

Aus der Klinik Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

„Anatomische Beschreibung der okzipitalen Knochendicke und der
venösen Sinusanatomie bei 100 Patienten mit 46.200 standardisierten
Messungen in einer CTA für eine sichere Schraubenplatzierung bei
okzipitozervikaler Fusion“

“Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for
Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized
Measurements Using Computed Tomography Angiography”

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

der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin vorgelegt

von

Marie-Jacqueline Reisener
aus Hannover

Datum der Promotion: 03.03.2023

ZUSAMMENFASSUNG	4
ABSTRACT	6
1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	8
2. MATERIAL UND METHODEN	11
2.1 Patienten.....	11
2.2 CTA.....	11
2.3 Messtechnik anhand der CTA	12
2.4 Konfiguration der Okzipitalplatten mit Schraubenlochpositionierung.....	14
2.5 Inter- und Intrarater-Reliabilität	15
2.6 Statistische Analyse	15
3. ERGEBNISSE	16
3.1 Inter- und Intrarater-Reliabilität	16
3.2 Dicke des Okziputs und Präsenz des venösen Sinus	17
3.3 Konfiguration der Okzipitalplatten mit Schraubenlochpositionierung.....	21
4. DISKUSSION	28
5. SCHLUSSFOLGERUNG	33
6. LITERATURVERZEICHNIS	34
7. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	37
8. AUSFÜHRLICHE ANTEILSERKLÄRUNG AN DER ERFOLGTEN PUBLIKATION.....	39
<i>Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe</i> <i>Screw Placement in 100 patients with 46.200 Standardized Measurements</i> <i>Using Computed Tomography Angiography.....</i>	39
<i>Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. doi:</i> <i>10.1097/BRS.0000000000004182. Online ahead of print.</i>	39
9. AUSZUG AUS DER JOURNAL SUMMARY LIST	41
10. DRUCKEXEMPLAR DER AUSGEWÄHLTEN PUBLIKATION	43
<i>Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe</i> <i>Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements</i> <i>Using Computed Tomography Angiography.....</i>	43
<i>Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. doi:</i> <i>10.1097/BRS.0000000000004182. Online ahead of print.</i>	43
11. CURRICULUM VITAE	60
12. PUBLIKATIONSLISTE.....	61
13. DANKSAGUNG	66

Abkürzungsverzeichnis

CTA	Computertomographische Angiographie
CT	Computertomographie
EOP	External Occipital Protuberance
FM	Foramen Magnum
GUI	Graphical User Interface
KI	Konfidenzintervall
KM	Kontrastmittel
LNS	Linea Nuchae Superior
MRT	Magnetresonanztomographie
OS	Okzipitaler Sinus
PACS	Picture Archiving and Communication Systems
RA	Rheumatoide Arthritis
SD	Standard Deviation
TS	Transversaler Sinus
VS	Venöser Sinus

Zusammenfassung

Hintergrund: Die okzipitozervikale Instabilität stellt ein komplexes Krankheitsbild dar und kann sich aufgrund der Lagebeziehung zum Rückenmark zu lebensbedrohlichen Komplikationen führen. Zu den Ursachen zählen angeborene Anomalien, degenerative Veränderungen, Rheumatoide Arthritis (RA), Tumore, Infektionen und Traumata. Die häufigste operative Verorsung ist die posteriore Fusion des Okziputs mit der oberen Halswirbelsäule (HWS). Zu den am häufigsten auftretenden Komplikationen der posterioren Fusion zählen Implantatversagen aufgrund von Schraubenlockerung und die Verletzung des intrakraniellen venösen Sinus. Biomechanische Studien konnten zeigen, dass die Dicke des okzipitalen Knochens einer der Hauptfaktoren für das Versagen von okzipitalen Schrauben ist. Darüber hinaus kann die fehlerhafte Schraubeninsertion am Okziput zu massiven Blutungen oder zur Okklusion des intrakraniellen venösen Sinus (VS) führen.

Das Ziel unserer Studie war es daher, topographische Karten der okzipitalen Knochendicke sowie der Lagebeziehung des intrakraniellen VS zu erstellen und einen Vergleich mehrerer kommerziell erhältlicher okzipitaler Plattensysteme vorzunehmen.

Methoden: Wir analysierten 100 Patienten¹, bei denen zwischen 2008-2018 eine CTA des Kopfes und der HWS am Hospital for Special Surgery durchgeführt wurde.

Zuerst erstellten wir eine Matrix von 231 Messungen pro Patient (21 Messungen pro axialer Ebene in 5 mm Abständen) und analysierten die Dicke des Okziputs. Für jede Messung analysierten wir zusätzlich das Vorhandensein des VS. Anschließend werteten wir vier okzipitale Plattensysteme und ihre Schraubenlochpositionen aus.

Ergebnisse: Die dickste Stelle des Okziputs maß $13,9 \pm 3,3$ mm und befand sich in der Mitte des Hinterhauptes, 45 mm vom Foramen Magnum (FM) um die äußere Hinterhaupt-Protuberanz (external occipital protuberance; EOP). Der Ort mit der höchsten Präsenz des intrakraniellen VS zeigte sich um den EOP und die obere Nackenlinie (linea nuchae superior; LNS). Anhand unserer erstellten topographischen Darstellung der okzipitalen Dicke und der

Präsenz des VS analysierten wir die Position der Schraubenlöcher von vier Okzipitalplatten und konnten zeigen, dass das Vorhandensein des VS variierte und nur eine Platte (Platte A) alle Schraubenlöcher an Stellen mit einer Knochendicke >8 mm positioniert hatte.

Schlussfolgerung: Unsere anatomische Auswertung konnte zeigen, dass die Bereiche mit einer Knochendicke des Okziputs >8mm für eine ausreichende Ausrissfestigkeit auf einen kleinen Bereich des Okziputs limitiert waren. Für jede Schraubenlochposition in unseren vier analysierten Okzipitalplatten bestand die Möglichkeit einer venösen Sinuspräsenz von 8–33 % mit der höchsten Präsenz um den EOP herum. Unsere biometrische Karte der Okzipitalknochendicke und die Analyse des Vorhandenseins des VS kann Chirurgen dabei unterstützen, Komplikationen wie VS-Verletzungen oder Schraubenlockerungen zu vermeiden und eine stabile Fusion zu erreichen.

¹ *In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit im Plural ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf alle Personen/Patienten unabhängig von ihrem Geschlecht (m/w/d).*

Abstract

Background: The instability of the occipitocervical joint can have serious consequences for patients with severe neurological deficits up to the death of the patient. Congenital anomalies and acquired causes like degenerative diseases, rheumatoid arthritis, infections, trauma and tumors are the main reasons for instability. The posterior fusion of the occiput and the upper cervical spine is the most common treatment technique. The posterior fusion can be associated with various complications including screw loosening, and the injury of the intracranial venous sinus (VS) while placing bicortical occipital screws. Previous biomechanical studies showed that the occipital bone thickness is one of the main contributing factor for screw pull-out strength and a minimum of 8mm screw length for a stable fixation are needed. Additionally, the venous sinus is a unique anatomical structure potentially at risk during occipital instrumentation.

Only a few studies investigated anatomical characteristics of the occipital bone, especially with regard to occipital plate configurations. The aim of our study was to create topographical maps of the thickness of the occipital bone and the presence of the VS to assess the risk of bicortical occipital screw insertion by comparing four commonly used occipital plates.

Methods: We included 100 patients who had a computed tomography angiography (CTA) of the head and the upper cervical spine between 2008-2018. We created a matrix of 231 measurements per patient (21 measurements per level) for each topographical map. We assessed the presence the venous sinus and additionally the thickness of the occipital bone. At last, we analyzed four occipital plates and their screw hole positions.

Results: The location with the highest presence of the VS was around the external occipital protuberance (EOP) and the superior nuchal line (SNL). This was also the area of the thickest occipital bone. The thickest point measured 13.9 ± 3.3 mm and was at the midline of the occipital bone and 45mm from the foramen magnum around the EOP. The regions of the occipital bone with thicknesses >8 mm, was 2cm lateral of the EOP at the level of the SNL and 2.5cm inferior to the EOP. We evaluated the occipital plates and their position of the screw holes in regard to the thickness and the venous

sinus presence. Only one plate had all screw holes located in areas with an occipital bone thicknesses $>8\text{mm}$.

Conclusion: For each occipital screw hole in the four occipital plates, there was a possibility of VS presence ranging from 8-33% with the highest presence around the EOP. Regarding to the thickness of the occipital bone our topographic map showed that the areas with enough screw purchase ($>8\text{mm}$) were within a limited region. Our biometric map of the presence of the VS and the occipital bone thickness can support surgeons in preventing and reducing complications like VS injuries and to achieve a stable fixation with enough screw purchase.

1. Einleitung und Fragestellung

Der kraniozervikale Übergang ist eine biomechanisch äußerst komplexe Region der oberen Halswirbelsäule und wird als okzipitozervikales Gelenk bezeichnet. (1,2) Das Zusammenspiel des Okziputs (C0) mit dem ersten und zweiten Wirbelkörper (Atlas, C1; Axis, C2) wird hauptsächlich durch ligamentäre Strukturen gesichert. (1) Dieser Bereich der oberen Halswirbelsäule hat demnach einen hohen Grad an Flexibilität, wobei sich die Flexion-Extensions-Bewegung hauptsächlich zwischen C0-C1 abspielt und die Rotation aus der Bewegung zwischen C1 und C2 resultiert. (1) Die notwendige Flexibilität und gleichzeitige anatomische Komplexität prädestiniert diesen Bereich jedoch auch für Instabilitäten. Die sogenannte kraniozervikale Instabilität stellt einen Oberbegriff für viele Pathologien dar. Sie kann zu Verschiebungen des Dens axis und zur Kompression neuraler Strukturen führen und somit für den Patienten eine lebensbedrohliche Situation darstellen. (2) Darüber hinaus können angeborene Anomalien des Okziput, des Atlas oder des Axis von erworbenen Ursachen der okzipitozervikalen Instabilität unterschieden werden. Zu erworbenen Ursachen zählen degenerative Erkrankungen, Rheumatoide Arthritis (RA), Infektionen, Tumordstrukturen und traumatische Verletzungen.

