.

Schlüsselwörter

Arthrodesse, Arthrose, CT, Dimensionen, Implantat, Pelvic Incidence, Sakroiliakalgelenk, Schmerzsyndrom, Vermessung

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	6
1.1	Motivation für ein neues Implantatsystem	6
1.2	Ziele und Prinzipien des neuen Implantatsystems	6
1.3	Anatomie des Sakroiliakgelenks	7
1.4	Funktion und Bewegung des Sakroiliakgelenks	9
1.5	Spinale sagittale Balance	10
1.6	Fragestellung	11
2	Material und Methoden	12
2.1	CT-Untersuchungen	12
2.2	Vermessung der interossären Region	12
2.3	Statistik	16
3	Ergebnisse	17
3.1	Dimensionen und Streuung	17
3.2	Alter	21
3.3	Geschlecht	24
3.4	Pelvic Incidence	26
4	Diskussion	28
4.1	Studienlage zur interossären Region	28
4.2	Eigenes Verfahren zur Vermessung der interossären Region	29
4.2.1	Methodenwahl	29
4.2.2	Limitationen	30
4.3	Anatomie der interossären Region	31
4.3.1	Dimensionen und Streuung	31
4.3.2	Alter	32
4.3.3	Geschlecht	32
4.3.4	Pelvic Incidence	33
4.4	Operative Verfahren zur Behandlung des sakroiliakalen Schmerzsyndroms	34
4.5	Schlussfolgerungen zum Implantatdesign und zur OP-Planung	37
5	Zusammenfassung	41

6	Literaturverzeichnis	42
7	Anhang	47

Abkürzungsverzeichnis

B	Breite
CT	Computertomographie
HE	Hounsfield-Einheiten
LWS	Lendenwirbelsäule
mm	Millimeter
M	arithmetisches Mittel
MPR	Multiplanare Reformation
MRT	Magnetresonanztomographie
PACS	Picture Archiving and Communication System
PI	Pelvic Incidence
PT	Pelvic Tilt
SD	Standardabweichung
SIG	Sakroiliakalgelenk
SS	Sacral Slope
SWK	Sakralwirbelkörper
VRT	Volume Rendering Technique

1 Einführung

1.1 Motivation für ein neues Implantatsystem

Der tief sitzende Rückenschmerz ist ein weit verbreitetes und in den letzten Jahrzehnten zunehmendes Gesundheitsproblem, das nicht nur in den westlichen Nationen, sondern weltweit eine der Hauptursachen für eine eingeschränkte Lebensqualität ist und eine große Herausforderung für die Gesundheitssysteme darstellt (Hoy et al. 2014). Als mögliche Ursache dieser Beschwerden tritt neben der lumbalen Bandscheibenpathologie zunehmend das SIG in den Vordergrund (Schwarzer et al. 1995). Neben morphologisch fassbaren Ursachen wie entzündlichen und degenerativen Gelenkveränderungen sowie traumatischen Veränderungen kann auch eine gestörte Beweglichkeit des SIG zu einem mit dem SIG assoziierten Schmerzsyndrom führen, was unter dem Begriff der sakroiliakalen Dysfunktion zusammengefasst wird (Laslett 2008).

Neben der konservativen Behandlung des sakroiliakalen Schmerzsyndroms wurden in den letzten Jahren zunehmend auch operative Verfahren entwickelt, die meist einen minimalinvasiven Ansatz verfolgen. Dabei sind Versteifungsoperationen die Methode der Wahl. Minimalinvasive Operationsverfahren sind dem offenen Zugang hinsichtlich der Sicherheit sowie der Hospitalisierungsdauer überlegen (Ledonio et al. 2014). Neben dem transartikulären Zugang von lateral scheint der Weg von posterior ebenfalls eine sichere Methode zu sein, die zu klinisch zufriedenstellenden Ergebnissen führt (Stark et al. 2011).

1.2 Ziele und Prinzipien des neuen Implantatsystems

Basierend auf seiner langjährigen Erfahrung als orthopädischer Chirurg und eigenen Literaturrecherchen zur Beweglichkeit des SIG, wurde von Professor Dr. E. Seeber eine eigene Idee für ein Implantatsystem entwickelt, das über einen posterioren Zugang eingebracht werden soll. Die Indikation zur Implantation soll für chronisch rezidivierende oder permanente Schmerzen des Beckengürtels bzw. des SIG gelten, nachdem die konservative Therapie versagt hat.

Im Gegensatz zu bisherigen Verfahren ist das Ziel nicht die Arthrodesen, sondern der Erhalt bzw. die Rekonstruktion der Beweglichkeit des SIG in allen Ebenen mit Normalisierung der Bewegungs- und Belastungsfunktion sowie der Bandspannung.

Der natürliche Krafteinfluss in das SIG soll erhalten und die lumbalen Wirbelgelenke entlastet werden. Eventuell vorliegende Subluxationen im artikulierenden Anteil des Gelenks sollen über eine Distraction aufgehoben werden. Für eine zerstörungsarme Implantation ist also eine genaue Kenntnis der Anatomie dieser Region erforderlich.

1.3 Anatomie des Sakroiliakgelenks

Das Sakroiliakgelenk ist die gelenkige Verbindung zwischen Os sacrum und Os ilium, die aus der lateralen Oberfläche des ersten bis dritten Sakralwirbels und dem gegenüberliegenden Os ilium gebildet wird. Es handelt sich als Amphiarthrose um einen Subtyp eines echten synovialen Gelenks. Der sakrale Gelenkanteil ist konkav, der iliakale Gelenkanteil konvex geformt. Die Gelenkoberfläche wird als C- oder L-förmig beschrieben und als *Facies auricularis* bezeichnet. Dem ersten bis dritten SWK folgend, kann das SIG in einen superioren, einen zentralen und einen inferioren Abschnitt unterteilt werden (Forst et al. 2006; Vleeming et al. 2012; Postacchini et al. 2017).

Es besteht eine hohe Variabilität des Gelenks bezüglich Größe, Form und Oberfläche. Hinzu kommen Veränderungen während des Alterns (Macdonald 1952; Vleeming et al. 2012).

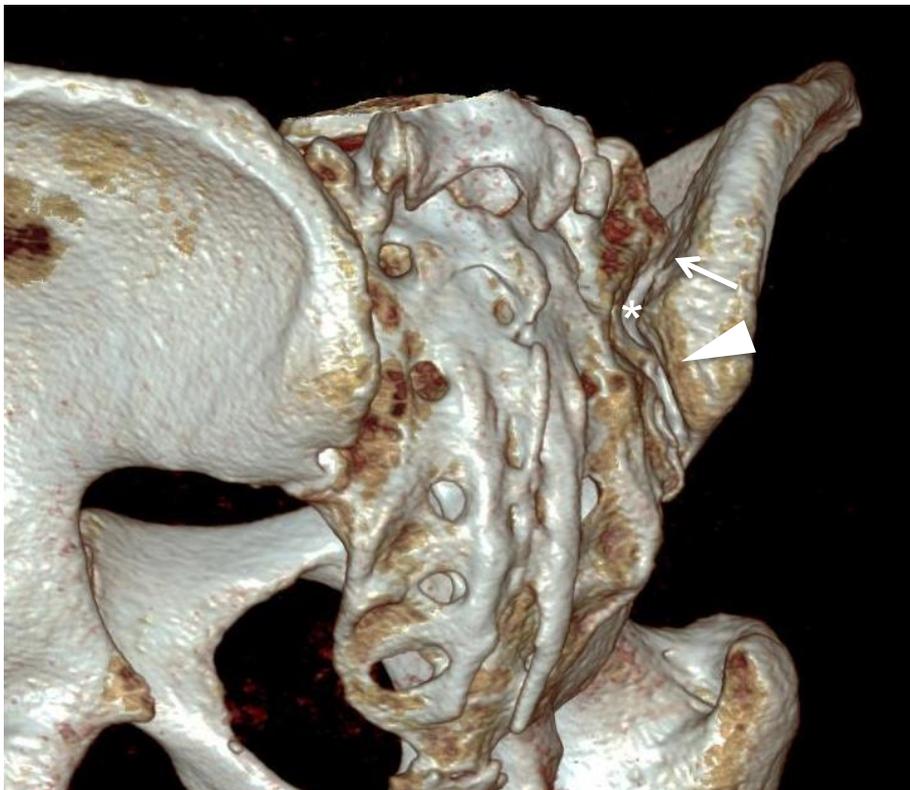
Zusätzlich lässt sich ein Gelenkanteil zwischen Os sacrum und Os ilium beschreiben, der posterior und superior des artikulierenden Gelenkanteils liegt (Abbildung 1). Dieser Raum wird als interossäre Region bezeichnet (Rosatelli et al. 2006). Die Bezeichnungen extraartikulärer bzw. periartikulärer Teil des SIG (Murakami et al. 2007) oder Axialgelenk (Bakland und Hansen 1984) sind ebenfalls gebräuchlich. Es handelt sich um eine Syndesmose. Auch dieser Raum lässt sich analog zum artikulierenden Gelenkanteil in drei horizontale Kompartimente unterteilen. Der sakrale Anteil wird als konkav beschrieben, der iliakale als konvex (Rosatelli et al. 2006). Zum artikulierenden Anteil des SIG gibt es durch die zahlreichen Bänder eine enge anatomische und funktionelle Verbindung, sodass insgesamt der Begriff SIG-Komplex gerechtfertigt erscheint (Cattley et al. 2002).

Das Lig. sacroiliacale ant. ist eine dünne Verstärkung der vorderen Gelenkkapsel. Das Lig. sacroiliacale interosseum ist ein großes Band zwischen Os ilium und Os sacrum, das überwiegend den interossären Raum ausfüllt. Posterior ist es teilweise mit dem

Lig. sacroiliacale post. verbunden. Dieses schließt den interossären Raum nach posterior ab. Über die Spina iliaca post. sup. ist es mit dem Lig. sacrotuberale verbunden. Von dort, dem unteren Os sacrum und dem Os coccygeum verläuft es schräg zum medialen Tuber ischiadicum. Anteile des M. gluteus max. und des M. biceps femoris strahlen zusätzlich in das Lig. sacrotuberale ein. Das Lig. sacrospinale ist ein dünnes, dreieckiges Band, das lateral von der Spina ischiadica entspringt und medial an den lateralen Grenzen des Os sacrum und des Os coccygeum ansetzt (Forst et al. 2006; Rosatelli et al. 2006; Vleeming et al. 2012).

Abbildung 1

VRT des Beckens



Anmerkung. Die interossäre Region ist der schmale Spalt zwischen Os ilium lateral und Os sacrum medial. Markierung des superiores Kompartiments (←), des zentralen Kompartiments (*) und des inferiores Kompartiments (◄).

1.4 Funktion und Bewegung des Sakroiliakalgelenks

Zur Entwicklung des aufrechten Gangs beim Menschen musste es neben einer Verbreiterung und Horizontalisierung des Beckens und der Ausbildung von Lordose und Kyphose der Wirbelsäule zu zahlreichen muskulären Veränderungen kommen (Le Huec et al. 2011b). Um dabei eine ergonomische und effiziente Lastenverteilung vom Rumpf auf die unteren Extremitäten zu erreichen, muss das SIG ein sehr stabiles Gelenk sein (Vleeming et al. 2012).

Die Bewegungsmöglichkeiten sind folglich sehr eingeschränkt. Insgesamt ist die Analyse dieser Bewegungen mit geringem Umfang schwierig, was durch die verschiedenen Theorien zu diesem Themenkomplex verdeutlicht wird. Zum einen werden Kippbewegungen beschrieben, wobei die Bewegung des Os sacrum gegenüber dem Os ilium nach anterior und inferior als Nutation und die gegenläufige Bewegung als Kontranutation bezeichnet wird. Die Achse dieser Bewegung wird entweder direkt in der Facies auricularis oder posterior der Gelenkfläche, also in der interossären Region, vermutet. Nach einer weiteren Theorie kommt es zu einer Translation, wobei sich das Os sacrum entlang einer Achse des unteren Anteils der Facies auricularis gegenüber dem Os ilium verschiebt. Zuletzt wird auch eine Kreisbewegung genannt, deren Achse aber außerhalb der Gelenkfläche vor dem Os sacrum liegt. Die Schwierigkeit der Bewegungsanalyse lässt jedoch auch den Schluss zu, dass es individuelle Unterschiede gibt (Kapandji 1999, S. 56 ff.).

Letztlich lässt sich das komplexe Ineinandergreifen von Anatomie und Funktion nach dem Modell von Vleeming (Vleeming et al. 2012) als ein Wechselspiel von Formschluss und Kraftschluss beschreiben. Der Formschluss beschreibt dabei vor allem die enge Verzahnung anatomischer Strukturen. Die in anterior-posteriorer sowie superior-inferiorer Dimension keilförmige Konfiguration des Os sacrum sowie die multiplen knöchernen Verzahnungen zwischen Sacrum und Ilium führen mit den zahlreichen Bändern zu einer Stabilisierung des Gelenks. Das Lig. sacroiliacale interosseum ist das größte dieser Bänder und leistet den größten Beitrag zur multidirektionalen Stabilität des Gelenks. Zusätzlich hat der komplexe posteriore Bandapparat mit seinen zahlreichen einstrahlenden Muskeln einen großen Einfluss auf die Stabilisierung des Gelenks. Bei perfektem Formschluss wäre keine Beweglichkeit im SIG möglich. Beim Kraftschluss kommt es über eine Spannung von

Faszien, Muskeln und Bändern zu einer Selbstverspannung im Gelenk. Die Nutation ist dabei der entscheidende Faktor, wodurch es zu einer Spannung der interossären und posterioren Bänder kommt und das Becken auf eine erhöhte Belastung vorbereitet wird.

1.5 Spinale sagittale Balance

Zum besseren Verständnis der wechselseitigen Beziehungen zwischen Wirbelsäule und Becken wird meist das Modell der spinalen sagittalen Balance herangezogen (Ferraris et al. 2012; Le Huec et al. 2011b; Le Huec et al. 2011a). Dabei ist die Vorstellung des Beckens als „pelvic vertebra“, wie sie von Dubouset eingeführt wurde, zusätzlich hilfreich (Dubouset 1998, S. 141–149). Das Becken, und damit das Os sacrum mit dem SIG, werden dabei als ein Schaltknochen zwischen dem Körperstamm und den unteren Extremitäten und als Teil der Wirbelsäule betrachtet (Husson et al. 2010). Zur Bestimmung des pelvinen Anteils an der spinalen Balance wurden die Parameter der Pelvic Incidence (PI), des Sacral Slope (SS) und des Pelvic Tilt (PT) eingeführt (Legaye et al. 1998; Le Huec et al. 2011a).

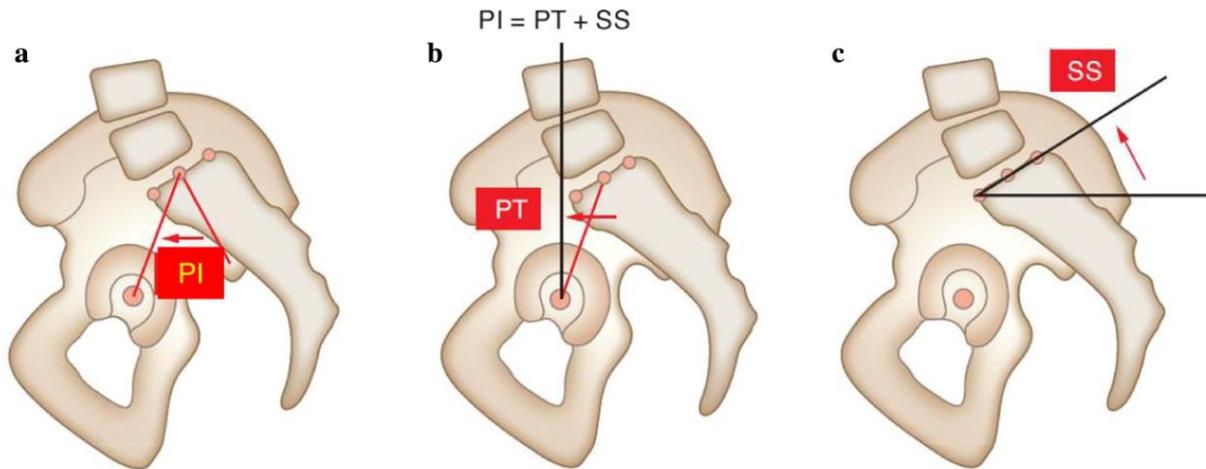
Die PI ist ein Parameter, der die Position des Sacrums im Becken definiert. Nach dem Abschluss des Wachstums ist dieser Wert konstant. Sie ist unabhängig von der Stellung der Wirbelsäule oder des Beckens. SS und PT beschreiben Anpassungsvorgänge des Beckens auf Bewegungen der Wirbelsäule. PT beschreibt den Winkel zwischen einer Vertikalen vom Hüftkopf und der Verbindungslinie zum Mittelpunkt der Deckplatte von SWK 1. SS ist der Winkel zwischen einer Horizontalen und einer Linie entlang der Deckplatte von SWK 1. Die Summe aus SS und PT ergibt die PI. Umgekehrt lässt sich die PI also als Winkel zwischen der Verbindungslinie von den Zentren der Hüftköpfe zum Mittelpunkt der Deckplatte von SWK 1 und einer Linie, die die Deckplatte von SWK 1 im rechten Winkel schneidet, beschreiben (Le Huec et al. 2011b; Ferraris et al. 2012, Abbildung 2).

Es besteht eine enge Verbindung dieser Werte zu den sagittalen Parametern der Wirbelsäule, insbesondere der Lendenlordose. Änderungen der Lordose werden im Rahmen der vorgegebenen PI durch Änderungen von SS und PT kompensiert.

Der entscheidende Wert zur Beschreibung der Beckenform, die PI, ist also eng mit der Krümmung des Sacrums und damit auch dem SIG verbunden.

Abbildung 2

Pelvine Parameter der spinalen sagittalen Balance



Anmerkung. Schematische Darstellung der Vermessung der Parameter der spinalen sagittalen Balance (Le Huec et al. 2019)

1.6 Fragestellung

In dieser Arbeit wurden die Dimensionen der interossären Region des SIG mittels CT bestimmt, um das Design des geplanten Implantats zu optimieren. Dafür wurde ein eigenes Verfahren entwickelt. Faktoren wie Alter, Geschlecht, Ausmaß der SIG-Arthrose sowie die Stellung des Sacrums im Becken sollten dabei berücksichtigt und, wo möglich, in einen Zusammenhang gebracht werden. Zusätzliches Ziel war es, die bisher vorliegenden anatomisch-deskriptiven Daten zur interossären Region zu erweitern und auf eine größere Fallzahl zu stützen als in den bisherigen Veröffentlichungen.

2 Material und Methoden

2.1 CT-Untersuchungen

Zur Vermessung der interossären Region wurden retrospektiv CT-Untersuchungen von 100 Patienten ausgewertet. Die Untersuchungen fanden während der klinischen Routine am Patientenkollektiv des Städtischen Klinikums Dessau statt. Die Indikationsstellung für die ausgewerteten CT-Untersuchungen war unabhängig von der aktuellen Fragestellung. Eine zusätzliche Strahlenbelastung fand nicht statt.

Ausschlusskriterien waren:

- Alter unter 18 Jahre
- akute oder konsolidierte Beckenfrakturen
- osteolytische Läsionen des Beckenskeletts
- vorangegangene Operationen am SIG

Die Untersuchungen wurden an einem 64-Zeilen und einem 16-Zeilen Spiral-CT durchgeführt (Philips Brilliance 64 und Philips Brilliance 16, Philips Healthcare). Die primäre Schichtkollimation betrug 0.625 mm (64-Zeiler) und 0.75 mm (16-Zeiler). Die gespeicherte Schichtdicke war 1 mm. Die Speicherung der gewonnenen Bilder im PACS erfolgte im Knochenfenster (Zentrum des Fensters 1500 HE, Breite des Fensters 4000 HE) und im Weichteilfenster (Zentrum des Fensters 60 HE, Breite des Fensters 360 HE). Die Vermessung wurde an den Bildern im Knochenfenster durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mittels der im PACS (Impax EE R20, Version XVII, Agfa-Healthcare) implementierten MPR-Software. Dabei wurde die Möglichkeit der Erstellung von freien Reformationen sowie die erweiterte Funktion zur Volumetrie genutzt. Die Arbeit fand an einem Arbeitsplatz zur Befundung von CT-Untersuchungen statt (Monitor Barco MDCC-2121).

2.2 Vermessung der interossären Region

Vor der Vermessung der interossären Region wurden die pelvinen Marker der spinalen sagittalen Balance (SS, ST, PI) mittels CT vermessen. Dazu wurde der Datensatz der Becken-CT in der MPR-Software zentral an den Hüftköpfen ausgerichtet und die Parameter bestimmt (Abbildung 3).

Abbildung 3

Bestimmung der pelvinen Parameter der spinalen sagittalen Balance in der CT



Anmerkung. Mittels freier MPR wird das Fadenkreuz (blaue und rote Linie) auf das Zentrum der Hüftköpfe eingestellt. Die Vermessung findet dann am so gebildeten sagittalen Bild in der Mittellinie statt.

Danach erfolgte die Vermessung der interossären Region. In einem ersten Schritt wurde dafür das Volumen bestimmt, wozu das in die PACS-Software implementierte Verfahren der Kontursegmentierung verwandt wurde. Dafür wird zunächst in jeder axialen Schicht die Grenzen der interossären Region markiert. Das Volumen der so zusammengesetzten Schichten wird in cm^3 angegeben. Durch die dabei erfolgte farbliche Darstellung dieses Raums werden die folgenden Messungen erleichtert (Abbildung 4).

Aufgrund der komplexen und mehrfach gekippten Anatomie des SIG wurden im nächsten Schritt angulierte axiale sowie parakoronare und parasagittale Ebenen erstellt. Dazu wurde zunächst die axiale Ebene parallel zur Deckplatte von SWK 1 gekippt und in die Mitte des SWK 1 verschoben, wodurch die nach anterior geneigte Lage des Os sacrum im Becken und damit der interossären Region besser erfasst wird

(Abbildung 4 a). Auf dieser Höhe wurde dann die parasagittale Ebene auf eine gedachte Verbindung von der anterioren Spitze, wo Os ilium und Os sacrum aneinander liegen, zur Mitte der posterioren Öffnungsebene gekippt (Abbildung 4 b). In der sich so zeigenden parakoronaren Ebene stellt sich der interossäre Raum als in ein superiores und ein inferiores Kompartiment geteilt dar. Am Übergang dieser beiden Bereiche zeigt sich auf Höhe von SWK 2 eine spindelförmige Verjüngung, wo Os ilium und Os sacrum enger aneinander liegen (Abbildung 4 c). Dieser Bereich wird als zentrales Kompartiment bezeichnet. Nun lassen sich zwei Linien einzeichnen, die die Höhe des superioren und inferioren Kompartiments markieren und senkrecht zur axialen Ausrichtung des interossären Raums stehen (Abbildung 4 c). In den senkrecht dazu stehenden axialen Ebenen wurden die Dimensionen des interossären Raums im superioren, zentralen und inferioren Kompartiment vermessen. In der Mitte jedes Kompartiments wurde die Breite der dorsalen Öffnung zwischen Os ilium und Os sacrum vermessen und als Öffnungsbreite bezeichnet. Die Verbindungslinie von der Mitte der Öffnungsbreite bis zur anterioren Spitze des interossären Raums wurde als Tiefe bezeichnet. Zusätzlich wurde die Breite in einem rechten Winkel zur Tiefe nach jedem Drittel der Strecke bestimmt und als Breite 1 bis 3 benannt (Abbildung 4 d bis f).

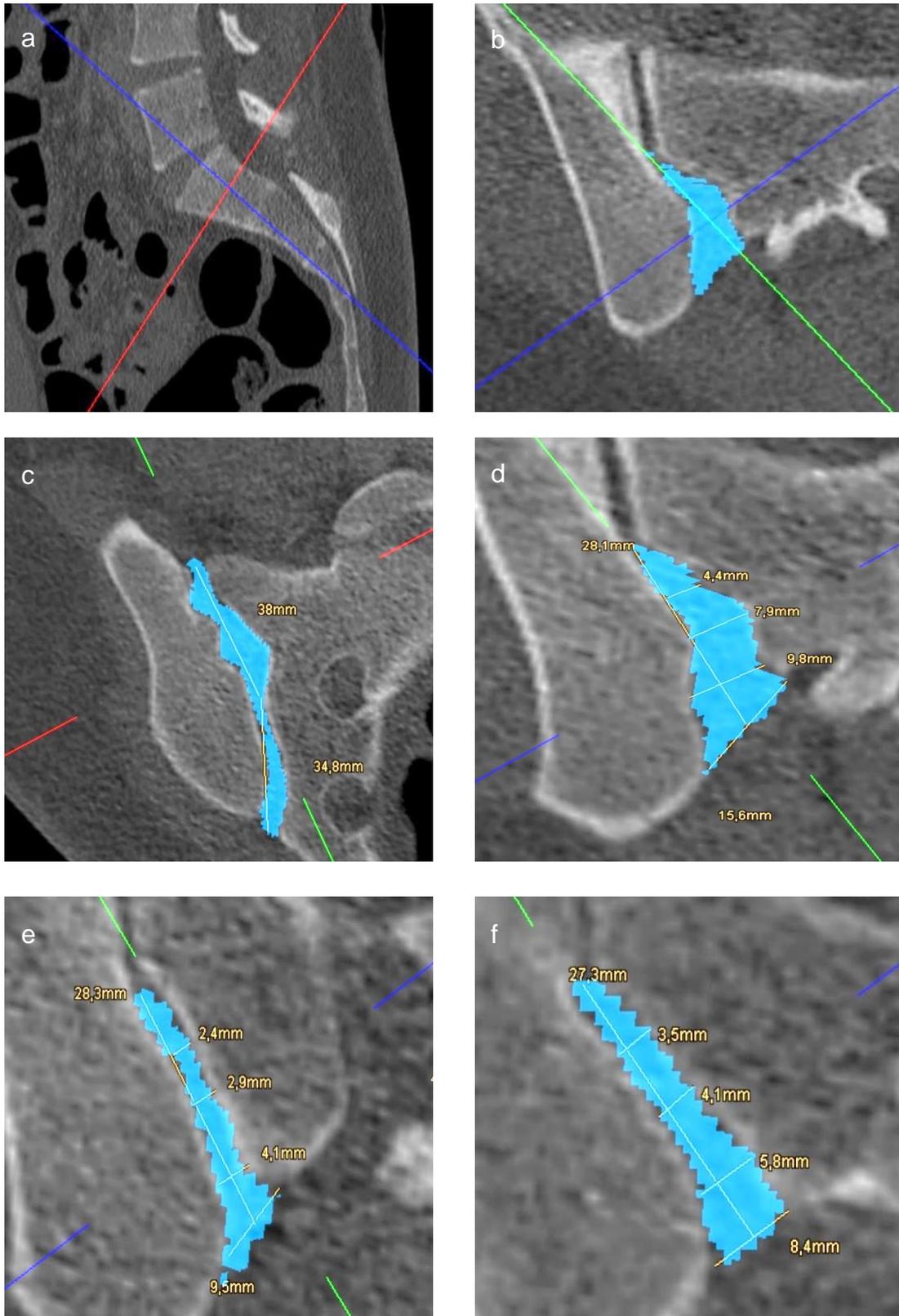
Zusätzlich wurden das Alter und das Geschlecht der Patienten erfasst.

Das Ausmaß der SIG-Arthrose wurde in vier Grade von fehlenden Zeichen (Verschmälerung des Gelenkspalts, Osteophyten, subchondrale Sklerosierung und Zysten) der Arthrose bis zu schwergradiger Arthrose eingeteilt.

Die Messungen fanden beidseits statt. Auf eine Vermessung durch mehrere Untersucher bzw. auf eine wiederholte Untersuchung durch den gleichen Untersucher wurde aufgrund des großen Zeitaufwands von ca. 30 Minuten pro kompletter Ausmessung verzichtet.

Abbildung 4

Schrittweise Vermessung der interossären Region



Anmerkung. Der farblich markierte Raum ist das Ergebnis der Volumenmessung mittels Kontursegmentierung. Verschiebung der freien Ebenen mit der MPR-Software, der Kippung des Sarums folgend (a), und der sich so in den anderen Ebenen darstellenden interossären Region (b und c), Vermessung der Breiten- und Tiefenwerte auf drei Höhen (d bis f)

2.3 Statistik

Die statistische Auswertung wurde mittels SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 26) durchgeführt. Die metrisch skalierten Messwerte werden mittels arithmetischem Mittel und Standardabweichung dargestellt. Die Häufigkeiten ordinal skalierten Daten werden als absolute Zahlen oder prozentual angegeben. Zur Darstellung der Streuung der Messwerte um den Median werden Box-Plots genutzt.

Die Verteilungsanalyse über die Geschlechter und Seiten erfolgt mittels Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (U-Test). Der Verteilungsvergleich der Variablen über die Altersgruppen erfolgte mit dem Kruskal-Wallis-Test (H-Test). Das Signifikanzniveau p betrug 5% und wurde mit der Bonferroni-Methode adjustiert. Die Effektstärke wurde mittels des Korrelationskoeffizienten nach Pearson bestimmt.

3 Ergebnisse

3.1 Dimensionen und Streuung

Zur übersichtlichen Darstellung der Messwerte wird auf die Tabellen im Anhang verwiesen, in der die Mittelwerte sowie die Standardabweichung getrennt nach Seite, Geschlecht und in vier Altersgruppen sowie über die Geschlechter und alle Altersgruppen hinweg aufgelistet werden.

Im Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (U-Test) konnte im Seitenvergleich keine signifikante Differenz zwischen den Messwerten festgestellt werden (Tabelle 1).

Tabelle 1

Keine Seitenunterschiede im Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (U-Test)

Variable	n	mittlerer Rang rechts	mittlerer Rang links	U	z	p	p (korr.)
Volumen	100	50.1	50.4	4968.5	0.08	.94	1
Höhe superior	100	50.2	50.2	4996	0.01	.99	1
Höhe inferior	100	49.7	50.8	4898	0.25	.80	1
Öffnungsbreite superior	100	50.9	49.6	4863	0.33	.74	1
Tiefe superior	100	47.9	52.6	4529.5	1.15	.25	1
B. 1 superior	100	53.6	46.9	4337	1.62	.21	1
B. 2 superior	100	53.5	47	4340	1.61	.11	1
B. 3 superior	100	54.1	46.4	4232.5	1.87	.06	1
Öffnungsbreite zentral	100	50.2	50.3	4995	0.01	.99	1
Tiefe zentral	100	49.4	51.1	4825.5	0.43	.67	1
B. 1 zentral	100	53.1	47.4	4428	1.39	.16	1
B. 2 zentral	100	50	50.5	4958.5	0.1	.92	1
B. 3 zentral	100	51.4	49.1	4765	0.57	.57	1
Öffnungsbreite inferior	100	50.7	49.8	4917	0.2	.84	1
Tiefe inferior	100	49.6	50.9	4865	0.33	.74	1
B. 1 inferior	100	50	50.5	4954	0.11	.91	1
B. 2 inferior	100	51	49.5	4848	0.37	.71	1
B. 3 inferior	100	51.6	48.9	4733	0.65	.51	1
SIG-Arthrose	100	50.4	50.1	4779	0.05	.96	1

Anmerkung. U=U-Statistik. z=z-Statistik. n=Stichprobengröße. Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni

Die durchschnittlichen Messwerte für das superiore Kompartiment der interossären Region ergeben, dass die Öffnungsbreite ($M=16.5$ mm, $SD=4.2$) ungefähr zwei Drittel der Tiefe beträgt ($M=24.7$ mm, $SD=4.1$). Von der Öffnungsbreite verengt sich der Spalt etwa um die Hälfte zum ersten Breitenwert ($M=12.4$ mm, $SD=3.7$). Die Differenzen zu den anderen Breitenwerten betragen im Durchschnitt jeweils ca. 3 mm (Tabellen A 6, A 9, A 10).