Pathologische Veränderung des kraniozervikalen Übergangs können mit Hilfe verschiedener diagnostischer Verfahren identifiziert werden. Anatomische Landmarken und Parameter wurden zunächst für das konventionelle Röntgen beschrieben und anschließend ausgeweitet auf die Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT). (2) Heutzutage wird die CT häufig mit einer Angiographie (CTA) kombiniert, um Gefäßstrukturen besser abzubilden und mögliche Komplikationen durch Gefäßverletzungen bei der operativen Versorgung zu reduzieren. (3)

Ist eine operative Versorgung der kraniozervikalen Instabilität indiziert, ist die posteriore Stabilisierung der oberen Halswirbelsäule das am häufigsten angewandte Verfahren. (4,5) Über die letzten Jahrzehnte hat sich die operative Stabilisierung von historisch benutzten „bone grafts“ mit posteriorer Verdrahtung (6–8) hin zu den heute verwendeten posterioren Fusionen mittels eines Schrauben-Stabsystems oder Platten-

Schraubensystems weiterentwickelt. (4,5,9–11) Die neueren Stabilisierungstechniken bieten eine sofortige postoperative Stabilität und machen die Notwendigkeit einer zusätzlichen äußeren Stabilisierung wie Halskrawatten häufig überflüssig. (9,12–14)

Moderne okzipitale Platten für die okzipitozervikale Fusion liegen dem Knochen gut an mit einem geringen Risiko des Implantatkonfliktes und stellen eine ausreichende Primärstabilität wieder her. (2,5) Dennoch haben einige Studien gezeigt, dass es zu schwerwiegenden Komplikationen bei der Schraubenplatzierung kommen kann. Zu den Komplikationen zählen Implantatversagen aufgrund von Schraubenlockerung und intrakranielle Gefäßverletzung durch die implantierten Schrauben. (10,12,15,16) Biomechanische Studien zeigten, dass die Dicke des okzipitalen Knochens der ausschlaggebende Faktor für eine hohe Ausrissfestigkeit der Schrauben darstellt. (3,17,18) Eine minimale Schraubenlänge von 8 mm wurde beschrieben sowie das Setzen von bikortikalen Schrauben, um die Stabilität der Schrauben zu erhöhen. (19,20)

Der intrakranielle venöse Sinus (VS) ist eine einzigartige anatomische Struktur und durch eine bikortikale okzipitale Schraubenplatzierung gefährdet. Die Verletzung intrakranieller venöser Strukturen ist mit 1 % der Fälle selten, kann dann jedoch schwerwiegend für den Patienten sein. (21) Eine falsche Schraubeninsertion kann zu massiven Blutungen oder auch zum Verschluss des VS bis hin zum Tod des Patienten führen. (3,17)

Bisher gibt es nur wenige Studien, die die anatomischen Begebenheiten wie die Dicke des okzipitalen Knochens untersucht haben, insbesondere im Hinblick auf die Konfiguration der heute kommerziell erwerblichen okzipitalen Platten. Ziel unserer Studie war es daher, für eine sichere und effektive okzipitale Schraubenplatzierung die Dicke des okzipitalen Knochens anhand von CTA Daten zu beschreiben und gleichzeitig die Präsenz des VS zu analysieren. Die zwei Zielsetzungen unserer Studien waren:

- 1) eine topographische Karte der okzipitalen Knochendicke und der jeweiligen Präsenz des VS unterhalb des Knochens zu erstellen
- 2) das Risiko hinsichtlich der Knochendicke für eine ausreichende Ausrissfestigkeit sowie die Verletzung des VS durch bikortikale

Schraubeninsertion für die vier meist verwendeten Okzipitalplatten einzuschätzen.

Unseres Wissens nach gibt es bisher keine Studie, die die okzipitale Knochendicke in Verbindung mit der VS Präsenz mit dem Vergleich von der Konfiguration okzipitaler Platten auswertet.

2. Material und Methoden

2.1 Patienten

In die vorliegende Studie wurden Patienten eingeschlossen, welche eine CTA des Kopfes und Halswirbelsäule am Hospital for Special Surgery, New York, Vereinigte Staaten von Amerika, zwischen September 2008 und Dezember 2018 erhalten haben. Zu den Ausschlusskriterien gehörten inkomplette Datensätze, wie unvollständige Abbildungen des okzipitalen Knochens oder intravenösen Sinus, eine unzureichende Bildqualität, Schädelkalottenfrakturen, vorherige Fusionsoperationen der oberen Halswirbelsäule (C1/C2) und/oder des Okziputs, sowie angeborene Anomalien der oberen Halswirbelsäule/Okziputs. Entsprechend der Ausschlusskriterien ergab sich eine Studienpopulation von 100 Patienten. Die retrospektive Datenerhebung dieser Studie erfolgte über die elektronische sowie analoge Patientenakte, ohne einen weiteren im Zuge der Studie durchgeführten Patientenkontakt. Wir erhoben unter anderem Daten zur Demographie (Alter zum Zeitpunkt der CTA, Geschlecht, Herkunft) sowie zur Indikation der CTA.

Das entsprechende positive Ethikvotum wurde zeitgerecht eingeholt (Institutional Review Board #2018-2300, Ethikkommission HSS, New York City).

2.2 CTA

Gemäß unserer standardisierten Bilderfassungsprotokolle wurden alle eingeschlossenen Patienten einer CTA auf einem 64-Schichten-CT-Scanner (GE Healthcare®, Chicago, Illinois) unterzogen. Als Kontrastmittel wurden insgesamt 100 cm³ 320 mg/ml Iodixanol über einen 18 G intravenösen Zugang mit einer Laufrate von 4 ml/s unter Verwendung der Bolus-Tracking-Methode. Ein helixförmiger Scan mit einer Schichtdicke von 2,5 mm und einem Inkrement von 1,25 mm wurde mit folgendem Scanprotokoll eingestellt: 64 × 0,625 Kollimation, 120 Kilovolt Röhrenspannung mit 710 Milliampere-Sekunden pro Schicht als Referenzröhrenstrom, 0,98 Pitch und 0,8 Sekunden Rotationszeit.

2.3 Messtechnik anhand der CTA

Alle Messungen wurden mithilfe des „Picture Archiving and Communication Systems“ (PACS) durchgeführt. Der Referenzpunkt zu Beginn wurde als Foramen magnum (FM) plus 10 mm im medianen Sagittalschnitt der CTA definiert. Anschließend wurde der Sagittalschnitt in 5 mm Segmente bis 50mm nach proximal unterteilt (Abbildung 1). In ähnlicher Weise wurde auf Höhe jedes Segmentes in der axialen Ebene die Mitte als Bezugspunkt genommen und jeweils seitlich für 5 cm auf der rechten Seite und linken Seite in 5 mm-Segmente unterteilt (Abbildung 2). Die Dicke des okzipitalen Knochens wurde orthogonal zu der Richtung der Insertion der okzipitalen Schraube bestimmt. Eine Matrix von 231 Messungen pro Patient (21 Messungen pro Sagittalebene) wurde analysiert, um eine biometrisches Karte der okzipitalen Knochendicke zu erstellen.

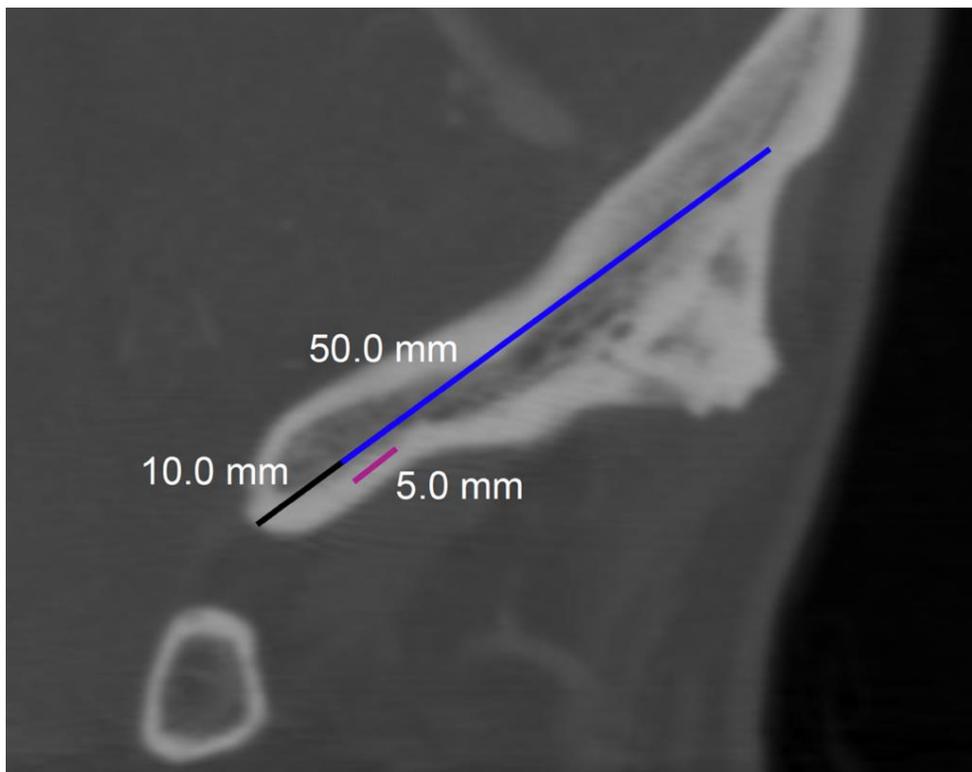


Abbildung 1. CTA des Okziputs: medianer sagittaler Schnitt (Startpunkt: 10 mm vom FM; 5 mm Segmente, die sich über 50 mm nach proximal erstrecken). (22)

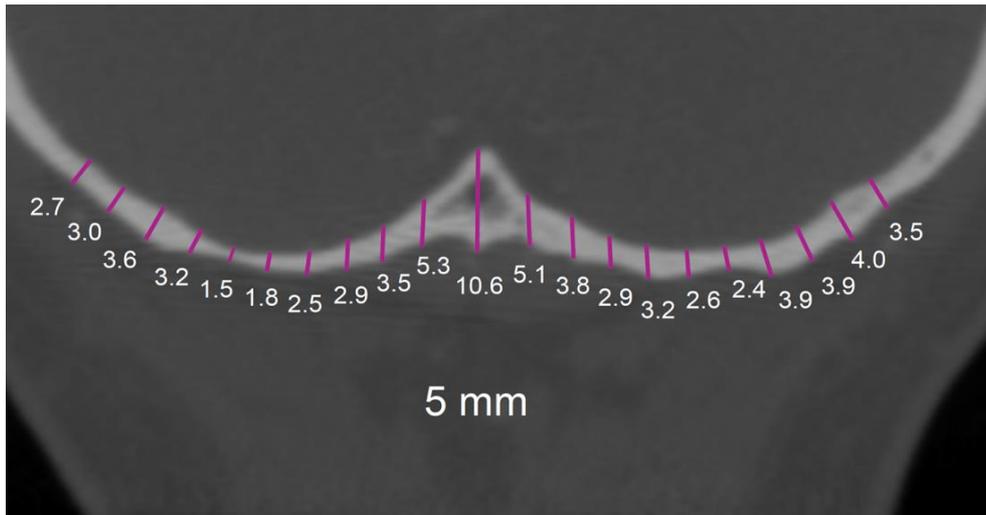


Abbildung 2. CTA des Okziputs: axialer Schnitt 5mm oberhalb des Startpunktes point (FM plus 10mm). (22)

Für jeden Messpunkt registrierten wir das Vorhandensein des intrakraniellen VS anliegend am okzipitalen Knochen zur späteren Bewertung des VS-Verletzungsrisikos bei einer bikortikale okzipitalen Schraubensetzung. Das Vorhandensein des VS wurde als „nicht vorhanden“, „vorhanden“ und wenn es nicht eindeutig zugeordnet werden konnte, aufgrund von Bildartefakten als „nicht bestimmbar“ klassifiziert (Abbildung 3).

Basierend auf unseren Messungen erstellten wir die biometrischen Karten mit der okzipitalen Knochendicke und der Wahrscheinlichkeit der Präsenz des VS, wobei „0,5“ als „nicht bestimmbar“ gewichtet wurde.

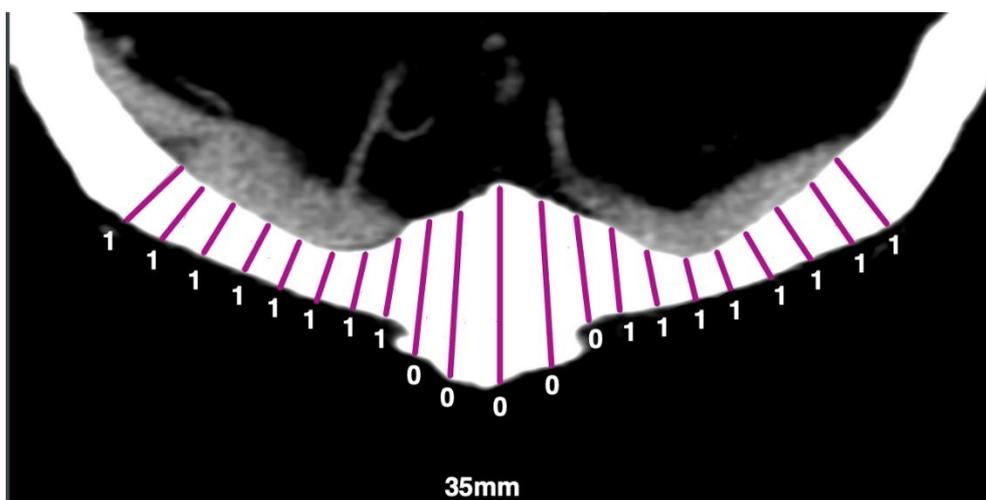


Abbildung 3. Präsenz des VS: axialer Schnitt 35 mm oberhalb des Startpunktes (FM plus 10mm). (22)

2.4 Konfiguration der Okzipitalplatten mit Schraubenlochpositionierung

Zur Auswertung der Schraubenpositionen im Zusammenhang mit der okzipitalen Knochendicke und der Präsenz des VS an der Position der Schrauben verwendeten wir vier verschieden konfigurierte Okzipitalplatten (Abbildung 4-7). Die Schraubenpositionen jeder Platte wurden manuell gemessen und anhand dessen ein Konfigurationsbild der Schraubenpositionen erstellt. Diese Konfigurationsbilder wurden auf unsere biometrischen Karten der okzipitalen Knochendicke und Präsenz des VS platziert. Alle Simulationen wurden anhand der von der AO empfohlenen Plattenpositionierung erstellt. (23) Die Platte wurde dementsprechend in der Mittellinie und 10 mm unterhalb der äußeren Hinterhaupt-Protuberanz (EOP) platziert.

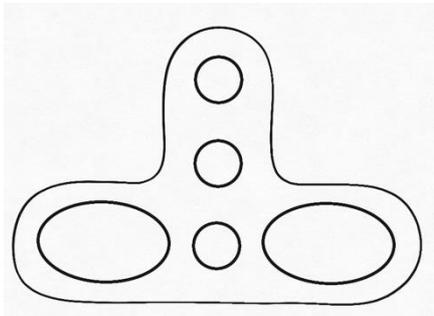


Abbildung 4. Schematische Darstellung von Platte A.

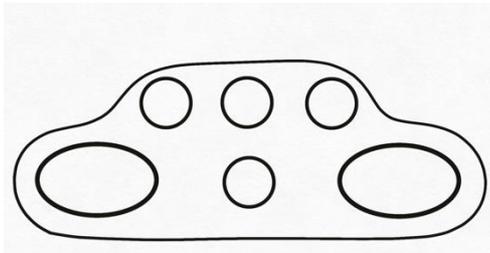


Abbildung 5. Schematische Darstellung von Platte B.

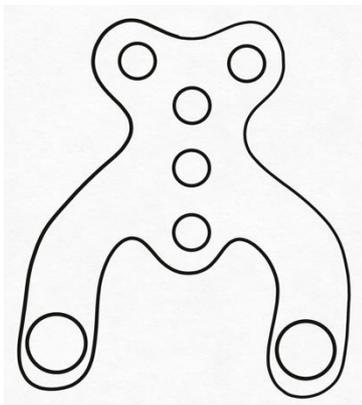


Abbildung 6. Schematische Darstellung von Platte C.

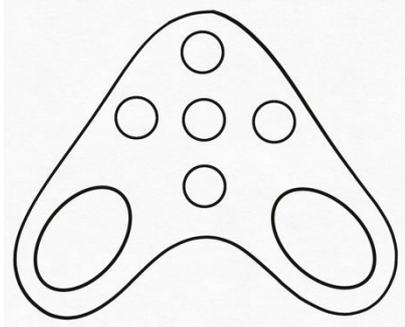


Abbildung 7. Schematische Darstellung von Platte D.

2.5 Inter- und Intrarater-Reliabilität

Um die Zuverlässigkeit unserer radiologischen Messungen zu überprüfen, führten wir eine Intra- und Interrater-Reliabilität durch. Die erste auswertende Person führte die Messungen von 10 Patienten zu Beginn und erneut nach 6 Wochen durch (2310 Messungen). Der zweite Untersucher führte an denselben 10 Patienten ebenfalls die Erst- und nach 6 Wochen die Zweitmessung durch.

2.6 Statistische Analyse

Die Dicke des okzipitalen Knochens wurde als Mittelwert \pm Standardabweichung ausgedrückt. Die Erstellung biometrischer Karten der okzipitalen Knochendicke und der Präsenz des VS, die Berechnungen der Korrelationskoeffizienten zwischen den Klassen und die Berechnungen der gewichteten κ -Werte wurden unter Verwendung der R-Softwareumgebung (R für 3.5.2 GUI 1.64) durchgeführt.

3. Ergebnisse

Insgesamt wurden 100 Patienten, von denen ungefähr die Hälfte männlich waren (53 %), in die Studie eingeschlossen. Für jeden Patienten wurden 46.200 Datenpunkte erhoben. Das durchschnittliche Alter betrug 65 ± 13 Jahre (Tabelle 1).