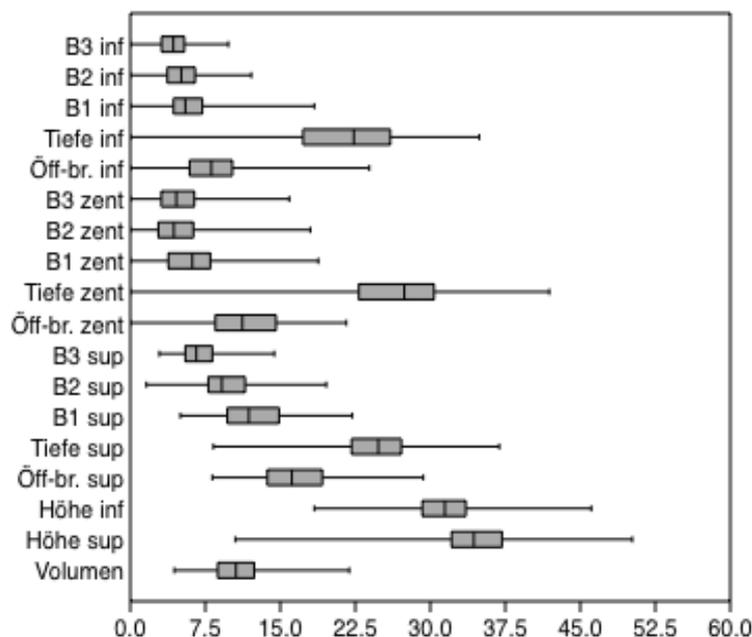
Im zentralen Bereich übertrifft die durchschnittliche Tiefe mit 23.8 mm ($SD=11$) die Öffnungsbreite mit 10.6 mm ($SD=5.7$) um mehr als das Doppelte. Die Breitenwerte 1 bis 3 verringern sich nur gering von knapp 6 mm auf etwas unter 5 mm (Tabellen A 7, A 11, A. 12).

Im inferioren Kompartiment der interossären Region ähnelt das Verhältnis von Tiefe ($M=21.3$ mm, $SD=7.1$) zu Öffnungsbreite ($M=8.1$ mm, $SD=3.5$) den zentralen Werten, jedoch mit etwas geringeren Durchschnittswerten. Das arithmetische Mittel der Breitenwerte in diesem Bereich zeigen ebenfalls eine gering abfallende Tendenz von 5.7 mm ($SD=2.5$) auf 4.4 mm ($SD=1.8$) (Tabellen A 8, A 13, A 14).

Die superiore Höhe beträgt durchschnittlich 34.6 mm ($SD=5.1$) und die inferiore Höhe 31.4 mm ($SD=3.9$) (Tabellen A 4 und A 5). Die Abbildung 5 und die Tabellen 2 bis 4

Abbildung 5

Box-Plots der Messwerte



Anmerkung. Volumen in cm^3 und übrige Parameter in mm. Die Box beinhaltet die mittleren 50% der Messwerte, der Strich innerhalb der Box ist der Median.

geben einen Überblick über die Streuung der verschiedenen Messwerte um den Median mittels Box-Plots sowie die entsprechende tabellarische Darstellung der wichtigsten Streuungsmaße für jedes Kompartiment. Dabei zeigt sich insgesamt eine große Spannweite der Ergebnisse, wobei im zentralen und inferioren Kompartiment meist größere Unterschiede zwischen den Extremwerten als superior nachweisbar sind. Im Gegensatz dazu fällt auf, dass der Interquartilenabstand in jedem Kompartiment in deutlich engeren Grenzen liegt. So zeigt sich exemplarisch für die Öffnungsbreite im superioren Bereich der interossären Region eine Spannweite von 21.1 mm und ein Interquartilenabstand von 5.5 mm (Tabelle 2).

Tabelle 2

Streuungsparameter superiores Kompartiment

Kennzahl	Geschlecht	Höhe	Öffnungsbreite	Tiefe	B. 1	B. 2	B. 3
Minimum	m	28.6	8.2	8.3	5	3.4	2.9
	w	10.5	8.6	16.1	6.8	1.6	3.1
	g	10.5	8.2	8.3	5	1.6	2.9
unteres Quartil	m	33.9	13.7	21.9	9.3	6.6	5.1
	w	30	13.6	22.7	9.9	8.4	6
	g	32.1	13.7	22.1	9.7	7.8	5.5
Median	m	36.2	16.9	24.7	11.5	8.6	6.1
	w	32.6	15.9	24.9	12.6	10.2	6.9
	g	34.4	16.2	24.8	11.9	9.2	6.6
oberes Quartil	m	39.9	19.1	27.5	14.1	10.3	7.1
	w	34.8	19.5	26.5	15.2	12	9
	g	37.2	19.2	27.1	14.9	11.5	8.2
Maximum	m	50.2	26.7	34.7	22.2	17.3	14.4
	w	40.1	29.3	36.9	21.7	19.6	14.4
	g	50.2	29.3	36.9	22.2	19.6	14.4

Anmerkung. m=männlich. w=weiblich. g=beide Geschlechter. Alle Angaben in mm.

Tabelle 3*Streuungsparameter zentrales Kompartiment*

Kennzahl	Geschlecht	Öffnungsbreite	Tiefe	B. 1	B. 2	B. 3
Minimum	m	0	0	0	0	0
	w	0	0	0	0	0
	g	0	0	0	0	0
unteres Quartil	m	0	0	0	0	0
	w	10.5	26.4	6.2	4.6	5
	g	8.5	22.9	3.8	2.8	3.1
Median	m	9.1	25.8	4.2	3.1	3.4
	w	13.3	28.7	7.9	5.9	6.2
	g	11.2	27.4	6.2	4.4	4.6
oberes Quartil	m	11.8	29.3	6.2	4.3	4.4
	w	16.7	30.9	9.5	7.5	7.7
	g	14.6	30.4	8	6.3	6.4
Maximum	m	21.6	39.5	13.9	9.5	9.2
	w	21	41.9	18.8	18	15.9
	g	21.6	41.9	18.8	18	15.9

Anmerkung. m=männlich. w=weiblich. g=beide Geschlechter. Alle Angaben in mm.**Tabelle 4***Streuungsparameter inferiores Kompartiment*

Kennzahl	Geschlecht	Höhe	Öffnungsbreite	Tiefe	B. 1	B. 2	B. 3
Minimum	m	23.4	0	0	0	0	0
	w	18.4	0	10.8	2.8	2.3	2.8
	g	18.4	0	0	0	0	0
unteres Quartil	m	30.9	5.1	16.1	3.3	2.9	2.8
	w	27.3	7.3	19.8	5.4	4.9	4.4
	g	29.2	5.9	17.3	4.3	3.7	3.1
Median	m	32.5	7	19.8	4.7	3.9	3.3
	w	30	9.2	24.3	6.6	6.3	5.2
	g	31.5	8.1	22.4	5.5	5.1	4.3
oberes Quartil	m	34.8	9.1	23.5	5.9	5.1	4.2
	w	32.3	11.1	27.6	7.8	7.4	6.3
	g	33.6	10.2	26	7.2	6.5	5.4
Maximum	m	46.1	16	34.3	9.2	8.5	6.4
	w	36.5	23.9	34.9	18.4	12.1	9.8
	g	46.1	23.9	34.9	18.4	12.1	9.8

Anmerkung. m=männlich. w=weiblich. g=beide Geschlechter. Alle Angaben in mm.

Das Minimum beträgt zentral und inferior stets null, was sich damit begründen lässt, dass im zentralen Bereich in 16% der Fälle beidseits keine Öffnungsbreite und in 15% der Fälle durch knöcherne Brücken bzw. direkt aneinander liegende Knochen keine Tiefe und Breite vermessen werden konnte. Im inferioreren Bereich kann in 6% der Fälle beidseits keine Öffnungsbreite und in 5% der Fälle keine Tiefe und Breite vermessen werden. Im superioren Kompartiment kann kein solch extremer Messwert erfasst werden.

3.2 Alter

Für eine verbesserte Übersicht wurden vier Altersgruppen gebildet: jünger als 35 Jahre, 35 bis 54 Jahre, 55 bis 74 Jahre und älter als 75 Jahre. Das Durchschnittsalter über alle Gruppen betrug 55.6 Jahre ($SD=20.7$). Einen Überblick über die Altersgruppen gibt Tabelle 5.

Tabelle 5

Altersgruppen

Altersgruppe	Geschlecht	n	M	SD
<35	m	9	26.3	4.6
	w	10	26.8	5.7
35 – 54	m	17	45.6	5.9
	w	13	44	6.1
55 – 74	m	14	65.4	6.1
	w	14	63.4	5.9
>75	m	10	83.8	7.4
	w	13	82.5	6.8
gesamt	m	50	55.3	20.4
	w	50	56	21.2

Anmerkung. m=männlich. w=weiblich. n=Größe der Altersgruppe. Alle Angaben in Jahren

Die gewählten Alterswerte entsprachen einer Normalverteilung (nach Shapiro-Wilk $W=0.9736$; $p=.04$).

Im Kruskal-Wallis-Test (H-Test) konnte zwischen den gebildeten Altersgruppen lediglich für Breitenwert 3 des superioren Kompartiments, Breitenwert 1 des inferioreren Kompartiments und die inferiore Öffnungsbreite ein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen festgestellt werden (Tabelle 6).

Tabelle 6

Unterschiede zwischen den Altersgruppen im Kruskal-Wallis-Test (H-Test)

Variable	N	H	p	r
SS	100	5.85	.12	.17
PT	100	4.49	.21	.13
PI	100	6.26	.01	.18
Volumen	200	5.13	.16	.1
Höhe superior	200	5.24	.15	.11
Höhe inferior	200	2.05	.56	.07
Öffnungsbreite superior	200	1.02	.79	.2
Tiefe superior	200	4.84	.18	.09
B. 1 superior	200	0.59	.89	.11
B. 2 superior	200	4.58	.2	.09
B. 3 superior	200	8.68	.03	.17
Öffnungsbreite zentral	200	7.58	.06	.15
Tiefe zentral	200	2.13	.54	.07
B. 1 zentral	200	6.27	.09	.13
B. 2 zentral	200	2.79	.42	.03
B. 3 zentral	200	3.38	.34	.04
Öffnungsbreite inferior	200	7.87	.05	.16
Tiefe inferior	200	2.71	.44	.04
B. 1 inferior	200	10.3	.02	.19
B. 2 inferior	200	3.18	.36	.03
B. 3 inferior	200	4.28	.23	.08
SIG-Arthrose	200	72.31	<.001	.59

Anmerkung. N=Gesamtgröße der Gruppe. H=H-Statistik.
r=Korrelationskoeffizient nach Pearson.

Beim paarweisen Vergleich der Mittelwerte für diese Ergebnisse und der Adjustierung der Signifikanz nach Bonferroni (Tabellen 7 bis 10) zeigt sich, dass für Breite 1 zwischen der Altersgruppe der unter 35-jährigen und den 55 – 74-jährigen ein signifikanter Unterschied besteht ($p=.03$, Tabelle 8). Das Ausmaß der SIG-Arthrose zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen allen Altersgruppen ($p<.001$, Tabelle 10). Die Effektstärke von $r=0.59$ spricht für einen starken Effekt. Bei den übrigen Parametern ergab sich kein signifikanter Unterschied mehr.

Tabelle 7*Signifikanzniveaus beim paarweisen Vergleich für B. 3 superior*

Altersgruppe	1	2	3	4
<35 (1)				
35 – 54 (2)	1			
55 – 74 (3)	.69	.92		
>75 (4)	.08	.11	1	

Anmerkung. Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni**Tabelle 8***Signifikanzniveaus beim paarweisen Vergleich für Öffnungsbreite inferior*

Altersgruppe	1	2	3	4
<35 (1)				
35 – 54 (2)	.26			
55 – 74 (3)	.03	.68		
>75 (4)	.07	1	1	

Anmerkung. Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni**Tabelle 9***Signifikanzniveaus beim paarweisen Vergleich für B. 1 inferior*

Altersgruppe	1	2	3	4
<35 (1)				
35 – 54 (2)	.14			
55 – 74 (3)	.11	1		
>75 (4)	.09	1	1	

Anmerkung. Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni**Tabelle 10***Signifikanzniveaus beim paarweisen Vergleich für die SIG-Arthrose*

Altersgruppe	1	2	3	4
<35 (1)				
35 – 54 (2)	<.001			
55 – 74 (3)	<.001	<.01		
>75 (4)	<.001	<.001	<.001	

Anmerkung. Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni

3.3 Geschlecht

Bei den 100 ausgewerteten CT-Untersuchungen ist die Verteilung zwischen den Geschlechtern ausgeglichen.

Bei den nach Geschlecht getrennten durchschnittlichen Messwerten (siehe Tabellen im Anhang) lässt sich die Tendenz erkennen, dass die interossäre Region bei Männern geringere Tiefen- und Breitenwerte und eine größere Höhe als bei Frauen aufweist. Diese Beobachtung zeigte sich insbesondere im zentralen und inferioren Kompartiment. Zudem ist das Volumen bei Frauen ($M=11.62 \text{ cm}^3$, $SD=3.05$) größer als bei Männern ($M=9.67 \text{ cm}^3$, $SD=2.63$).

Im Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (U-Test, Tabelle 11) wurde diese Beobachtung bestätigt.