Tabelle 1. *Demographische Daten.* (22)

		N
Alter	Durchschnitt [SD]	65 [\pm 13]
Geschlecht (%)	Weiblich	47 (47)
	Männlich	53 (53)
Herkunft (%)	Kaukasisch	85 (85)
	Asiatisch	3 (3)
	Andere/Unbekannt	12 (12)

Tabelle 2. *Indikation für die CTA.* (22)

Die Indikationen für eine CTA sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Indikation	N
Preoperative Planung	72
Gefäßbeurteilung/Verdacht einer Gefäßläsion	23
Neurologische Symptome	6
Postoperative Beurteilung	4
Postoperative Symptome	1

3.1 Inter- und Intrarater-Reliabilität

Die radiologischen Messungen der okzipitalen Knochendicke und des Vorhandenseins des VS an jedem Datenpunkt zeigte eine gute Inter- und Intrarater-Reliabilität. Der gewichtete κ -Wert der Interrater-Reliabilität für die VS-Messungen betrug 0,87 (95 %-KI: 0,87-0,87) und 0,92 (95 %-KI: 0,92-0,92) für die Intrarater-Reliabilität. Der Interklassen-Korrelationskoeffizient der Knochendicke betrug 0,96 (95 %-KI: 0,95-0,96)

für die Interrater-Reliabilität und 0,96 (95 %-KI: 0,90-0,98) für die Intrarater-Reliabilität.

3.2 Dicke des Okziputs und Präsenz des venösen Sinus

Von Mastoid zu Mastoid gemessen hatten Frauen einen durchschnittlich um 7,8 mm (7,1 %) schmalere Schädel (102,6 ±2,5 mm) als die eingeschlossenen Männer (110,4 mm ±4,2 mm). Die maximale knöcherne Dicke des Okziputs maß 13,9 ± 3,3 mm, 45 mm vom FM entfernt. Bei männlichen Patienten betrug die breiteste Stelle 15,3 ± 3,4 mm und bei Frauen 12,4 ± 2,3 mm (Tabelle 3). Bei jedem gemessenen Segment lag die maximale Breite des Okziputs im Median.

Tabelle 3. Dicke des okzipitalen Knochens gemessenen in 5mm-Intervallen: gesamt; männlich/weiblich (Mittelwert \pm Standardabweichung in mm; L=links, R=rechts; >8 mm).(22)

	L10		L9		L8		L7		L6		L5		L4		L3		L2		L1		Midline		R1		R2		R3		R4		R5		R6		R7		R8		R9		R10			
Level	Average	SD																																										
0	4.5	1.5	3.7	1.4	3.5	1.4	3.1	1.3	2.6	1.1	2.8	1.4	3.2	1.5	3.7	1.6	4.5	1.6	5.7	1.6	7.2	1.9	5.4	1.5	4.3	1.7	3.6	1.5	3.0	1.3	2.6	1.0	2.5	1.0	3.1	1.1	3.7	1.3	4.1	1.4	4.9	1.4		
M	4.5	1.7	4.1	1.7	3.8	1.6	3.3	1.5	2.9	1.3	3.2	1.6	3.7	1.7	4.1	1.7	4.9	1.7	5.8	1.5	7.1	1.9	5.6	1.5	4.8	1.8	4.1	1.7	3.5	1.5	2.9	1.1	2.8	1.2	3.5	1.4	4.1	1.5	4.4	1.7	4.8	1.6		
F	4.4	1.2	3.3	0.9	3.1	1.0	2.8	0.9	2.3	0.6	2.3	0.8	2.6	1.1	3.2	1.3	4.1	1.5	5.6	1.6	7.4	1.8	5.3	1.5	3.8	1.3	3.0	1.1	2.5	0.8	2.2	0.7	2.3	0.7	2.8	0.7	3.3	0.9	3.8	1.0	4.9	1.1		
5	4.7	1.3	4.2	1.3	3.7	1.3	3.3	1.3	3.0	1.2	3.0	1.3	3.1	1.5	3.3	1.5	3.9	1.5	5.2	1.8	7.8	2.2	5.1	1.8	3.8	1.5	3.3	1.3	3.2	1.3	3.0	1.2	3.1	1.2	3.5	1.1	3.9	1.2	4.3	1.3	5.0	1.3		
M	4.7	1.6	4.4	1.5	3.9	1.5	3.6	1.5	3.4	1.4	3.4	1.5	3.7	1.7	3.8	1.7	4.1	1.6	5.2	1.8	7.7	2.4	5.1	1.9	4.1	1.5	3.7	1.5	3.5	1.5	3.3	1.4	3.4	1.4	3.9	1.3	4.3	1.4	4.5	1.5	5.1	1.6		
F	4.7	1.1	3.9	1.0	3.4	0.9	3.0	0.8	2.5	0.7	2.6	0.8	2.6	0.9	2.8	0.9	3.6	1.4	5.1	1.8	8.0	2.0	5.0	1.7	3.5	1.4	3.0	1.1	2.7	1.0	2.6	0.9	2.7	0.7	3.1	0.7	3.5	0.8	4.1	0.9	4.9	1.1		
10	5.3	1.4	4.8	1.3	4.2	1.3	3.7	1.3	3.6	1.3	3.6	1.4	3.6	1.5	3.7	1.6	4.1	1.6	5.6	2.1	8.9	2.5	5.6	2.1	4.3	1.5	3.8	1.4	3.7	1.3	3.6	1.3	3.6	1.2	3.9	1.2	4.4	1.1	4.9	1.2	5.5	1.5		
M	5.5	1.6	5.0	1.4	4.4	1.4	4.1	1.5	4.0	1.6	4.1	1.7	4.1	1.7	4.2	1.8	4.5	1.8	5.7	2.1	8.9	2.7	5.7	2.2	4.5	1.5	4.1	1.5	4.1	1.4	4.0	1.4	4.0	1.4	4.3	1.4	4.7	1.2	5.1	1.3	5.7	1.8		
F	5.0	1.1	4.6	1.1	4.0	1.0	3.3	0.9	3.1	0.8	3.1	0.9	3.1	0.9	3.2	1.0	3.8	1.3	5.4	2.0	8.9	2.2	5.5	2.1	4.0	1.5	3.5	1.3	3.3	1.1	3.2	0.9	3.2	0.7	3.4	0.7	4.0	0.8	4.7	1.0	5.2	1.2		
15	5.9	1.6	5.4	1.4	4.9	1.4	4.4	1.4	4.3	1.4	4.4	1.4	4.3	1.5	4.4	1.6	4.9	1.7	6.5	2.2	9.8	2.5	6.5	2.2	4.8	1.6	4.5	1.4	4.4	1.4	4.4	1.3	4.4	1.3	4.6	1.2	5.0	1.1	5.5	1.2	5.9	1.4		
M	6.3	1.7	5.6	1.4	5.3	1.5	4.8	1.5	4.7	1.6	4.8	1.7	4.7	1.7	4.9	1.7	5.4	1.8	6.8	2.1	10.1	2.9	6.7	2.2	5.1	1.5	4.8	1.4	4.8	1.3	4.8	1.4	4.9	1.4	5.0	1.3	5.3	1.3	5.8	1.3	6.3	1.5		
F	5.4	1.3	5.1	1.2	4.6	1.2	4.0	1.1	3.8	1.0	3.8	0.9	3.8	1.0	3.8	1.2	4.4	1.5	6.2	2.3	9.5	2.0	6.2	2.2	4.5	1.6	4.1	1.2	4.0	1.3	4.0	1.1	3.9	0.9	4.1	0.9	4.7	0.9	5.2	1.1	5.5	1.2		
20	6.3	1.6	6.0	1.6	5.5	1.6	5.2	1.5	5.0	1.4	5.0	1.4	4.9	1.5	5.0	1.6	5.6	1.9	7.4	2.4	10.5	2.6	7.1	2.3	5.4	1.8	5.0	1.4	4.9	1.3	5.0	1.3	5.1	1.2	5.3	1.3	5.6	1.4	6.1	1.5	6.4	1.5		
M	6.8	1.8	6.3	1.6	5.9	1.6	5.5	1.6	5.3	1.5	5.4	1.5	5.3	1.5	5.4	1.6	6.0	1.8	7.7	2.3	10.7	2.9	7.3	2.2	5.7	1.7	5.2	1.4	5.3	1.2	5.4	1.2	5.5	1.2	5.7	1.3	5.9	1.4	6.5	1.6	7.0	1.6		
F	5.7	1.3	5.6	1.5	5.1	1.4	4.8	1.3	4.7	1.3	4.6	1.2	4.5	1.3	4.5	1.4	5.2	1.8	7.2	2.5	10.2	2.3	7.0	2.4	5.2	1.8	4.6	1.4	4.6	1.4	4.6	1.2	4.7	1.2	5.0	1.1	5.2	1.2	5.6	1.2	5.7	1.2		
25	6.8	1.6	6.5	1.5	6.2	1.6	5.9	1.5	5.8	1.5	5.8	1.5	5.8	1.5	5.8	1.7	6.1	1.8	6.9	2.0	8.8	2.5	11.3	3.2	8.4	2.6	6.6	2.1	5.8	1.7	5.6	1.5	5.7	1.4	5.8	1.4	6.0	1.5	6.3	1.6	6.6	1.6	6.9	1.7
M	7.3	1.6	6.9	1.5	6.5	1.6	6.2	1.6	6.1	1.6	6.2	1.5	6.2	1.6	6.4	1.8	7.2	2.0	9.1	2.5	11.8	3.5	8.6	2.7	6.6	2.0	6.0	1.6	5.8	1.3	6.0	1.2	6.1	1.3	6.3	1.5	6.7	1.7	7.1	1.6	7.5	1.6		
F	6.2	1.3	6.0	1.4	5.8	1.5	5.5	1.5	5.6	1.5	5.5	1.5	5.4	1.8	5.8	1.9	6.6	2.1	8.5	2.4	10.7	2.7	8.3	2.5	6.6	2.3	5.6	1.8	5.4	1.6	5.4	1.6	5.5	1.4	5.6	1.4	5.8	1.4	6.1	1.4	6.1	1.5		
30	7.0	1.6	6.9	1.4	6.7	1.6	6.7	1.6	6.8	1.6	6.8	1.8	7.0	2.0	7.5	2.3	8.6	2.6	10.6	3.0	13.1	3.3	10.7	3.2	8.5	2.8	7.3	2.3	6.8	1.9	6.7	1.8	6.8	1.8	6.8	1.8	6.9	1.6	7.0	1.7	6.9	1.8		
M	7.6	1.6	7.3	1.4	7.0	1.5	6.9	1.6	6.9	1.7	7.1	1.8	7.4	2.1	8.0	2.5	9.2	2.9	11.4	3.4	13.9	3.8	11.2	3.7	8.8	3.0	7.4	2.3	6.9	2.0	6.8	1.8	6.9	1.8	7.0	1.7	7.2	1.7	7.4	1.7	7.5	1.7		
F	6.3	1.2	6.4	1.3	6.4	1.6	6.5	1.7	6.6	1.5	6.5	1.6	6.7	1.9	7.0	2.0	7.9	2.1	9.8	2.3	12.0	2.1	10.0	2.4	8.1	2.6	7.2	2.4	6.7	1.9	6.6	1.7	6.6	1.8	6.5	1.7	6.5	1.5	6.4	1.6	6.3	1.6		
35	6.7	1.8	6.7	1.6	6.8	1.6	7.0	1.6	7.3	1.7	7.6	2.0	8.1	2.2	9.0	2.4	10.4	3.0	12.2	3.3	13.9	3.3	12.7	2.9	10.5	2.9	9.1	2.6	8.3	2.3	7.9	2.0	7.5	1.8	7.2	1.8	7.0	1.7	6.9	1.7	6.7	1.7		
M	7.4	1.8	7.2	1.6	7.2	1.6	7.2	1.7	7.4	1.9	7.8	2.2	8.4	2.3	9.5	2.6	11.3	3.2	13.4	3.3	15.3	3.4	13.4	3.4	11.0	3.1	9.2	2.7	8.5	2.5	8.1	2.1	7.7	1.9	7.5	1.8	7.5	1.7	7.4	1.6	7.2	1.6		
F	6.0	1.4	6.2	1.5	6.3	1.4	6.8	1.6	7.2	1.6	7.3	1.8	7.7	2.0	8.4	2.1	9.4	2.6	10.9	2.8	12.4	2.3	11.8	2.1	10.0	2.4	9.0	2.5	8.1	2.0	7.6	1.8	7.2	1.7	6.9	1.7	6.6	1.7	6.4	1.7	6.2	1.6		
40	6.4	1.7	6.6	1.6	6.8	1.8	7.0	1.8	7.4	2.0	7.9	2.2	8.3	2.4	9.1	2.5	10.4	2.8	12.1	3.2	13.7	3.3	12.9	3.1	11.2	2.8	10.0	2.5	9.1	2.4	8.4	2.2	7.7	2.0	7.1	1.9	6.7	1.7	6.5	1.6	6.2	1.5		
M	6.9	1.7	7.0	1.7	7.2	1.9	7.4	2.0	7.8	2.2	8.3	2.3	8.8	2.4	9.8	2.3	11.3	2.8	13.3	3.0	15.1	2.9	14.0	3.1	11.9	2.8	10.3	2.5	9.3	2.4	8.5	2.3	7.9	2.0	7.5	1.9	7.2	1.7	7.0	1.6	6.6	1.5		
F	5.7	1.4	6.1	1.4	6.3	1.5	6.6	1.5	7.0	1.7	7.5	2.0	7.7	2.2	8.3	2.3	9.3	2.4	10.8	2.8	12.1	2.9	11.7	2.8	10.4	2.5	9.6	2.5	8.9	2.4	8.2	2.2	7.4	2.0	6.7	1.7	6.2	1.5	5.9	1.5	5.8	1.4		
45	5.9	1.6	6.2	1.6	6.5	1.6	6.6	1.7	6.8	1.8	7.3	2.1	7.7	2.4	8.4	2.6	9.4	2.9	10.8	3.3	12.5	3.3	11.7	3.4	10.6	2.9	9.3	2.6	8.3	2.3	7.5	2.1	6.9	1.9	6.6	1.7	6.2	1.7	6.0	1.4	5.8	1.4		
M	6.5	1.6	6.7	1.7	6.8	1.7	7.1	1.9	7.3	2.0	7.8	2.3	8.3	2.6	9.0	2.8	10.3	2.8	11.9	2.9	13.6	2.9	12.7	3.1	11.2	2.8	9.8	2.6	8.8	2.4	8.0	2.3	7.3	2.0	7.0	1.8	6.7	1.8	6.5	1.5	6.2	1.5		
F	5.3	1.4	5.7	1.3	6.0	1.3	6.0	1.4	6.3	1.5	6.8	1.6	7.0	1.9	7.7	2.3	8.4	2.7	9.6	3.3	11.2	3.3	10.6	3.4	9.8	3.0																		

Wir fertigten eine biometrische Karte der okzipitalen Dicke an und haben diese anatomisch korrekt auf eine 3D-Abbildung eines Okziputs platziert (Abbildung 8a). Die dementsprechenden anatomischen Datenpunkte analysierten wir im Hinblick auf die Präsenz des VS und erstellten eine entsprechende Abbildung (8b).

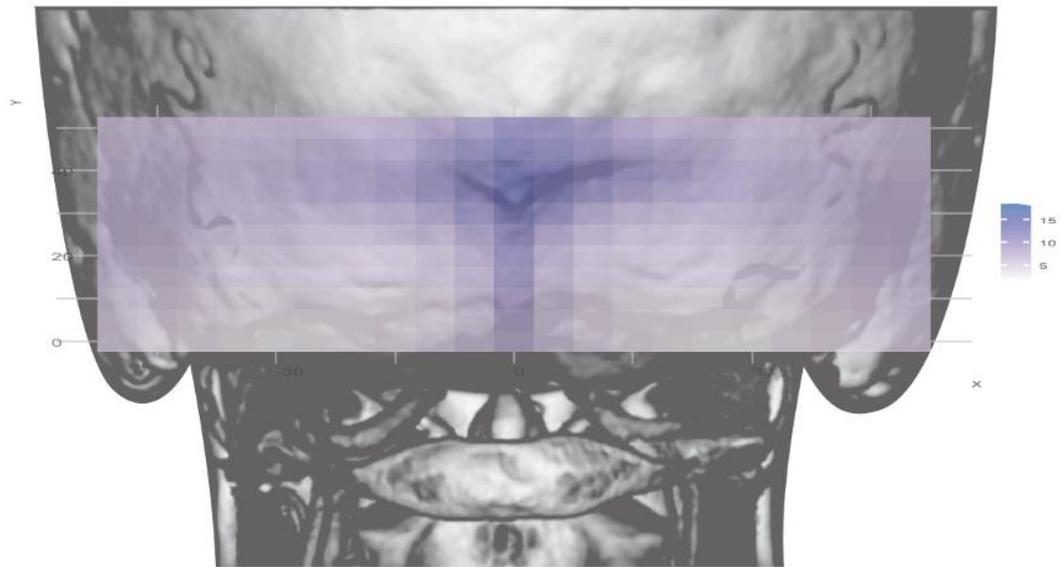


Abbildung 8a. *Biometrische Karte der durchschnittlichen okzipitalen Knochendicke in mm (Dicke der Knochendicke korreliert mit der Intensität des Blautons). (22)*