Tabelle 11

Geschlechtsunterschiede für die Parameter im Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (U-Test)

Parameter	n	mittlerer Rang männlich	mittlerer Rang weiblich	U	z	p	p (korr.)	r
SS	50	24.4	26.1	1169	0.55	.58	1	.05
PT	50	21.5	29	877	2.57	.01	.23	.26
PI	50	22	28.5	926.5	2.23	.02	.57	.22
Volumen	100	40.8	59.8	3095	4.65	<.001	<.001	.32
Höhe superior	100	65.4	35.1	1976	7.39	<.001	<.001	.52
Höhe inferior	100	62	38.5	2649	5.74	<.001	<.001	.41
Öffnungsbreite superior	100	50.5	49.5	4941	0.14	.89	1	.01
Tiefe superior	100	49.8	50.7	4915	0.21	.84	1	.01
B. 1 superior	100	46.3	54.3	4200	1.95	.05	1	.14
B. 2 superior	100	41.7	58.8	3281	4.19	<.001	<.001	.3
B. 3 superior	100	42.1	58.4	3372.5	3.98	<.001	<.01	.28
Öffnungsbreite zentral	100	37	63.5	2353.5	6.48	<.001	<.001	.45
Tiefe zentral	100	41	59.5	3148	4.53	<.001	<.001	.32
B. 1 zentral	100	34.1	66.4	1764.5	7.92	<.001	<.001	.56
B. 2 zentral	100	32.3	68.2	1411,5	8.78	<.001	<.001	.62
B. 3 zentral	100	31.4	69.1	1234.5	9.22	<.001	<.001	.65
Öffnungsbreite inferior	100	40	60.5	2944	5.02	<.001	<.001	.35
Tiefe inferior	100	38.9	61.6	2735.5	5.52	<.001	<.001	.39
B. 1 inferior	100	36.5	64	2241	6.74	<.001	<.001	.48
B. 2 inferior	100	43.1	66.4	1762.5	7.91	<.001	<.001	.56
B. 3 inferior	100	33.3	67.2	1614.5	8.27	<.001	<.001	.58
SIG-Arthrose	100	53	47.5	4453	1.46	.15	1	.1

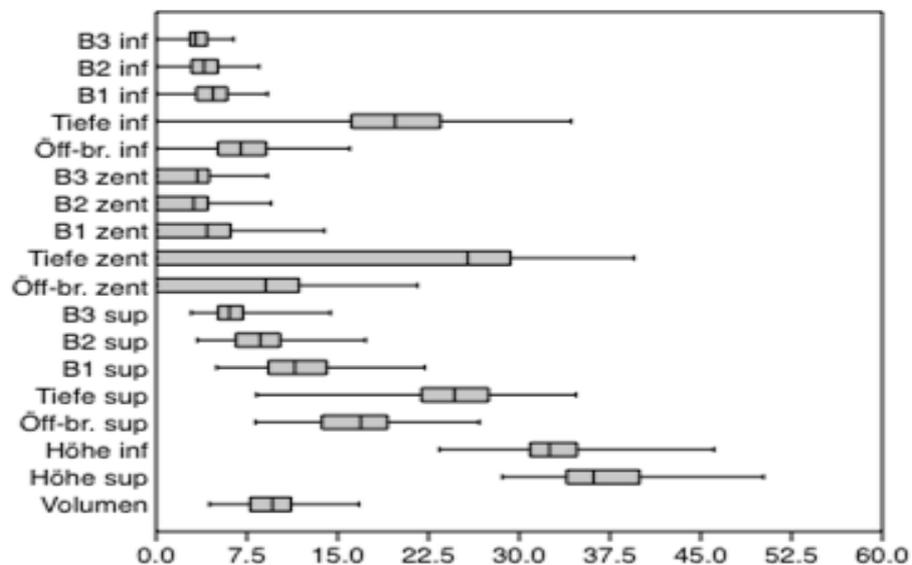
Anmerkung. U=U-Statistik. z=z-Statistik. n=Stichprobengröße. Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni. r=Korrelationskoeffizient nach Pearson

Beim Volumen, der Höhe des superioren und inferioren Kompartiments, den Breitenwerten 2 und 3 superior sowie bei Öffnungsbreite, Tiefe und den Breitenwerten 1 bis 3 im zentralen und inferioren Bereich zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Die Parameter der spinalen sagittalen Balance und die Ausprägung der SIG-Arthrose zeigen keinen signifikanten Geschlechtsunterschied. Die Effektstärken liegen bei den signifikanten Unterschieden meist zwischen .3 und .5 und teilweise auch über .5 und entsprechen einem mittleren bis starken Effekt. Bei den Fällen, in denen im zentralen und inferioren Kompartiment die Knochen so eng aneinander liegen, dass der Messwert 0 mm beträgt, handelt es sich mit über 80% um Männer.

Bei der Betrachtung der nach Geschlecht getrennten Streuungswerte um den Median zeigen sich im superioren Bereich für beide Geschlechter relativ ähnliche Interquartilenabstände und Spannweiten. Zentral und inferior sind diese Werte bei Frauen größer als bei Männern (Abbildungen 6 und 7, Tabellen 2, 3 und 4).

Abbildung 6

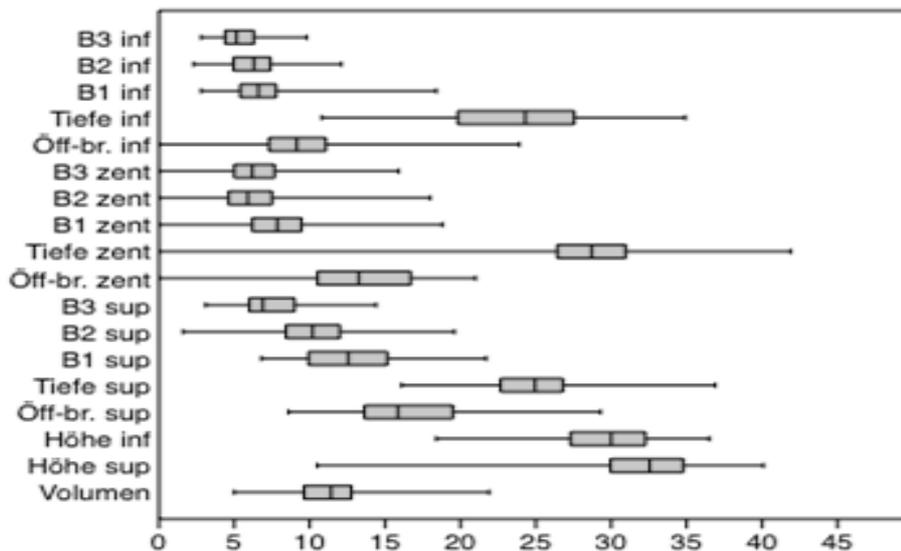
Box-Plots der Messwerte für das männliche Geschlecht



Anmerkung. Volumen in cm³ und übrige Parameter in mm. Die Box beinhaltet die mittleren 50% der Messwerte, der Strich innerhalb der Box ist der Median.

Abbildung 7

Box-Plots der Messwerte für das weibliche Geschlecht



Anmerkung. Volumen in cm^3 und übrige Parameter in mm. Die Box beinhaltet die mittleren 50% der Messwerte, der Strich innerhalb der Box ist der Median.

3.4 Pelvic Incidence

Die Mittelwerte der spinalen sagittalen Balance betragen für die PI 52.4° ($SD=11.12$), für die SS 40.8° ($SD=9.01$) und für die PT 11.6° ($SD=6.14$, Tabelle A 3). Da allein die PI als ein konstanter Wert gilt und die anderen Parameter abhängig von der Haltung und Lage des Menschen sind bzw. die Summe aus SS und PT die PI ergibt, konnte sich auf Zusammenhänge mit der PI konzentriert werden.

Im Kruskal-Wallis-Test (H-Test) konnte für die PI kein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen festgestellt werden ($H=6.26$; $p=.1$, Tabelle 6).

Im Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (U-Test) zeigte sich kein signifikanter Unterschied der PI zwischen den Geschlechtern ($p=.57$, Tabelle 11).

Zwischen der PI und den übrigen Messwerten der interossären Region zeigen sich überwiegend nicht signifikante Korrelationen. Lediglich für die Höhe des superioren Kompartiments links ließ sich eine signifikante und schwach negative Korrelation nachweisen ($r=-.32$; $p=.04$; Tabelle 12).

Tabelle 12*Korrelation der Parameter mit der Pelvic Incidence*

Parameter	Seite	r	p	p (korrigiert)
Volumen	rechts	-.1	.34	1
	links	-.12	.25	1
Höhe superior	rechts	-.19	.06	1
	links	-.32	.001	.04
Höhe inferior	rechts	-.17	.005	.19
	links	-.28	.01	.38
Öffnungsbreite superior	rechts	-.01	.33	1
	links	-.13	.2	1
Tiefe superior	rechts	-.16	.12	1
	links	.01	.92	1
B. 1 superior	rechts	.11	.28	1
	links	-.02	.85	1
B. 2 superior	rechts	.15	.14	1
	links	-.01	.94	1
B. 3 superior	rechts	.25	.01	.38
	links	.08	.44	1
Öffnungsbreite zentral	rechts	.22	.03	1
	links	.16	.11	1
Tiefe zentral	rechts	.05	.64	1
	links	.01	.9	1
B. 1 zentral	rechts	.21	.04	1
	links	.28	.004	.15
B. 2 zentral	rechts	.28	.01	.38
	links	.16	.1	1
B. 3 zentral	rechts	.24	.02	.76
	links	.18	.07	1
Öffnungsbreite inferior	rechts	.19	.06	1
	links	.21	.04	1
Tiefe inferior	rechts	.01	.91	1
	links	-.05	.6	1
B. 1 inferior	rechts	.19	.06	1
	links	.2	.04	1
B. 2 inferior	rechts	.25	.01	.38
	links	.18	.08	1
B. 3 inferior	rechts	.21	.03	1
	links	.13	.2	1
SIG-Arthrose	rechts	.09	.39	1
	links	.15	.13	1

Anmerkung. r=Korrelationskoeffizient nach Pearson. Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni

4 Diskussion

4.1 Studienlage zur interossären Region

Bei der Betrachtung bisheriger Veröffentlichungen zum SIG fällt auf, dass die interossäre Region im Gegensatz zum artikulierenden Gelenkanteil kaum Thema von Untersuchungen war.

In einer ersten Untersuchung von Bakland und Hansen (Bakland und Hansen 1984) wurde innerhalb des trichterförmigen interossären Raums, der sich dorsal des artikulierenden Anteils des SIG befindet, ein so genanntes axiales Gelenk beschrieben. Ihnen zufolge handelt es sich um eine enge knöcherne Verbindung zwischen einer Erhöhung, ausgehend von der Oberfläche des Iliums, und einer korrespondierenden Einkerbung am gegenüberliegenden Sakrum. Sie nahmen eine Einteilung in eine kraniale und eine kaudale Facette vor. Die Dimensionen und Lagebeziehungen zum artikulierenden Anteil des SIG wurden anhand von 18 Leichen bestimmt. Aussagen zum Alter der Verstorbenen wurden nicht detailliert ausgeführt. Die Geschlechterverteilung war ausgeglichen. Der Begriff axiales Gelenk wurde gewählt, da die Autoren in diesem Bereich die Bewegungsachse für die Nutation und Kontranutation vermuteten.

In einer späteren Veröffentlichung von Rosatelli (Rosatelli et al. 2006) wurde erneut die Anatomie beschrieben und zum ersten Mal der Begriff der interossären Region gebraucht. Dabei wurden elf Leichen untersucht, wobei zehn der Verstorbenen zum Todeszeitpunkt älter als 55 Jahre waren. Die Geschlechterverteilung war ausgeglichen. Analog zum artikulierenden Anteil des SIG wurde eine Einteilung in einen superioren, zentralen und inferioren Bereich genutzt. Ein Hauptziel der Studie war die Charakterisierung der Oberfläche, indem der Grad der Furchung bestimmt wurde. Zusätzlich wurden Ossifikationen des interossären Bandes berücksichtigt. Eine Dimensionsbestimmung der Region erfolgte nicht.

In einer Studie von Steinke (Steinke et al. 2010) wurde der komplexe Bandapparat, bestehend aus Lig. sacroiliacale ant., Lig. sacroiliacale interosseum und Lig. sacroiliacale post. mittels der Kombination aus Plastinationen, 7 Tesla-MRT und CT von 2 Leichen untersucht. Zusammen mit der präparatorischen Untersuchung der ligamentären Strukturen von 32 Leichen konnte eine genaue Visualisierung des

Bandapparats in situ erreicht werden. Dabei wurde das Volumen der Bänder bestimmt. Es erfolgte zusätzlich eine Differenzierung zwischen den Geschlechtern. Eine Unterteilung in verschiedene Altersgruppen erfolgte nicht.

Die klinische Bedeutung der interossären Region des SIG wurde in der Untersuchung von Murakami (Murakami et al. 2007) herausgestellt. Dabei wurde die intraartikuläre mit der periartikulären (also interossären) Applikation von Lidocain verglichen, wobei die Schmerzlinderung bei interossärer Lokalanästhesie überlegen war.

Da zur interossären Region so wenige Studien vorliegen, wird bei der detaillierten Diskussion einzelner anatomischer Parameter und möglicher Zusammenhänge auch auf Untersuchungen zum artikulierenden Anteil des SIG zurückgegriffen.

4.2 Eigenes Verfahren zur Vermessung der interossären Region

4.2.1 Methodenwahl

Gesucht wurde ein Verfahren, welches die exakte knöcherne Anatomie der interossären Region quantitativ und qualitativ reproduzierbar abbilden kann und in der klinischen Praxis etabliert ist. Dieser Umstand macht die moderne Spiral-CT mit ihrer Möglichkeit der freien multiplanaren Reformation zur idealen Methode für die genaue Analyse der komplexen Struktur der interossären Region. Die zusätzliche Möglichkeit der Volumenbestimmung und die damit verbundene farbliche Markierung waren bei der Visualisierung der interossären Region hilfreich. Der Einsatz der CT ist auch insofern von Vorteil, da sie sich sowohl bei der OP-Planung (Miller und Routt 2012; Goetzen et al. 2016) als auch bei der OP-Durchführung (Manfré 2014) bei Operationen am SIG als geeignet erwiesen hat. Bei der Unterstützung minimalinvasiver schmerztherapeutischer Verfahren hat sich neben der CT (Pulisetti und Ebraheim 1999) auch die fluoroskopische Methode bewährt (Murakami et al. 2007).

Daneben eignet sich die CT auch bei der Identifizierung anatomischer Varianten und der Bestimmung ihrer Häufigkeiten (Demir et al. 2007; Rana et al. 2015; Postacchini et al. 2017).

Durch die Verwendung der CT konnten im Gegensatz zu den vorherigen Studien lebende Personen vermessen werden. Da die CT in der klinischen Routine etabliert ist und dementsprechend viele Untersuchungen durchgeführt werden, konnte auch eine höhere Fallzahl sowie eine ausgeglichene Geschlechtsverteilung und eine

Normalverteilung des Alters erreicht werden. Auch eine Erweiterung der Messung wäre somit perspektivisch möglich.

Die MRT ist für die exakte Vermessung knöcherner Strukturen weniger geeignet. Ihre Vorteile liegen eher bei der Diagnostik und Differentialdiagnostik entzündlicher und tumoröser Veränderung des Knochenmarks (Hermann und Bollow 2014). Für die genaue Darstellung und Differenzierung der Kortikalis vom Knochenmark oder von angrenzenden Weichteilen bleiben röntgenologische Verfahren in der klinischen Routine trotz zahlreicher Bemühungen, strahlungsfreie Verfahren zu etablieren, die Methode der Wahl (Johnson et al. 2017; Chen et al. 2019). Erschwerend kommt für komplexe Strukturen wie die interossäre Region hinzu, dass freie multiplanare Reformationen nur mit 3D-Sequenzen mit isotropen Voxeln möglich sind, welche jedoch mit einer längeren Untersuchungszeit einhergehen. Sie sind bereits bei der Bildgebung von Kopf und Hals Standard. Für die Wirbelsäule sind solche 3D-fähigen Sequenzen zwar auch möglich, aber bisher in der klinischen Routine nicht etabliert. (Chokshi et al. 2017).

4.2.2 Limitationen

Aufgrund der überschaubaren Studienlage zu diesem Thema konnte kaum auf gesicherte Methoden und Erkenntnisse zurückgegriffen werden. Die hier erläuterte Methode zur Untersuchung der interossären Region wurde erst im Rahmen des Projekts für ein neues Implantatsystem entwickelt. Im Gegensatz zu den Voruntersuchungen lag der Fokus auf der Größenbestimmung für ein konkretes Ziel. Lediglich bei der angewandten Einteilung in drei Kompartimente konnte sich auf vorgehende Studien gestützt werden (Rosatelli et al. 2006; Steinke et al. 2010). Die komplexe und in mehreren Ebenen gekippte Anatomie wurde in dieser Art in keiner der Voruntersuchungen erläutert. Die beschriebene komplexe Methode zur Vermessung könnte die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erschweren. Da für die objektive Erfassung der knöchernen Oberfläche kein standardisiertes Verfahren vorliegt und in Hinblick auf das Ziel dieser Untersuchung keine Zusatzinformationen erwartet wurden, wurde auf eine erneute Beschreibung verzichtet. Hinzu kommt auch die von Rosatelli beschriebene irreguläre knöchernen Oberfläche, die die Reliabilität der Messungen einschränken könnte. Da die aktuelle Vermessung nur durch den Autor durchgeführt wurde, ist dadurch ebenfalls die Zuverlässigkeit der Ergebnisse

eingeschränkt. Die Möglichkeit einer Inter- und Intraobserverreliabilität wurde jedoch durch die komplexe und zeitaufwändige Messung eingeschränkt.

Für den Schweregrad der Arthrose des SIG gibt es, im Gegensatz zur Arthritis, bisher keine Einteilung. Unsere Einteilung lehnt sich an allgemeine Zeichen und etablierte Einteilungssysteme der Arthrose wie das von Kellgren und Lawrence für das Hüftgelenk an (Kellgren und Lawrence 1957). Ein validiertes Instrument lag somit zwar nicht vor, jedoch konnte eine Abschätzung des Zusammenhangs erfolgen. Zudem zeigte sich indirekt eine Bestätigung unserer Einteilung, da der Grad der Arthrose signifikant mit dem Alter zunimmt.