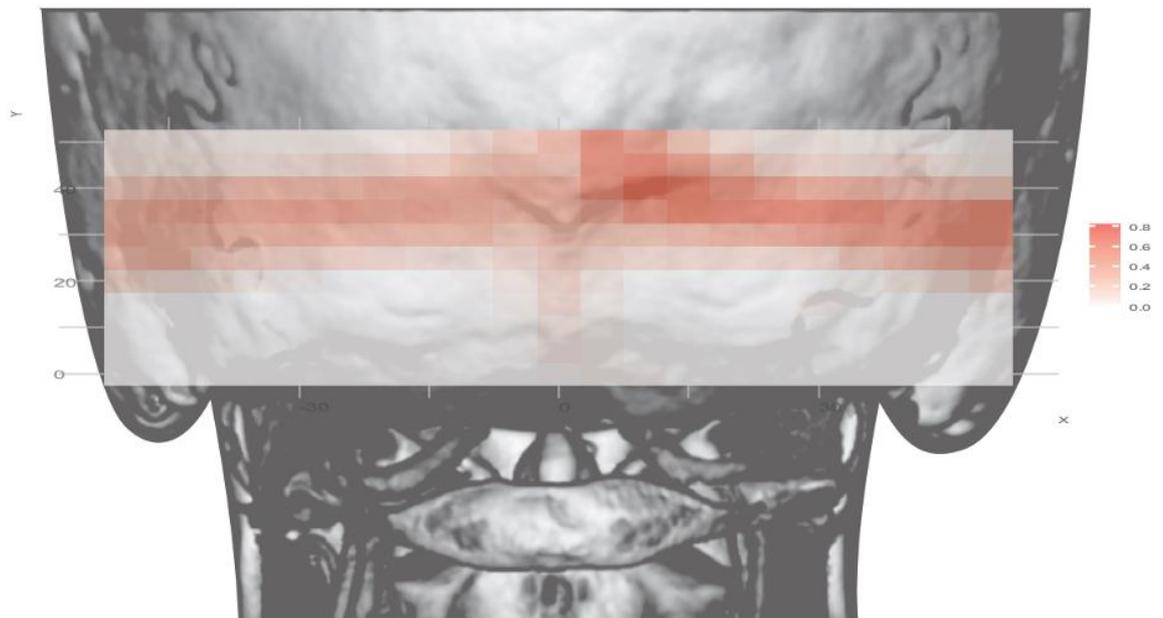
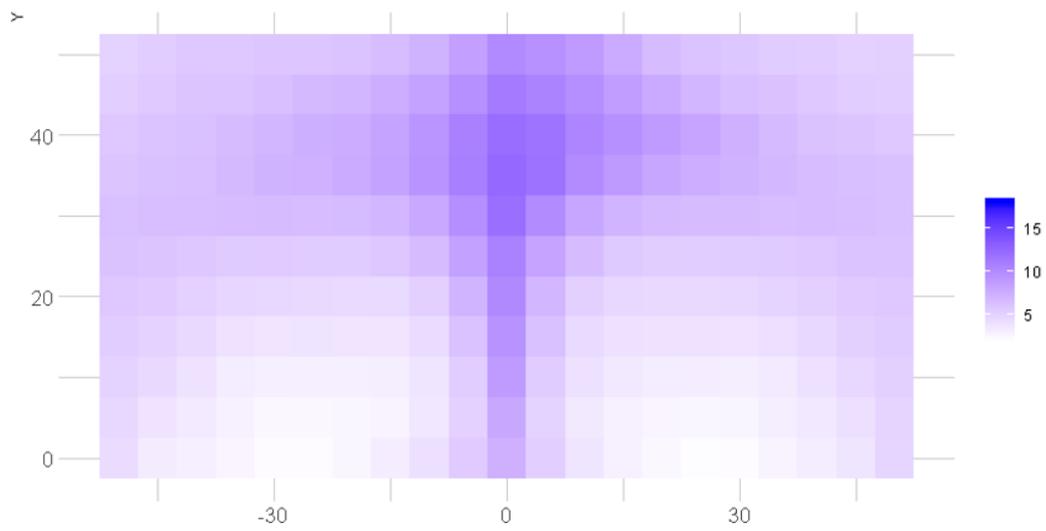
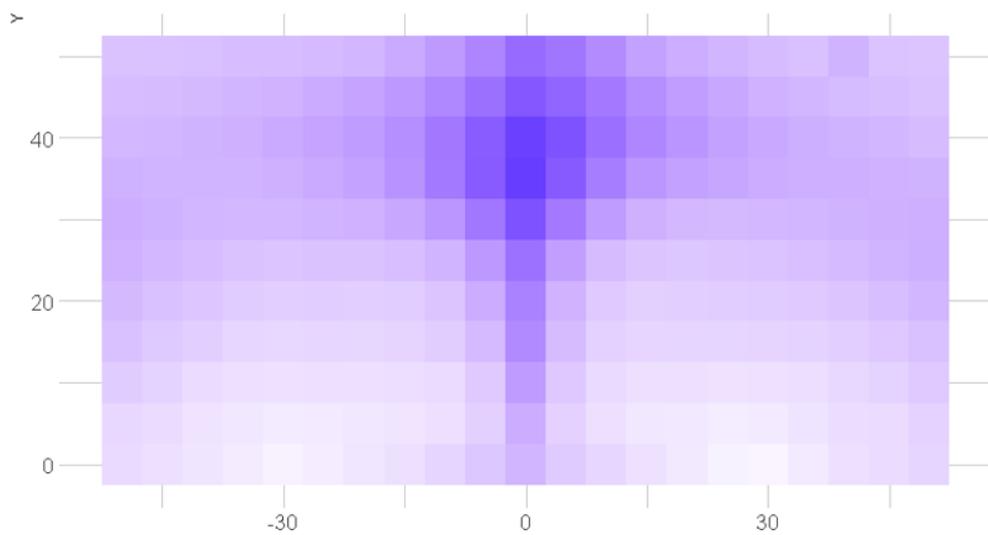


Abbildung 8b. *Graphische Darstellung der Präsenz des VS (Wahrscheinlichkeit der VS Präsenz korreliert mit der Intensität des Rottens). (22)*

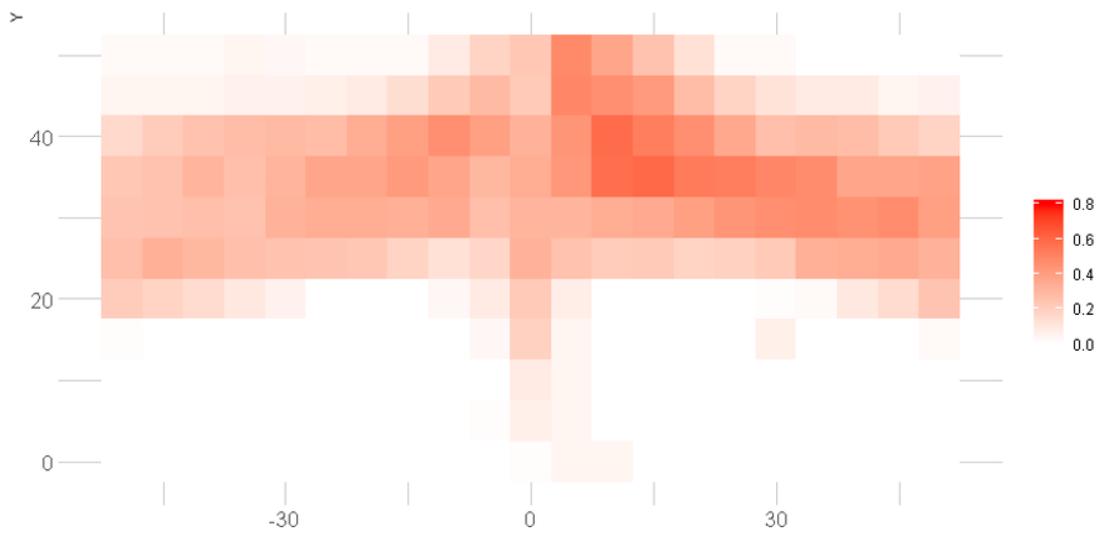
Zudem erfolgte eine Geschlechter getrennte Darstellung (Abbildung 9 a-d).



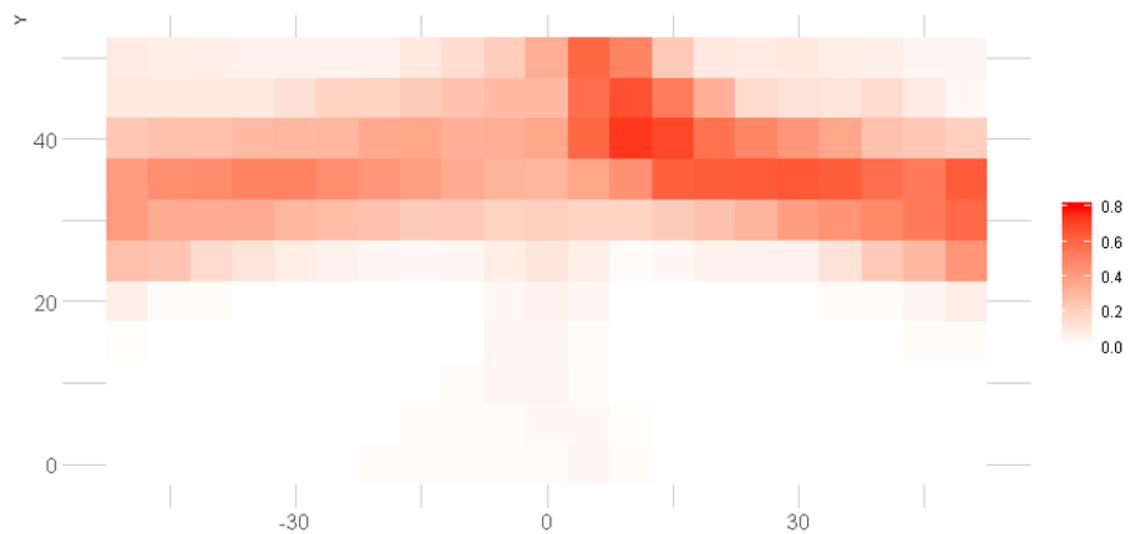
(A) Biometrische Karte der durchschnittlichen okzipitalen Knochendicke in weiblichen Patienten mm.



(B) Biometrische Karte der durchschnittlichen okzipitalen Knochendicke in männlichen Patienten mm.



(C) Graphische Darstellung der Präsenz des VS in weiblichen Patienten.

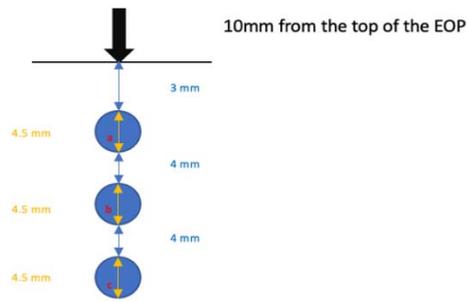


(D) Graphische Darstellung der Präsenz des VS in männlichen Patienten.

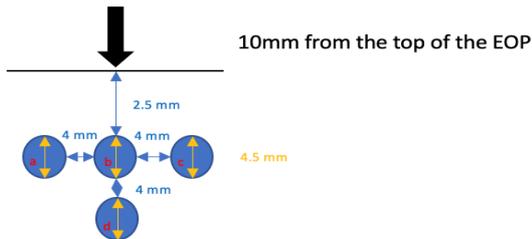
Abbildung 9 a-d. Graphische Darstellung der okzipitalen Knochendicke und Präsenz des VS geschlechterspezifisch. (22)

3.3 Konfiguration der Okzipitalplatten mit Schraubenlochpositionierung

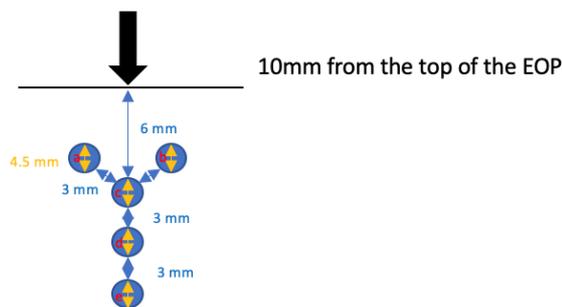
Wir erstellten ein Konfigurationsbild der Schraubenpositionen für die verwendeten Okzipitalplatten (Abbildung 10 a-d).



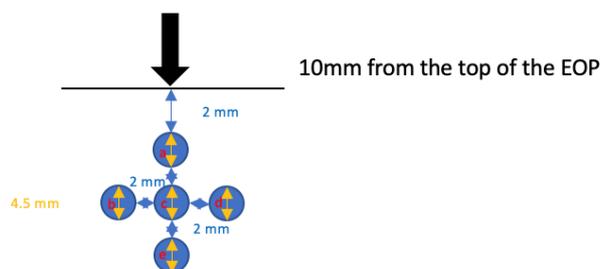
(A) Platte A



(B) Platte B



(C) Platte C



(D) Platte D

Abbildung 10 a-d. Die schematische Darstellung der Schraubenlochpositionen der vier okzipitalen Platten (die transversal Linie bezeichnet den oberen Rand der Platte, welcher 10 mm unterhalb des EOP platziert wird). (22)

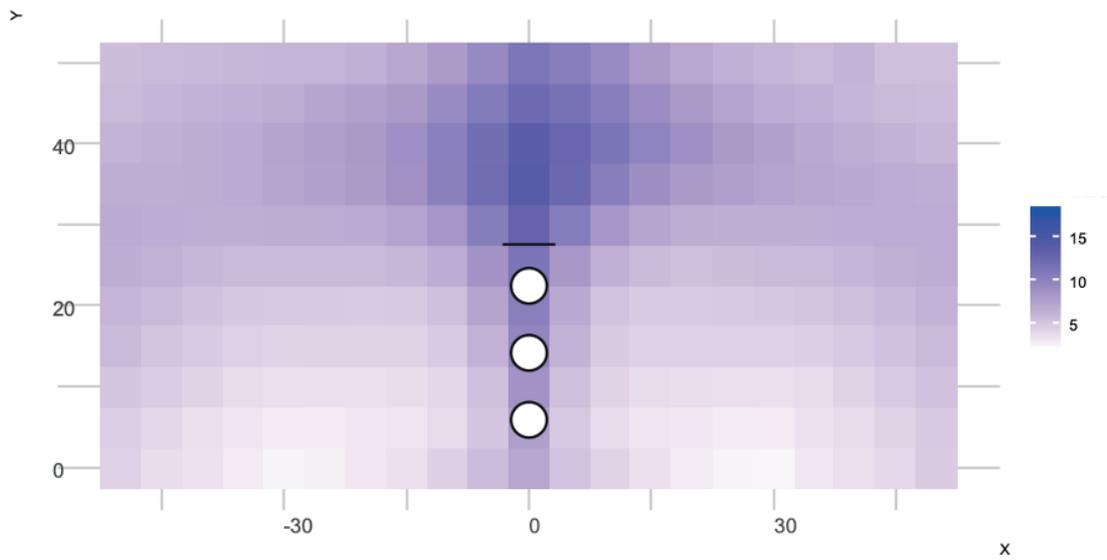
Anschließend erfassten wir die okzipitale Knochendicke und die Präsenz des VS an den einzelnen Schraubenpositionen der vier Okzipitalplatten (Tabelle 4). Für die verschiedenen Positionen der Schraubenlöcher variierte die

Präsenz des VS von 8–33 %. Keine Schraubenlochposition wies ein 0 %iges Risiko auf, bei bikortikaler Schraubenposition den venösen Sinus zu verletzen. Nur bei einer der vier analysierten Platten (Platte A) befanden sich alle Schraubenlöcher in einem anatomischen Bereich mit einer Knochendicke von >8 mm, was zuvor als Mindestlänge der Okzipitalschrauben beschrieben wurde, um das Risiko eines Implantatversagens zu reduzieren. (19,20)

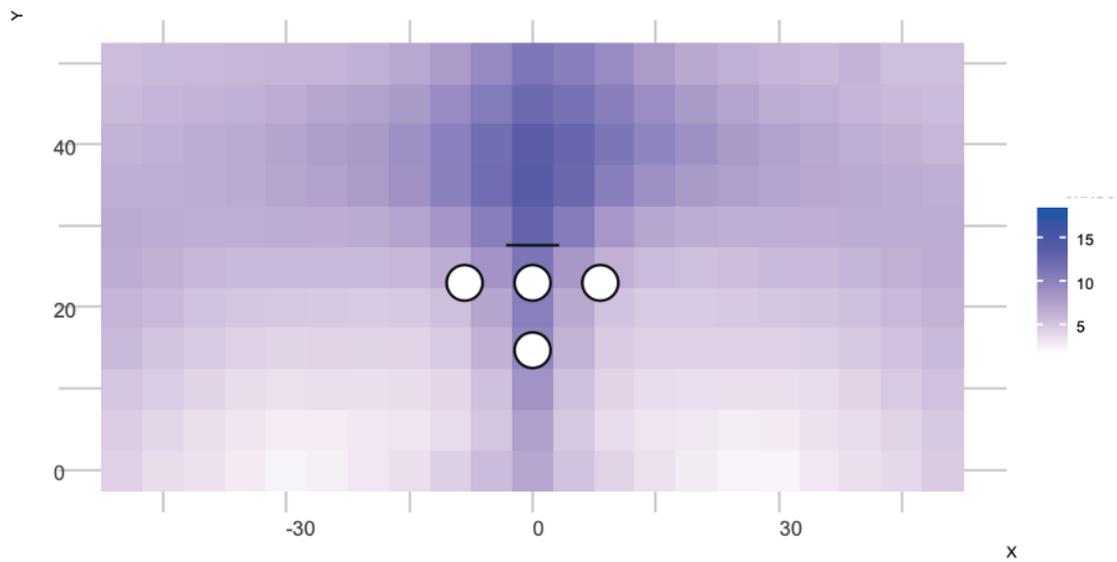
Tabelle 4. *Tabellarische Übersicht der vier Platten mit Schraubenposition im Hinblick auf die okzipitale Knochendicke und die Präsenz des VS. (22)*

Platte		a	b	c	d	e
A	Knochendicke (mm)	10,5-11,3	9,8	8,9		
	VS (%)	16-25	8	8		
B	Knochendicke (mm)	5,6-8,8	10,5-11,3	5,4-8,4	9,8	
	VS (%)	8-16	16-25	0-33	8	
C	Knochendicke (mm)	8,8	8,4	10,5	8,9	7,8
	VS (%)	16	33	16	8	8
D	Knochendicke (mm)	10,5-11,3	4,9-7,4	9,8-10,5	4,8-7,1	9,8
	VS (%)	16-25	8-16	8-16	8-25	8

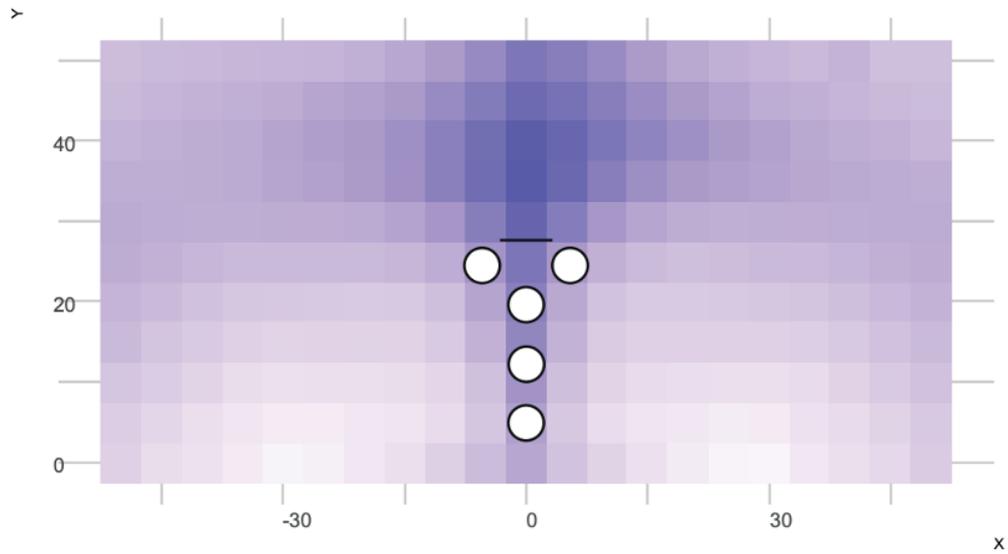
In der Abbildung 11 haben wir die Schraubenlöcher der vier verwendeten okzipitalen Platten auf a) die biometrische Karte der okzipitalen Knochendicke (Abbildung 11a) und b) auf die graphische Darstellung der Präsenz des VS gelegt (Abbildung 11b).