4.3 Anatomie der interossären Region

4.3.1 Dimensionen und Streuung

Die interossäre Region des SIG liegt posterior und superior des artikulierenden Gelenkanteils. Sie wurde in ein superiores, ein zentrales und ein inferiores Kompartiment unterteilt. In jedem dieser Bereiche zeigt sich zwar eine nach anterior spitz zulaufende Form, jedoch ist dieses Merkmal im oberen Kompartiment am regelmäßigsten ausgeprägt. Die Streuung der Messwerte ist dort am geringsten. Zentral und inferior ließ sich bei bis zu 16% der Untersuchten keine Öffnung nachweisen. Ein Seitenunterschied bezüglich der Dimensionen war nicht erkennbar.

In den bereits vorliegenden Untersuchungen zur interossären Region wurden nur wenige Aussagen zu genauen Dimensionen und ihrer Verteilung gemacht. In der Untersuchung von Bakland und Hansen wurden zwar verschiedene Dimensionen angegeben, wobei jedoch nur verschiedene Höhen- und Tiefenwerte, aber keine für die Breite angegeben wurden. Diese Angaben sind jedoch von großer Bedeutung für ein Implantat, welches seine Wirkung über die Distraction entfalten soll. Es wurden die Höhe der iliakalen und der sakralen Seite der Region vermessen, wobei sich an der von den Autoren als kranial bezeichneten Facette eine geringere Höhe (33 mm iliakal, 32 mm sakral) als an der kaudalen Facette zeigte (20 mm iliakal, 18 mm sakral). Zwar decken sich diese Ergebnisse nicht mit den aktuellen, jedoch war das Messverfahren different und die Fallzahlen deutlich geringer. Das von den Autoren so genannte axiale Gelenk scheint eher der hier als zentrales Kompartiment bezeichneten Region zu entsprechen als der gesamten interossären Region. Zudem sind die angegebenen

Tiefenwerte durch die Art der Messung nicht mit der jetzt verwandten Methode zu vergleichen. Außerdem erfolgte keine Trennung nach Geschlecht, sodass ein Vergleich mit den aktuellen Messungen insgesamt wenig aufschlussreich ist (Bakland und Hansen 1984).

Eine weitere indirekte Angabe zu den Dimensionen gibt es in der Arbeit von Steinke, in der das Volumen des Lig. sacroiliacale interosseum bestimmt wurde und ein signifikant größeres Volumen bei weiblichen Becken gefunden wurde. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Beobachtung, dass das Volumen der interossären Region, dem größten Raum dieses Bands, bei Frauen größer ist als bei Männern (Steinke et al. 2010).

4.3.2 Alter

In unserer Untersuchung zeigte sich kein Einfluss des Alters auf die Dimensionen der interossären Region. Lediglich der Grad der Arthrose nimmt mit dem Alter zu. Der Einfluss von Alter und Geschlecht auf die interossäre Region wurde bis dato nur in geringem Ausmaß ausgelotet. Rosatelli beschrieb das Auftreten von Rillen und Leisten und brachte es in Verbindung mit dem meist hohen Alter der Untersuchten. Eine Verbindung mit dem Geschlecht wurde nicht beschrieben (Rosatelli et al. 2006). Damit steht er eher in der Tradition früherer Untersuchungen zum artikulierenden Teil des SIG, die das Auftreten von Vergrößerungen der Gelenkfläche mit Alter und Geschlecht korrelierten, wobei bei Männern eine stärkere Wölbung sowie eine rauere Knorpeloberfläche und das häufigere Auftreten von Rillen und Leisten als bei Frauen zu beobachten waren. Diese Veränderungen waren bei beiden Geschlechtern mit zunehmendem Alter häufiger (Macdonald 1952; Winkel und Dijkstra 1992, S. 62 ff.)

Dass kein Zusammenhang zwischen Alter und Größe der interossären Region gefunden wurde, erscheint insofern nachvollziehbar, da nach Abschluss des Wachstums keine Dimensionsveränderungen am Skelettsystem zu erwarten sind. Die mit dem Alter zunehmende Arthrose deckt sich mit der größeren Prävalenz bei höherem Lebensalter.

4.3.3 Geschlecht

Für das Geschlecht und die interossäre Region lässt sich für die Höhe sowie das zentrale und inferiore Kompartiment eine Zweiteilung nachweisen. Bei Frauen zeigte

sich eine geringere Höhe und eine größere Breite als bei Männern. Diese Beobachtung spiegelt sich auch in den für die Geschlechter differenten Volumenwerten wider. Im superioren Kompartiment findet sich dagegen keine Geschlechtertrennung.

Der Grad der Arthrose und die PI zeigen keinen erkennbaren Zusammenhang mit dem Geschlecht der untersuchten Individuen.

Ein Geschlechtsdimorphismus des Beckens ist bekannt. Das weibliche Becken ist breiter und niedriger, das männliche Becken dagegen schmaler und höher. Die meisten Unterschiede scheinen Anpassungen an den Geburtsvorgang zu sein und führen zu einer Vergrößerung des Geburtskanals (Fanghänel et al. 2009, S. 1035 ff.). Neben dieser auf das Geschlecht bezogenen Unterscheidung weisen neuere Untersuchungen darauf hin, dass weitere allometrische Beziehungen zwischen der Statur des Menschen unabhängig vom Geschlecht und verschiedenen Dimensionen des knöchernen Beckens vorliegen. So nimmt die Höhe und Enge des Beckens mit der Körpergröße zu. Da Männer im Durchschnitt größer als Frauen sind, können die Geschlechtsunterschiede des Beckens zum Teil auch als Folge dieses Unterschieds interpretieren werden (Fischer und Mitteroecker 2017). Unsere Ergebnisse passen zu dem aus der Literatur bekannten Geschlechtsdimorphismus des Beckens. Da es sich bei der interossären Region jedoch nicht um einen für den Geburtsvorgang relevanten Bereich handelt, muss auch der allgemeine Größenunterschied zwischen Männern und Frauen als Erklärung in Betracht gezogen werden. Dieser mögliche Zusammenhang konnte aktuell jedoch nicht näher untersucht werden, da Daten zur Körpergröße nicht vorlagen.

4.3.4 Pelvic Incidence

Aussagen über einen Zusammenhang zwischen der spinalen sagittalen Balance und der interossären Region gibt es bis jetzt nicht. Die aktuell gemessenen Werte der spinalen sagittalen Balance ähneln denen in früheren Veröffentlichungen (Legaye et al. 1998; Weinberg et al. 2016; Moon et al. 2017). Da die PI ein von der Haltung und dem Alter unabhängiger Wert ist, sind die anderen erfassten Werte der spinalen sagittalen Balance von nachrangiger Bedeutung. Viele der bisherigen Untersuchungen konzentrierten sich auf einen Einfluss der PI bei der Entstehung degenerativer Veränderungen der Wirbelsäule (Strube et al. 2018; Zárata-Kalfópulos et al. 2019) und der Hüfte (Gebhart et al. 2016) sowie den Einfluss auf den postoperativen Verlauf nach

Wirbelsäulen-OP (Diesing et al. 2019; Tonosu et al. 2019). Eine Untersuchung zur Relation zwischen der PI und der Form des Os sacrum zeigte, dass eine höhere PI mit einer stärkeren Krümmung und einer stärkeren Verjüngung assoziiert ist. Ein Geschlechtsunterschied wurde nicht nachgewiesen (Abola et al. 2018).

Unsere Ergebnisse weisen nur eine schwach negative Korrelation zwischen der Höhe des superioren Kompartiments links und der PI nach. Da dies aber der einzige signifikante Zusammenhang war, kann unserer Meinung nach keine sichere Schlussfolgerung zur Bedeutung für die interossäre Region gezogen werden. Auch ein Einfluss der PI auf die Ausprägung der Arthrose des SIG konnte nicht gezeigt werden.

Durch die enge Verzahnung von SIG und Wirbelsäule ist die spinale sagittale Balance dennoch von Bedeutung für das SIG, da bei Operationen an der LWS mit erhaltenem spinopelvinen Alignment keine vermehrten sakroiliakalen Beschwerden auftraten (Ciarpaglini et al. 2014).

4.4 Operative Verfahren zur Behandlung des sakroiliakalen Schmerzsyndroms

Zur Behandlung des mit dem SIG assoziierten Schmerzsyndroms wurden neben der konservativen Therapie auch eine Vielzahl chirurgischer Verfahren zur Arthrodesese beschrieben. Je nach Zugangsweg lassen sich vier Methoden unterscheiden (Stark et al. 2011).

Zum einen gibt es die Versorgung über einen anterioren Zugang, wobei über einen offenen Zugang eine Osteosyntheseplatte implantiert wird (Rand 1985; Güner et al. 1998).

Eine weitere Methode ist ein offener Zugang von lateral, wobei das SIG nach Abpräparierung der Glutealmuskulatur transartikulär mittels Schrauben, Platten oder Knochentransplantaten verbunden werden soll (Smith-Petersen 1921; Gaenslen 1927; Giannikas et al. 2004; Buchowski et al. 2005).

Die dritte Methode ähnelt der vorherigen bezüglich des Zugangs von lateral, jedoch wird die Glutealmuskulatur nicht abpräpariert, sondern das SIG transartikulär mittels Hohlschrauben oder speziell vorgefertigter Systeme (z. B. iFuse, SI-BONE Inc.) bestückt (Rudolf 2012; Rudolf und Capobianco 2014).

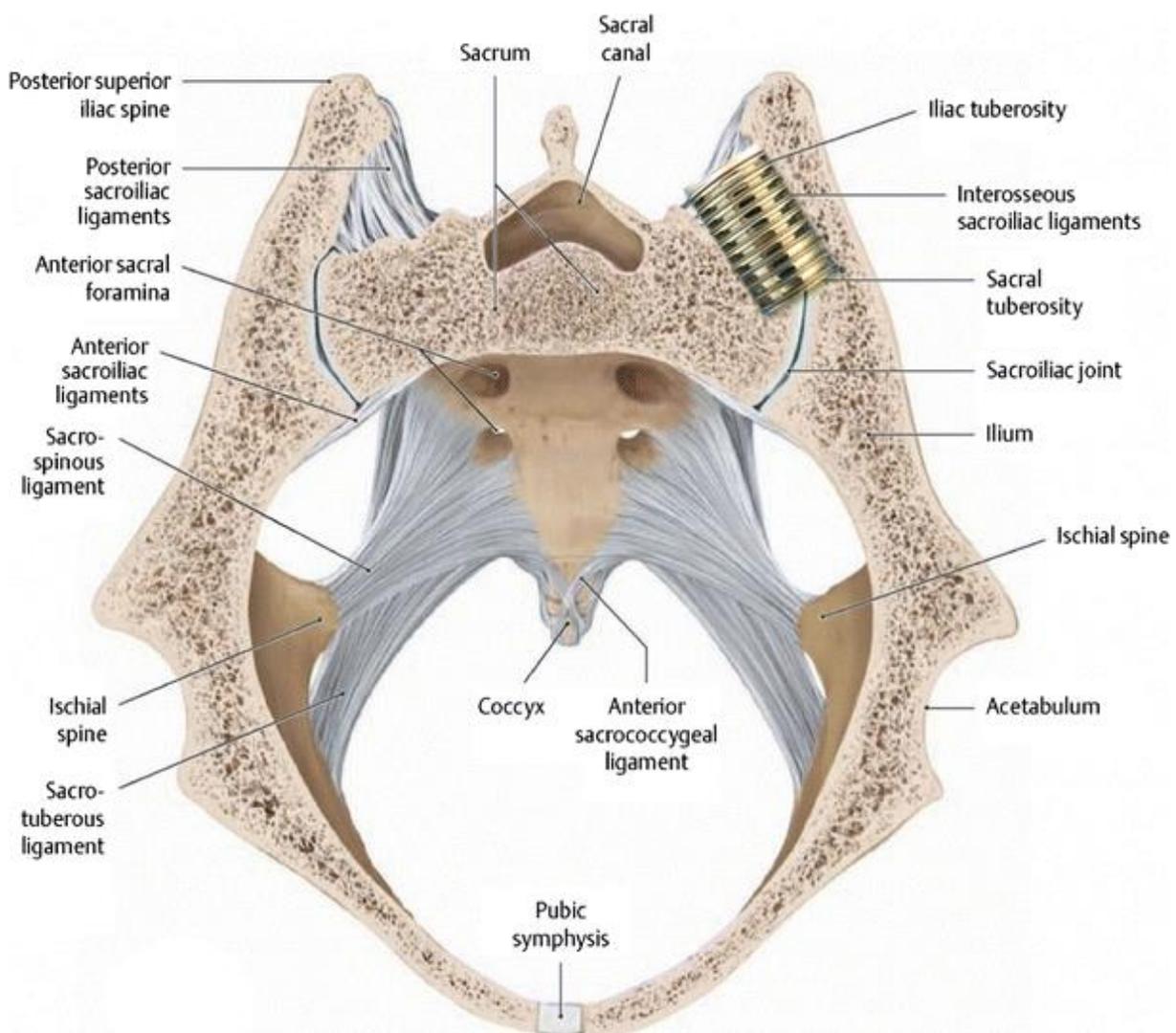
Die letzte Methode nutzt einen dorsalen Zugang über den interossären Raum. Dabei werden Schrauben, Knochentransplantate vom Beckenkamm oder eine Kombination aus beiden verwandt, um den interossären Raum auszufüllen und so eine Fusion des SIG zu erreichen (Mitchel 1938; Waisbrod et al. 1987; Belanger und Dall 2001; Wise und Dall 2008). Mit dem DIANA®-System (SIGNUS Medizintechnik GmbH) besteht die neuste Methode für diesen Zugang aus der Implantation einer Hohlschraube von posterior (Fuchs und Ruhl 2017).

Als Vorteile des dorsalen Zugangs über den interossären Raum gegenüber den anderen Verfahren gelten die größere Sicherheit des Verfahrens bei Implantation und einer eventuell nötigen Revision mit Explantation. Kritische Strukturen, die bei einem anterioren Zugang verletzt werden können, sind der Plexus lumbosacralis und die A. iliaca externa. Zudem sind insbesondere die Methoden über einen lateralen Zugang mit Abpräparierung der Glutealmuskulatur technisch anspruchsvolle Verfahren und mit einem deutlichen Gewebetrauma verbunden. Im Gegensatz dazu bietet der Zugang von dorsal über den interossären Raum den Vorteil, dass es sich um einen einfach zugänglichen Raum handelt, der nicht erst durch die Operation geschaffen werden muss. Die anterior gelegenen neurovaskulären Strukturen sind nicht bedroht. Bei der Methode zur Fusion des SIG von lateral ohne Glutealdissektion ist die geringere Traumatisierung der größte Vorteil (Stark et al. 2011).

Das so genannte DIANA® - System (SIGNUS Medizintechnik GmbH) ist aktuell das verbreitetste Verfahren in der klinischen Anwendung, das auf dem dorsalen Zugang basiert (Abbildung 8). Basierend auf der Vermutung, dass ein von außen angelegter Beckengürtel den Kraftschluss und somit die Stabilität des SIG erhöhen würde, wurde ein Implantat entwickelt, das in den interossären Raum eingebracht wird. Ziel ist die Distraction des Gelenks, die Erhöhung der ligamentären Spannung und die Reposition des Gelenks und letztendlich die Arthrodese. Auch die Möglichkeit der Reposition des subluxierten SIG in eine anatomische Position wird genannt. Bei dem Implantat

Abbildung 8

DIANA® - System



Anmerkung. DIANA® - System (SIGNUS Medizintechnik GmbH) in der interossären Region des SIG. Die Hohlschraube wird von posterior in die interossäre Region implantiert und soll zu einer Arthrodese des Gelenks führen (Fuchs und Ruhl 2017).

handelt es sich um eine gering konisch zulaufende Hohlschraube aus Titan, die in den interossären Raum nach Bestimmung der individuellen Breite implantiert wird. Die verfügbaren Durchmesser betragen 13, 15, 17 oder 19 mm. Die Länge liegt bei konstant 30 mm. Zusätzlich werden das Implantat und der interossäre Raum mit Spongiosaplastik ausgefüllt. Genaue Angaben darüber, wie diese Maße etabliert wurden, wurden nicht gemacht. Die bisherigen Ergebnisse zeigen zu 31% eine Fusion des Gelenks. Die Reduktion der Beschwerden war vergleichbar mit der beim minimalinvasiven Zugang von lateral ohne Glutealdissektion. Die relativ niedrige Fusionsrate zeigte keine Korrelation mit dem klinischen Ergebnis, was im Umkehrschluss bedeuten könnte, dass die Bedeutung der Fusion für den Erfolg überschätzt wird. Allerdings liegen längerfristige Ergebnisse noch nicht vor (Fuchs und Ruhl 2017). Im Vergleich zu unseren Ergebnissen fällt auf, dass sich die Werte für den Durchmesser weitgehend mit dem von uns gefundenen Interquartilenabstand für die Öffnungsbreite des superioren Kompartiments decken. Die Länge der Schraube befindet sich im Vergleich mit unseren Ergebnissen eher im Bereich zwischen oberem Quartil und Maximum der Tiefe im superioren Kompartiment, was damit erklärt werden könnte, dass die Schraube in der Tiefe eine sichere Verankerung haben soll. Indirekt wird bei diesem Vergleich auch die Objektivität der aktuellen Messung bestätigt.

Das geplante neue Implantatsystem nimmt im Vergleich mit den bisherigen Verfahren insofern eine Sonderstellung ein, als dass die Arthrodesse nicht das Ziel ist. Vielmehr soll über ein bewegliches System mit gleichzeitiger Distraction die normale Funktion des SIG wiederhergestellt werden. Durch den posterioren Zugang soll zudem ein hohes Maß an Sicherheit gewährleistet werden.

4.5 Schlussfolgerungen zum Implantatdesign und zur OP-Planung

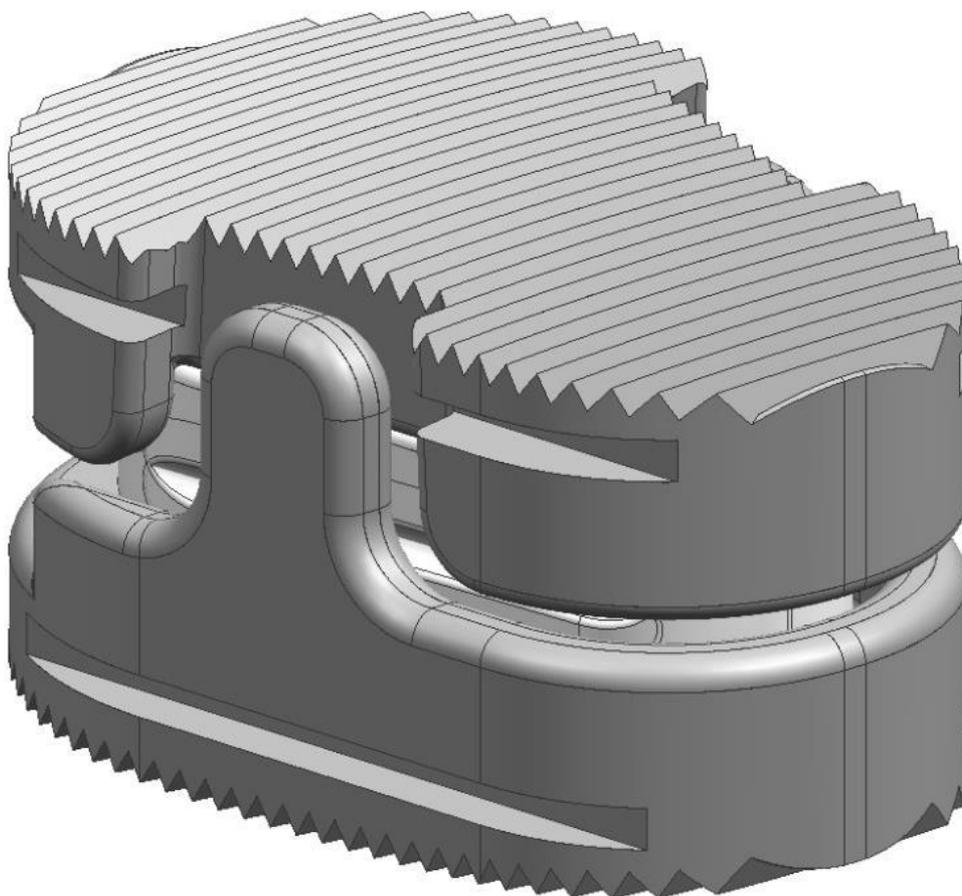
Am einfachsten und ökonomischsten wäre ein Implantat mit festen Größen, was aber aufgrund der komplexen Anatomie und der variablen Ausprägung der interossären Region nicht sinnvoll erscheint. Das superiore Kompartiment ist in erster Linie aufgrund seiner am deutlichsten ausgeprägten Gleichförmigkeit der geeignetste Bereich für eine Implantation, die sowohl einfach durchzuführen und mit einer geringen Gewebetraumatisierung verbunden wäre. Im Gegensatz zur zentralen und inferioren Region zeigte sich dort in allen Fällen eine Ausprägung dieser anatomischen Struktur mit messbaren Dimensionen. In bis zu 16% der untersuchten Fälle ließ sich zentral

und inferior gar kein Raum für eine mögliche Implantation nachweisen. Hinzu kommt, dass die Streuung der Messwerte superior am geringsten ist.

Der Anatomie der interossären Region folgend lässt sich die allgemeine Form des Implantats ableiten. Ein aus den Messungen und Überlegungen entstandener Entwurf für das Implantatsystem ist in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9

Modell des neuen Implantats



Anmerkung. Das plattenartige äußere Gerüst ist oben und unten und zeigt eine mit Graten versehene Oberfläche zur besseren Verankerung im Knochen. Der zentrale Teil zur gelenkigen Verbindung ist nicht dargestellt (mit freundlicher Genehmigung durch OHST Medizintechnik AG).

Ein äußerer Teil, der aus zwei Platten besteht, bildet das Gerüst, welches das Implantat zwischen der knöchernen Oberfläche von Os ilium und Os sacrum verankert. Um die irreguläre Oberfläche der interossären Region auszugleichen und eine stabile

Verankerung für das äußere Gerüst zu schaffen, bietet sich dafür Metall (z. B. Titan) als Material an. Die äußere Konstruktion bietet dann den Rahmen, der den Raum für die eigentliche Funktion des Implantats schafft, die Distraction bei Erhalt der Beweglichkeit. Dieser innere Teil sollte dann aus zwei beweglich verbundenen und sich nach anterior verjüngenden Komponenten bestehen.

Die äußeren Platten könnten so konstruiert werden, dass sie sich wie bei einem nach anterior spitzwinklig zulaufenden Dreieck an der Spitze der interossären Region treffen oder mit gekappter Spitze wie bei einem Trapez mit der kürzeren Grundseite anterior. Da die trapezförmige Lösung mit zwei anterior nicht verbundenen Außenseiten einfacher zu gestalten und produzieren wäre, erscheint diese Form die zu favorisierende Lösung.

Die Parameter Höhe und Tiefe eignen sich aufgrund des sehr engen Interquartilenabstands am ehesten für konstante Dimensionen. So könnte der äußere Rahmen eine fixe Höhe und Tiefe haben, sodass er bei jedem Patienten implantiert werden könnte. Da bei den Breitenwerten die größeren individuellen Unterschiede bestehen und dort über Distraction die korrekte Passform erreicht wird, muss der innere Teil des Implantats auch die differenten Dimensionen abdecken. Im Idealfall könnten die Breitenwerte im Voraus individuell dimensioniert werden. Da diese Variante zumindest in diesem frühen Stadium sehr aufwändig und kostenintensiv erscheint, bieten sich als Alternative mehrere vorgefertigte Größen an, aus denen dann erst intraoperativ nach Implantation des äußeren Rahmens die passende ausgewählt wird. Analog zum DIANA®-System (SIGNUS Medizintechnik GmbH) würde sich dafür der Interquartilenabstand anbieten.

Zwar ließ sich ein Geschlechtsdimorphismus nachweisen, jedoch könnte bei zwar signifikanten, aber insgesamt nur geringen Unterschieden, insbesondere im superioren Kompartiment, auf geschlechtsspezifische Modelle verzichtet werden, wodurch auch eine wirtschaftlichere Produktion zu erreichen wäre.

Für die OP-Planung ist also eine CT-Untersuchung des Beckens nötig. Mit den üblichen an den Körperebenen ausgerichteten coronaren und sagittalen MPR kann ein Überblick über die Anatomie und Varianten (z. B. Übergangswirbel), Fehlstellungen nach Frakturen oder die Ausprägung degenerativer Veränderungen gewonnen werden. Zusätzlich zu den Standardebenen sollten auch parallel zur Deckplatte von

SWK 1 angulierte transversale Schichten erstellt werden, in denen das superiore Kompartiment der interossären Region zwischen Os ilium lateral, Os sacrum medial und dem artikulierenden Anteil des SIG anterior abzugrenzen ist. Mit diesen auch in der täglichen Routine schnell erstellten Bildern könnten Breiten- und Tiefenwerte präoperativ vermessen werden. Abbildung 10 illustriert schematisch das geplante neue Implantatsystem, wie es sich nach der Implantation in der interossären Region darstellen könnte. Auch eine präoperative Vermessung könnte sich an dieser Vorgabe orientieren.

Abbildung 10

Schematische Darstellung des geplanten interossären Implantats



Anmerkung. Parallel zur Deckplatte von SWK 1 gewinkelte axiale CT-Schicht im Knochenfenster. Schematische Darstellung des geplanten Systems in der interossären Region links. Die plattenartigen äußeren Teile liegen am Rand der knöchernen Grenzen und laufen nach anterior spitzwinklig zu. Der gelenkig verbundene innere Teil ist kreuzartig dargestellt.

5 Zusammenfassung

Das sakroiliakale Schmerzsyndrom tritt zunehmend in den Fokus bei der Behandlung des tiefsitzenden Rückenschmerzes. Neben konservativen Verfahren werden vermehrt minimalinvasive Operationen etabliert. Das Prinzip eines noch in der Entwicklung befindlichen Implantatsystems für einen posterioren Zugang ist im Gegensatz zu den bislang üblichen Methoden nicht die Versteifung des Gelenks, sondern der Erhalt und die Rekonstruktion der Beweglichkeit. Das Ziel der Arbeit war es, für das geplante neue Implantat die posterior des artikulierenden Anteils des SIG gelegene interossäre Region reproduzierbar zu vermessen, um das Implantatdesign zu optimieren und das spärliche Wissen über diesen anatomischen Bereich zu erweitern. Da keine etablierten Messverfahren existierten, musste das Verfahren speziell entwickelt werden. Aufgrund der komplexen knöchernen Struktur der interossären Region ist die CT das geeignete Verfahren. Angelehnt an die wenigen Voruntersuchungen wurden ein superiores, ein zentrales und ein inferiores Kompartiment gebildet, die jeweils in ihrer Tiefe und an vier verschiedenen Breiten vermessen wurden. Außerdem wurde die Höhe der Region superior und inferior gemessen. Weiterhin wurden das Volumen der interossären Region, die Parameter der spinalen sagittalen Balance und der Schweregrad der SIG-Arthrose computertomographisch bestimmt. Allgemein kann die Region im Querschnitt als ein nach anterior spitzwinklig zulaufendes Dreieck beschrieben werden. Das superiore Kompartiment ist größer als das inferiore. Insgesamt sind jedoch sowohl die Form als auch die Verteilung der Messwerte sehr variabel, wobei das superiore Kompartiment am gleichförmigsten ausgebildet ist, weshalb es am ehesten für eine Implantation in Frage kommt. Es zeigte sich keine erkennbare Beziehung zwischen den Dimensionen der interossären Region und dem Alter, dem Schweregrad der SIG-Arthrose oder der Stellung des Os sacrum im Becken. Allerdings ließ sich ein Geschlechtsdimorphismus nachweisen, wobei bei Männern eine geringere Breite und eine größere Höhe als bei Frauen nachweisbar war, was zu den allgemeinen Geschlechtsunterschieden des Beckens passt. Abgeleitet aus den so gewonnen Dimensionen und Erkenntnissen lässt sich der Prototyp für das neue Implantatsystem entwickeln.

6 Literaturverzeichnis

- Abola MV, Teplensky JR, Cooperman DR, Bauer JM, Liu RW (2018): Pelvic Incidence Is Associated With Sacral Curvature, Sacroiliac Joint Angulation, and Sacral Ala Width. *Spine* 43, 1529–1535
- Bakland O, Hansen JH (1984): The „axial sacroiliac joint“. *Anat Clin* 6, 29–36
- Belanger TA, Dall BE (2001): Sacroiliac arthrodesis using a posterior midline fascial splitting approach and pedicle screw instrumentation: a new technique. *J Spinal Disord* 14, 118–124
- Buchowski JM, Kebaish KM, Sinkov V, Cohen DB, Sieber AN, Kostuik JP (2005): Functional and radiographic outcome of sacroiliac arthrodesis for the disorders of the sacroiliac joint. *Spine J Off J North Am Spine Soc* 5, 520–528; discussion 529
- Cattley P, Winyard J, Trevaskis J, Eaton S (2002): Validity and reliability of clinical tests for the sacroiliac joint. A review of literature. *Australas Chiropr Osteopat J Chiropr Osteopath Coll Australas* 10, 73–80
- Chen H, Sprengers AMJ, Kang Y, Verdonschot N (2019): Automated segmentation of trabecular and cortical bone from proton density weighted MRI of the knee. *Med Biol Eng Comput* 57, 1015–1027
- Chokshi FH, Sadigh G, Carpenter W, Allen JW (2017): Diagnostic Quality of 3D T2-SPACE Compared with T2-FSE in the Evaluation of Cervical Spine MRI Anatomy. *Am J Neuroradiol* 38, 846–850
- Ciarpaglini R, Otten P, Sutter P, Duy VQ, Gautier E, Maestretti G (2014): Sacroiliac joint syndrome 10 years after lumbar arthroplasty: the importance of spinopelvic alignment. *Eur Spine J* 23, 720–724
- Demir M, Mavi A, Gümüşburun E, Bayram M, Gürsoy S, Nishio H (2007): Anatomical variations with joint space measurements on CT. *Kobe J Med Sci* 53, 209–217
- Diesing D, Franke J, Tschoeke SK, Schultheiß R, Scheufler KM (2019): Persistent Iliosacral Joint Syndrome following Instrumentation to the Sacropelvis in Patients with Adult Spinal Deformity. *J Neurol Surg Part Cent Eur Neurosurg* 80, 15–25
- 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. In: *Pied équilibre et rachis*. Frison Roche, Paris 1998, 141–149
- Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R, Waldeyer AJ: *Waldeyer - Anatomie des Menschen*. De Gruyter, Berlin 2009
- Ferraris L, Koller H, Meier O, Hempfing A (2012): Die Bedeutung der sagittalen Balance in der Wirbelsäulen Chirurgie. *Orthop Unfallchirurgische Prax* 502–508

- Fischer B, Mitteroecker P (2017): Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Pelvis: ALLOMETRY AND SEXUAL DIMORPHISM. *Anat Rec* 300, 698–705
- Forst SL, Wheeler MT, Fortin JD, Vilensky JA (2006): The sacroiliac joint: anatomy, physiology and clinical significance. *Pain Physician* 9, 61–67
- Fuchs V, Ruhl B (2017): Distraction arthrodesis of the sacroiliac joint: 2-year results of a descriptive prospective multi-center cohort study in 171 patients. *Eur Spine J*
- Gaenslen FJ (1927): SACRO-ILIAC ARTHRODESIS: INDICATIONS, AUTHOR'S TECHNIC AND END-RESULTS. *J Am Med Assoc* 89, 2031
- Gebhart JJ, Weinberg DS, Bohl MS, Liu RW (2016): Relationship between pelvic incidence and osteoarthritis of the hip. *Bone Jt Res* 5, 66–72
- Giannikas KA, Khan AM, Karski MT, Maxwell HA (2004): Sacroiliac joint fusion for chronic pain: a simple technique avoiding the use of metalwork. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc* 13, 253–256
- Goetzen M, Ortner K, Lindtner RA, Schmid R, Blauth M, Krappinger D (2016): A simple approach for the preoperative assessment of sacral morphology for percutaneous SI screw fixation. *Arch Orthop Trauma Surg* 136, 1251–1257
- Güner G, Güner S, Elmali N, Ertem K (1998): Anterior sacroiliac fusion: a new video-assisted endoscopic technique. *Surg Laparosc Endosc* 8, 233–236
- Hermann K-GA, Bollow M (2014): Magnetic resonance imaging of sacroiliitis in patients with spondyloarthritis: correlation with anatomy and histology. *ROFO Fortschr Geb Rontgenstr Nuklearmed* 186, 230–237
- Hoy D, March L, Brooks P, Blyth F, Woolf A, Bain C, Williams G, Smith E, Vos T, Barendregt J, et al. (2014): The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Ann Rheum Dis* 73, 968–974
- Husson J-L, Mallet J-F, Parent H, Cavagna R, Vital J-M, Blamoutier A, Violas P (2010): Applications in spinal imbalance. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR*
- Johnson EM, Vyas U, Ghanouni P, Pauly KB, Pauly JM (2017): Improved cortical bone specificity in UTE MR Imaging. *Magn Reson Med* 77, 684–695
- Kapandji IA: Rumpf und Wirbelsäule (Funktionelle Anatomie der Gelenke schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik / I. A. Kapandji. Übers. von J. Koebke; Bd. 3). 3., unveränd. Aufl; Hippokrates, Stuttgart 1999
- Kellgren JH, Lawrence JS (1957): Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis* 16, 494–502
- Laslett M (2008): Evidence-based diagnosis and treatment of the painful sacroiliac joint. *J Man Manip Ther* 16, 142–152

- Le Huec JC, Saddiki R, Franke J, Rigal J, Aunoble S (2011a): Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics. *Eur Spine J* 20, 558–563
- Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, Nicolas P (2011b): Pelvic parameters: origin and significance. *Eur Spine J* 20, 564–571
- Le Huec JC, Thompson W, Mohsinaly Y, Barrey C, Faundez A (2019): Sagittal balance of the spine. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc* 28, 1889–1905
- Ledonio C, Polly D, Swiontkowski MF, Cummings J (2014): Comparative effectiveness of open versus minimally invasive sacroiliac joint fusion. *Med Devices Evid Res* 187
- Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C (1998): Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc* 7, 99–103
- Macdonald GR (1952): Sacro-iliac joints; observations of the gross and histological changes in the various age groups. *Treat Serv Bull Can Dep Veterans Aff* 7, 54–70
- Manfré L (2014): Percutaneous Sacroiliac Joint Fixation in Sacroiliac Instability. The First Case Report Using a Fully CT-Guided Technique. *Interv Neuroradiol J Peritherapeutic Neuroradiol Surg Proced Relat Neurosci* 20, 621–625
- Miller AN, Routt MLC (2012): Variations in sacral morphology and implications for iliosacral screw fixation. *J Am Acad Orthop Surg* 20, 8–16
- Mitchel J (1938): Surgical treatment of affections of the lumbo-sacral and sacroiliac joint. *Surgery* 4, 33–34
- Moon JW, Shinn JK, Ryu D, Oh S-Y, Shim YS, Yoon SH (2017): Pelvic Incidence Can Be Changed not only by Age and Sex, but also by Posture Used during Imaging. *Korean J Spine* 14, 77–83
- Murakami E, Tanaka Y, Aizawa T, Ishizuka M, Kokubun S (2007): Effect of periarticular and intraarticular lidocaine injections for sacroiliac joint pain: prospective comparative study. *J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc* 12, 274–280
- Postacchini R, Trasimeni G, Ripani F, Sessa P, Perotti S, Postacchini F (2017): Morphometric anatomical and CT study of the human adult sacroiliac region. *Surg Radiol Anat* 39, 85–94
- Pulisetti D, Ebraheim NA (1999): CT-guided sacroiliac joint injections. *J Spinal Disord* 12, 310–312
- Rana SH, Farjoodi P, Haloman S, Dutton P, Hariri A, Ward SR, Garfin SR, Chang DG (2015): Anatomic Evaluation of the Sacroiliac Joint: A Radiographic Study with Implications for Procedures. *Pain Physician* 18, 583–592

- Rand JA (1985): Anterior sacro-iliac arthrodesis for post-traumatic sacro-iliac arthritis. A case report. *J Bone Joint Surg Am* 67, 157–159
- Rosatelli AL, Agur AM, Chhaya S (2006): Anatomy of the Interosseous Region of the Sacroiliac Joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 36, 200–208
- Rudolf L (2012): Sacroiliac Joint Arthrodesis-MIS Technique with Titanium Implants: Report of the First 50 Patients and Outcomes. *Open Orthop J* 6, 495–502
- Rudolf L, Capobianco R (2014): Five-Year Clinical and Radiographic Outcomes After Minimally Invasive Sacroiliac Joint Fusion Using Triangular Implants. *Open Orthop J* 8, 375–383
- Schwarzer AC, Aprill CN, Bogduk N (1995): The sacroiliac joint in chronic low back pain. *Spine* 20, 31–37
- Smith-Petersen M (1921): Arthrodesis of the sacroiliac joint. A new method of approach. *J Bone Joint Surg Am* 3, 400–405
- Stark JG, Fuentes JA, Fuentes TI, Idemmili C (2011): The history of sacroiliac joint arthrodesis: a critical review and introduction of a new technique. *Curr Orthop Pract* 22, 545–557
- Steinke H, Hammer N, Slowik V, Stadler J, Josten C, Böhme J, Spanel-Borowski K (2010): Novel insights into the sacroiliac joint ligaments. *Spine* 35, 257–263
- Strube P, Pumberger M, Sonnow L, Zippelius T, Nowack D, Zahn RK, Putzier M (2018): Association Between Lumbar Spinal Degeneration and Anatomic Pelvic Parameters. *Clin Spine Surg* 31, 263–267
- Tonosu J, Kurosawa D, Nishi T, Ito K, Morimoto D, Musha Y, Ozawa H, Murakami E (2019): The association between sacroiliac joint-related pain following lumbar spine surgery and spinopelvic parameters: a prospective multicenter study. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*
- Vleeming A, Schuenke MD, Masi AT, Carreiro JE, Danneels L, Willard FH (2012): The sacroiliac joint: an overview of its anatomy, function and potential clinical implications. *J Anat* 221, 537–567
- Waisbrod H, Krainick J-U, Gerbershagen HU (1987): Sacroiliac joint arthrodesis for chronic lower back pain. *Arch Orthop Trauma Surg* 106, 238–240
- Weinberg DS, Morris WZ, Gebhart JJ, Liu RW (2016): Pelvic incidence: an anatomic investigation of 880 cadaveric specimens. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc* 25, 3589–3595
- Winkel D, Dijkstra PF (Hrsg.): *Das Sakroiliakalgelenk*. Fischer, Stuttgart 1992
- Wise CL, Dall BE (2008): Minimally Invasive Sacroiliac Arthrodesis: Outcomes of a New Technique. *J Spinal Disord Tech* 21, 579–584

Zárate-Kalfópulos B, Reyes-Tarrago F, Navarro-Aceves LA, García-Ramos CL, Reyes-Sánchez AA, Alpízar-Aguirre A, Rosales-Olivarez LM (2019): Characteristics of Spinopelvic Sagittal Alignment in Lumbar Degenerative Disease. *World Neurosurg*

7 Anhang

Tabelle A 1

Volumen

Seite	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
			<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen
rechts	männlich	<i>M</i>	8.12	10.17	9.74	10.23	9.69
		<i>SD</i>	1.94	3.02	2.50	2.92	2.72
	weiblich	<i>M</i>	11.06	10.95	11.50	12.45	11.52
		<i>SD</i>	1.98	2.88	2.07	4.46	3.02
	gesamt	<i>M</i>	9.67	10.51	10.62	11.48	10.60
		<i>SD</i>	2.43	2.93	2.43	3.95	3.00
links	männlich	<i>M</i>	8.48	9.81	10.06	9.86	9.65
		<i>SD</i>	2.32	2.75	2.19	3.02	2.57
	weiblich	<i>M</i>	11.58	10.83	11.78	12.67	11.73
		<i>SD</i>	2.66	2.97	2.70	3.94	3.11
	gesamt	<i>M</i>	10.11	10.25	10.92	11.45	10.69
		<i>SD</i>	2.91	2.84	2.57	3.77	3.02

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung des Volumens (in cm³) der interossären Region getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 2

SIG-Arthrose

Grad der SIG-Arthrose	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
			<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen
rechts	männlich	<i>M</i>	0.56	1.35	1.64	2.20	1.46
		<i>SD</i>	0.53	0.70	0.63	0.63	0.81
	weiblich	<i>M</i>	0.50	1.08	1.50	1.92	1.30
		<i>SD</i>	0.53	0.28	0.65	0.64	0.74
	gesamt	<i>M</i>	0.53	1.23	1.57	2.04	1.38
		<i>SD</i>	0.51	0.57	0.63	0.64	0.78
links	männlich	<i>M</i>	0.67	1.24	1.64	2.30	1.46
		<i>SD</i>	0.71	0.56	0.63	0.82	0.84
	weiblich	<i>M</i>	0.50	1.08	1.43	2.00	1.30
		<i>SD</i>	0.53	0.28	0.51	0.71	0.74
	gesamt	<i>M</i>	0.58	1.17	1.54	2.13	1.38
		<i>SD</i>	0.61	0.46	0.58	0.76	0.79

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung des Schweregrads der SIG-Arthrose getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 3

Spinale sagittale Balance

Spinale sagittale Balance	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
		<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen	
SS	männlich	<i>M</i>	47.03	37.42	37.08	42.57	40.08
		<i>SD</i>	4.10	9.20	8.85	10.70	9.35
	weiblich	<i>M</i>	40.16	40.67	41.49	43.56	41.55
		<i>SD</i>	6.84	7.47	10.58	9.48	8.70
	gesamt	<i>M</i>	43.42	38.83	39.28	43.13	40.82
		<i>SD</i>	6.58	8.51	9.83	9.80	9.01
PT	männlich	<i>M</i>	8.32	8.65	10.66	11.90	9.80
		<i>S</i>	4.32	4.39	4.59	4.49	4.54
	weiblich	<i>M</i>	11.60	13.54	12.66	15.55	13.43
		<i>SD</i>	6.53	5.47	7.15	8.59	6.99
	gesamt	<i>M</i>	10.05	10.77	11.66	13.96	11.62
		<i>SD</i>	5.70	5.39	5.98	7.20	6.14
PI	männlich	<i>M</i>	55.36	46.06	47.69	54.44	49.87
		<i>SD</i>	7.42	10.20	10.14	10.56	10.34
	weiblich	<i>M</i>	51.73	54.23	54.17	59.11	54.98
		<i>SD</i>	9.65	10.24	10.49	14.35	11.38
	gesamt	<i>M</i>	53.45	49.60	50.93	57.08	52.42
		<i>SD</i>	8.63	10.85	10.65	12.79	11.12

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der pelvinen Parameter der spinalen sagittalen Balance (in Grad) getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 4*Höhe superior*

Seite	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					alle Altersgruppen
		<35	35 – 54	55 – 74	>75		
rechts	männlich	<i>M</i>	35.86	38.01	37.39	35.70	36.99
		<i>SD</i>	4.63	5.40	3.44	3.56	4.41
	weiblich	<i>M</i>	32.29	33.53	31.20	30.88	31.94
		<i>SD</i>	3.97	4.84	3.11	7.33	5.05
	gesamt	<i>M</i>	33.98	36.07	34.30	32.98	34.47
		<i>SD</i>	4.56	5.56	4.51	6.36	5.36
links	männlich	<i>M</i>	37.18	37.57	37.38	36.86	37.30
		<i>SD</i>	5.04	6.03	3.30	2.87	4.53
	weiblich	<i>M</i>	31.68	33.55	30.81	32.22	32.06
		<i>SD</i>	4.01	4.42	2.32	4.22	3.82
	gesamt	<i>M</i>	34.28	35.83	34.09	34.24	34.68
		<i>SD</i>	5.22	5.68	4.36	4.31	4.93

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der superioren Höhe (in mm) der interessären Region getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 5*Höhe inferior*

Seite	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					alle Altersgruppen
		<35	35 – 54	55 – 74	>75		
rechts	männlich	<i>M</i>	31.78	33.42	33.66	31.28	32.77
		<i>SD</i>	2.72	3.94	3.04	3.26	3.42
	weiblich	<i>M</i>	31.00	28.41	29.76	30.11	29.75
		<i>SD</i>	3.87	3.60	3.44	3.71	3.64
	gesamt	<i>M</i>	31.37	31.25	31.71	30.62	31.26
		<i>SD</i>	3.31	4.51	3.75	3.50	3.83
links	männlich	<i>M</i>	32.41	33.22	34.53	31.10	33.02
		<i>SD</i>	3.67	3.80	3.60	3.21	3.71
	weiblich	<i>M</i>	29.48	29.10	29.54	30.76	29.73
		<i>SD</i>	2.71	3.59	3.36	3.82	3.39
	gesamt	<i>M</i>	30.87	31.44	32.04	30.91	31.38
		<i>SD</i>	3.45	4.20	4.26	3.49	3.90

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der inferioren Höhe (in mm) der interessären Region getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 6*Tiefe superior*

Seite	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
			<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen
rechts	männlich	M	23.94	24.75	23.32	25.00	24.26
		SD	5.64	3.94	5.63	4.86	4.85
	weiblich	M	22.77	24.02	24.28	26.88	24.58
		SD	3.59	2.56	3.08	4.51	3.69
	gesamt	M	23.33	24.43	23.80	26.06	24.42
		SD	4.58	3.38	4.48	4.65	4.29
links	männlich	M	23.71	24.69	25.16	25.24	24.76
		SD	5.95	3.68	2.52	3.84	3.86
	weiblich	M	25.45	24.17	24.78	27.42	25.44
		SD	4.11	2.55	3.11	4.74	3.79
	gesamt	M	24.63	24.47	24.97	26.47	25.10
		SD	5.00	3.20	2.78	4.42	3.82

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Tiefe des superioren Kompartiments (in mm) der interossären Region getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 7*Tiefe zentral*

Seite	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
			<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen
rechts	männlich	M	22.71	20.06	17.56	20.30	19.89
		SD	9.64	13.54	14.15	12.78	12.70
	weiblich	M	27.38	24.93	28.78	28.74	27.49
		SD	3.28	8.62	3.21	10.40	7.21
	gesamt	M	25.17	22.17	23.17	25.07	23.69
		SD	7.24	11.74	11.58	12.00	10.96
links	männlich	M	19.97	20.15	18.45	20.77	19.77
		SD	11.40	13.91	14.94	11.80	13.04
	weiblich	M	28.94	26.12	29.61	27.61	28.05
		SD	4.30	8.45	2.67	9.08	6.70
	gesamt	M	24.69	22.74	24.03	24.63	23.91
		SD	9.39	12.06	11.96	10.68	11.12

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Tiefe des zentralen Kompartiments (in mm) der interossären Region getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 8*Tiefe inferior*

Seite	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
			<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen
rechts	männlich	<i>M</i>	19.46	19.54	17.36	17.43	18.49
		<i>SD</i>	4.68	4.96	9.78	10.22	7.57
	weiblich	<i>M</i>	22.48	21.49	25.19	25.27	23.71
		<i>SD</i>	5.05	5.65	6.47	5.36	5.79
	gesamt	<i>M</i>	21.05	20.39	21.27	21.86	21.10
		<i>SD</i>	4.99	5.27	9.06	8.61	7.20
links	männlich	<i>M</i>	19.23	20.23	16.69	17.60	18.53
		<i>SD</i>	4.38	4.71	9.54	10.90	7.65
	weiblich	<i>M</i>	24.46	23.24	24.74	25.35	24.45
		<i>SD</i>	3.29	4.29	5.87	4.84	4.69
	gesamt	<i>M</i>	21.98	21.53	20.71	21.98	21.49
		<i>SD</i>	4.60	4.70	8.78	8.76	6.98

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Tiefe des inferioren Kompartiments (in mm) der interossären Region getrennt nach Seite, Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 9

Breitenwerte superior rechts

Breitenwert	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					alle Altersgruppen
		<35	35 – 54	55 – 74	>75		
Öffnungsbreite	männlich	<i>M</i>	15.58	17.48	16.57	16.11	16.61
		<i>SD</i>	4.44	3.25	4.28	4.18	3.91
	weiblich	<i>M</i>	18.86	15.41	16.92	16.12	16.71
		<i>SD</i>	4.65	3.84	3.62	5.95	4.61
	gesamt	<i>M</i>	17.31	16.58	16.75	16.11	16.66
		<i>SD</i>	4.74	3.61	3.89	5.15	4.25
B. 1	männlich	<i>M</i>	10.86	12.27	12.84	12.93	12.31
		<i>SD</i>	4.81	3.66	3.92	3.40	3.86
	weiblich	<i>M</i>	14.20	12.89	13.70	12.48	13.27
		<i>SD</i>	4.19	3.77	3.56	3.12	3.59
	gesamt	<i>M</i>	12.62	12.54	13.27	12.68	12.79
		<i>SD</i>	4.69	3.65	3.70	3.18	3.74
B. 2	männlich	<i>M</i>	8.12	8.49	9.76	10.49	9.18
		<i>SD</i>	2.57	2.48	3.15	3.37	2.93
	weiblich	<i>M</i>	10.92	9.70	10.49	10.32	10.33
		<i>SD</i>	2.93	3.48	2.05	2.46	2.71
	gesamt	<i>M</i>	9.59	9.02	10.13	10.40	9.75
		<i>SD</i>	3.05	2.96	2.63	2.82	2.87
B. 3	männlich	<i>M</i>	5.52	6.16	6.60	7.88	6.51
		<i>SD</i>	1.72	1.38	1.80	2.32	1.89
	weiblich	<i>M</i>	6.96	7.41	8.24	8.42	7.81
		<i>SD</i>	1.59	2.35	1.94	2.77	2.24
	gesamt	<i>M</i>	6.28	6.70	7.42	8.19	7.16
		<i>SD</i>	1.76	1.93	2.02	2.54	2.16

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Breitenwerte des superioren Kompartiments rechts der interossären (in mm) Region getrennt nach Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 10

Breitenwerte superior links

Breitenwert	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					alle Altersgruppen
		<35	35 – 54	55 – 74	>75		
Öffnungsbreite	männlich	<i>M</i>	15.18	17.44	16.09	15.54	16.28
		<i>SD</i>	4.37	3.79	4.59	5.17	4.37
	weiblich	<i>M</i>	18.26	15.24	15.95	17.01	16.50
		<i>SD</i>	4.70	4.03	2.93	4.18	3.97
	gesamt	<i>M</i>	16.80	16.49	16.02	16.37	16.39
		<i>SD</i>	4.70	3.99	3.78	4.58	4.16
B. 1	männlich	<i>M</i>	10.61	11.58	11.06	12.24	11.39
		<i>SD</i>	4.20	3.34	4.30	4.01	3.83
	weiblich	<i>M</i>	13.41	12.11	11.96	13.07	12.58
		<i>SD</i>	3.66	4.01	2.24	3.72	3.39
	gesamt	<i>M</i>	12.08	11.81	11.51	12.71	11.98
		<i>SD</i>	4.07	3.59	3.40	3.78	3.65
B. 2	männlich	<i>M</i>	7.46	8.22	8.21	9.35	8.31
		<i>SD</i>	2.38	2.23	2.64	3.87	2.74
	weiblich	<i>M</i>	10.86	9.59	10.35	10.33	10.25
		<i>SD</i>	3.61	2.60	2.11	2.74	2.69
	gesamt	<i>M</i>	9.25	8.81	9.28	9.90	9.28
		<i>SD</i>	3.48	2.45	2.58	3.24	2.87
B. 3	männlich	<i>M</i>	5.66	6.13	6.06	7.21	6.24
		<i>SD</i>	1.56	1.56	2.11	3.00	2.07
	weiblich	<i>M</i>	7.43	6.67	7.34	7.19	7.14
		<i>SD</i>	2.06	1.56	1.79	1.73	1.75
	gesamt	<i>M</i>	6.59	6.36	6.70	7.20	6.69
		<i>SD</i>	2.01	1.55	2.03	2.31	1.96

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Breitenwerte des superioren Kompartiments links der interossären (in mm) Region getrennt nach Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 11

Breitenwerte zentral rechts

Breitenwert	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					alle Altersgruppen
		<35	35 – 54	55 – 74	>75		
Öffnungsbreite	männlich	<i>M</i>	9.81	8.52	7.40	7.97	8.33
		<i>SD</i>	4.79	6.30	6.12	5.10	5.67
	weiblich	<i>M</i>	14.41	11.18	15.20	11.15	12.94
		<i>SD</i>	3.05	5.27	3.50	5.96	4.90
	gesamt	<i>M</i>	12.23	9.67	11.30	9.77	10.64
		<i>SD</i>	4.52	5.93	6.30	5.71	5.76
B. 1	männlich	<i>M</i>	4.98	4.31	4.31	5.08	4.58
		<i>SD</i>	2.68	3.21	3.82	4.04	3.40
	weiblich	<i>M</i>	9.73	6.81	8.37	8.09	8.16
		<i>SD</i>	2.35	4.35	2.63	4.04	3.53
	gesamt	<i>M</i>	7.48	5.39	6.34	6.78	6.37
		<i>SD</i>	3.45	3.89	3.83	4.23	3.89
B. 2	männlich	<i>M</i>	2.82	3.18	2.11	3.57	2.89
		<i>SD</i>	1.37	2.37	1.77	2.82	2.18
	weiblich	<i>M</i>	6.81	5.88	6.46	5.68	6.17
		<i>SD</i>	2.34	4.12	2.52	2.58	2.95
	gesamt	<i>M</i>	4.92	4.35	4.28	4.76	4.53
		<i>SD</i>	2.79	3.46	3.08	2.83	3.06
B. 3	männlich	<i>M</i>	3.30	3.21	2.50	3.52	3.09
		<i>SD</i>	1.74	2.29	2.35	2.19	2.17
	weiblich	<i>M</i>	6.57	6.31	6.42	6.65	6.48
		<i>SD</i>	1.95	3.49	1.89	2.89	2.59
	gesamt	<i>M</i>	5.02	4.55	4.46	5.29	4.78
		<i>SD</i>	2.46	3.22	2.89	3.01	2.92

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Breitenwerte des zentralen Kompartiments rechts der interossären (in mm) Region getrennt nach Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 12

Breitenwerte zentral links

Breitenwert	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					alle Altersgruppen
		<35	35 – 54	55 – 74	>75		
Öffnungsbreite	männlich	<i>M</i>	10.57	7.42	7.16	7.62	7.96
		<i>SD</i>	5.73	5.41	5.87	4.91	5.48
	weiblich	<i>M</i>	14.45	11.58	14.64	12.78	13.32
		<i>SD</i>	2.95	4.99	2.88	5.35	4.31
	gesamt	<i>M</i>	12.61	9.23	10.90	10.53	10.64
		<i>SD</i>	4.79	5.56	5.92	5.69	5.60
B. 1	männlich	<i>M</i>	4.24	3.21	3.26	4.33	3.63
		<i>SD</i>	2.25	2.39	2.90	3.87	2.82
	weiblich	<i>M</i>	7.98	7.57	7.81	7.59	7.72
		<i>SD</i>	2.02	4.01	2.55	3.13	2.97
	gesamt	<i>M</i>	6.21	5.10	5.53	6.17	5.68
		<i>SD</i>	2.82	3.82	3.54	3.77	3.54
B. 2	männlich	<i>M</i>	3.00	2.60	2.45	3.44	2.80
		<i>SD</i>	1.54	2.10	2.05	2.46	2.05
	weiblich	<i>M</i>	6.75	5.81	6.69	5.98	6.29
		<i>SD</i>	2.32	2.92	2.57	2.62	2.59
	gesamt	<i>M</i>	4.97	3.99	4.57	4.87	4.54
		<i>SD</i>	2.73	2.93	3.14	2.81	2.91
B. 3	männlich	<i>M</i>	3.40	2.59	2.79	3.17	2.91
		<i>SD</i>	2.62	1.81	2.44	1.85	2.12
	weiblich	<i>M</i>	5.99	5.75	6.93	6.29	6.27
		<i>SD</i>	1.25	2.74	2.62	2.49	2.38
	gesamt	<i>M</i>	4.76	3.96	4.86	4.93	4.59
		<i>SD</i>	2.37	2.73	3.26	2.70	2.81

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Breitenwerte des zentralen Kompartiments links der interossären (in mm) Region getrennt nach Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 13

Breitenwerte inferior rechts

Breitenwert	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
		<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen	
Öffnungsbreite	männlich	<i>M</i>	8.13	7.30	6.10	5.45	6.74
		<i>SD</i>	2.47	2.41	3.72	4.10	3.25
	weiblich	<i>M</i>	10.67	10.37	8.55	9.18	9.61
		<i>SD</i>	2.01	4.85	3.95	3.02	3.69
	gesamt	<i>M</i>	9.47	8.63	7.33	7.56	8.18
		<i>SD</i>	2.53	3.92	3.97	3.93	3.75
B. 1	männlich	<i>M</i>	5.92	5.24	3.29	3.71	4.51
		<i>SD</i>	0.94	1.30	2.53	2.56	2.17
	weiblich	<i>M</i>	7.28	7.68	6.49	6.12	6.86
		<i>SD</i>	2.42	3.75	2.04	1.89	2.63
	gesamt	<i>M</i>	6.64	6.29	4.89	5.07	5.68
		<i>SD</i>	1.95	2.87	2.78	2.47	2.67
B. 2	männlich	<i>M</i>	4.19	4.44	3.21	3.70	3.90
		<i>SD</i>	0.91	1.52	2.42	2.59	1.98
	weiblich	<i>M</i>	6.27	6.44	6.25	6.63	6.40
		<i>SD</i>	1.30	2.29	2.04	2.03	1.93
	gesamt	<i>M</i>	5.28	5.31	4.73	5.36	5.15
		<i>SD</i>	1.53	2.11	2.69	2.68	2.32
B. 3	männlich	<i>M</i>	3.48	3.79	3.09	3.34	3.45
		<i>SD</i>	0.65	1.36	1.98	2.12	1.62
	weiblich	<i>M</i>	5.40	5.28	5.44	5.86	5.50
		<i>SD</i>	1.18	1.67	1.72	1.76	1.59
	gesamt	<i>M</i>	4.49	4.44	4.26	4.77	4.47
		<i>SD</i>	1.36	1.65	2.18	2.27	1.90

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Breitenwerte des inferioren Kompartiments rechts der interossären (in mm) Region getrennt nach Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Tabelle A 14

Breitenwerte inferior links

Breitenwert	Geschlecht	Altersgruppen (in Jahren)					
			<35	35 – 54	55 – 74	>75	alle Altersgruppen
Öffnungsbreite	männlich	<i>M</i>	8.42	7.52	6.44	5.44	6.97
		<i>SD</i>	1.99	2.49	4.28	4.83	3.59
	weiblich	<i>M</i>	9.85	8.58	8.69	8.65	8.88
		<i>SD</i>	2.93	2.27	3.38	2.16	2.69
	gesamt	<i>M</i>	9.17	7.98	7.57	7.25	7.93
		<i>SD</i>	2.57	2.42	3.95	3.84	3.30
B. 1	männlich	<i>M</i>	5.69	5.02	3.40	3.81	4.45
		<i>SD</i>	0.83	1.45	2.61	2.32	2.10
	weiblich	<i>M</i>	7.45	6.51	6.86	6.65	6.83
		<i>SD</i>	2.65	2.29	2.20	1.41	2.11
	gesamt	<i>M</i>	6.62	5.67	5.13	5.41	5.64
		<i>SD</i>	2.15	1.97	2.95	2.31	2.41
B. 2	männlich	<i>M</i>	4.46	4.23	3.27	3.73	3.90
		<i>SD</i>	0.94	1.28	2.18	2.35	1.78
	weiblich	<i>M</i>	5.77	5.48	6.43	6.74	6.13
		<i>SD</i>	1.27	2.00	1.91	1.62	1.78
	gesamt	<i>M</i>	5.15	4.77	4.85	5.43	5.02
		<i>SD</i>	1.29	1.72	2.57	2.45	2.09
B. 3	männlich	<i>M</i>	3.53	3.37	3.04	3.12	3.26
		<i>SD</i>	0.77	0.89	2.02	1.97	1.48
	weiblich	<i>M</i>	4.59	4.91	5.57	6.05	5.33
		<i>SD</i>	1.16	1.27	1.61	1.54	1.49
	gesamt	<i>M</i>	4.09	4.04	4.30	4.78	4.29
		<i>SD</i>	1.11	1.31	2.21	2.26	1.81

Anmerkung. Arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Breitenwerte des inferioren Kompartiments links der interossären (in mm) Region getrennt nach Geschlecht und aufgeteilt nach Altersgruppen

Danksagung

In erster Linie danke Professor Dr. E. Seeber herzlich für die Idee und die Anregungen, die zur Beschäftigung mit diesem Thema geführt haben.

PD Dr. J. Franke danke ich für seine anhaltende Unterstützung als Betreuer trotz zahlreicher weiterer Verpflichtungen.

Dr. K. Stock bin ich zu Dank verpflichtet für seine Hilfe bei der Durchführung der Messungen sowie der Vermittlung und Unterstützung beim Entstehen der Arbeit.

Ich danke außerdem Herrn Krafft und Herrn Genrich von der Firma OHST Medizintechnik AG (Rathenow) für die Bereitstellung der Abbildung und die freundliche Zusammenarbeit.

Ehrenerklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

Dimensionsbestimmung der interossären Region des Sakroiliakalgelenks für ein neues Implantatsystem

in der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Neuroradiologie
des Städtischen Klinikums Dessau

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine
anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden. Ich habe
diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion
eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien
meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den

Erklärung zur strafrechtlichen Verurteilung

Ich erkläre hiermit, nicht wegen einer Straftat verurteilt worden zu sein, die Wissenschaftsbezug hat.

Magdeburg, den

Darstellung des Bildungswegs

Persönliche Daten

Name Jakob Leicht

Geburtstag 08.02.1989

Geburtsort Bützow

Schule und Studium

1995 bis 1999 Grundschule

1999 bis 2007 Staatliches Gymnasium „Wilhelm von Humboldt“ in Nordhausen

Abschluss Abitur

10/2007 bis 12/2013 Studium der Medizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Abschluss Staatsexamen

Beruflicher Werdegang

04/2014 bis 03/2020 Weiterbildung zum Facharzt für Radiologie in der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Neuroradiologie am Städtischen Klinikum Dessau

12/2019 Facharzt für Radiologie

Seit 04/2020 Weiterbildung zur Erlangung der Schwerpunktbezeichnung Neuroradiologie im Institut für Neuroradiologie am Klinikum Berlin-Buch