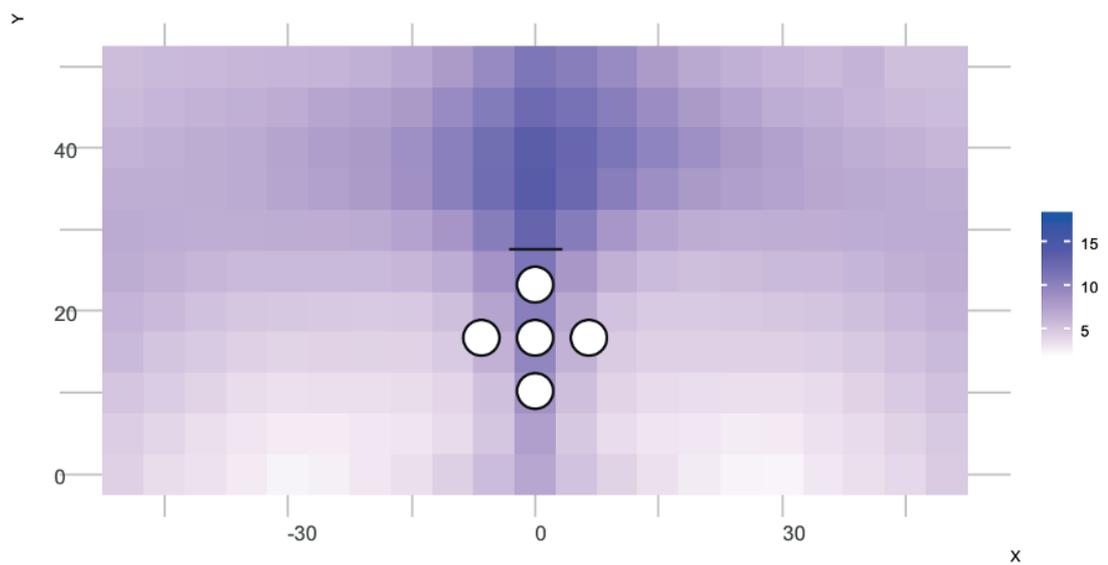
(A) Schraubenlöcher der Platte A auf der der biometrische Karte der okzipitalen Knochendicke. (22)



(B) Schraubenlöcher der Platte B auf der der biometrische Karte der okzipitalen Knochendicke.

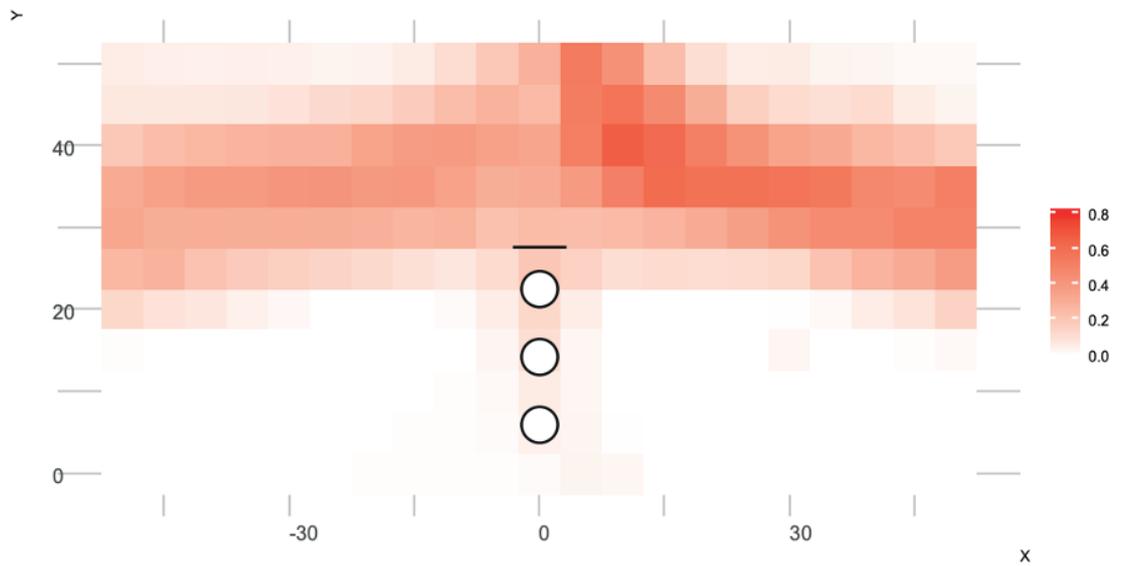


(C) Schraubenlöcher der Platte C auf der der biometrische Karte der okzipitalen Knochendicke.

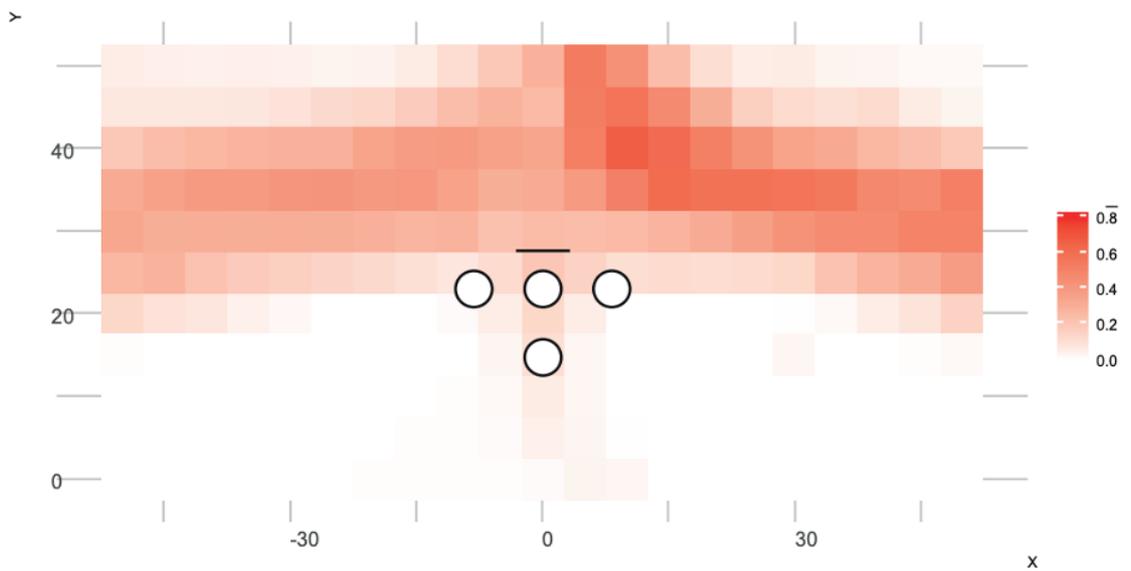


(E) Schraubenlöcher der Platte D auf der der biometrische Karte der okzipitalen Knochendicke.

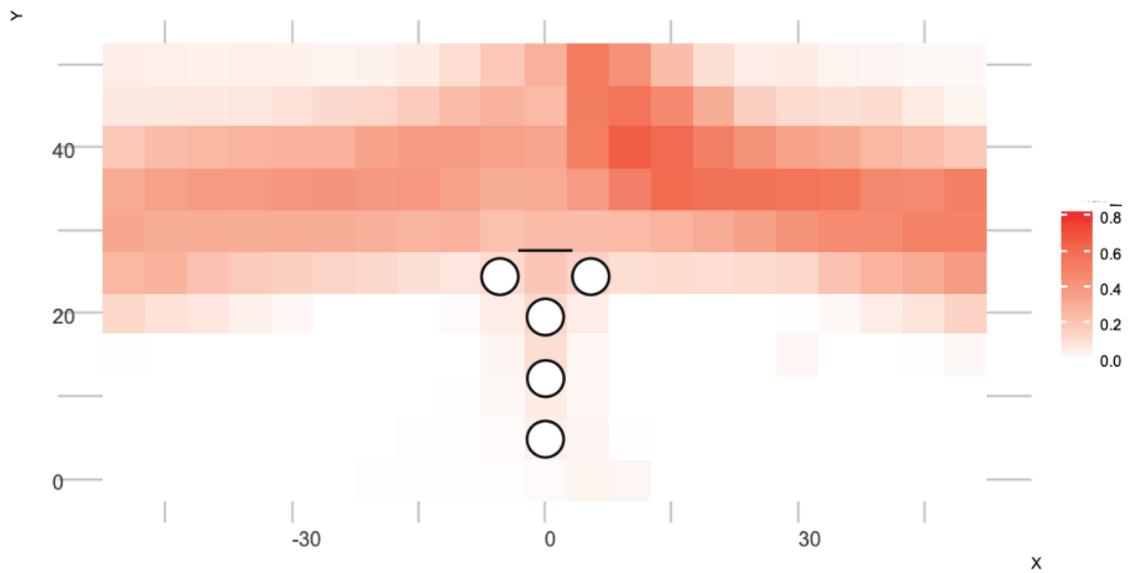
Abbildung 11a. Positionierung der Schraublöcher der vier okzipitalen Platten auf die biometrische Karte der okzipitalen Knochendicke.



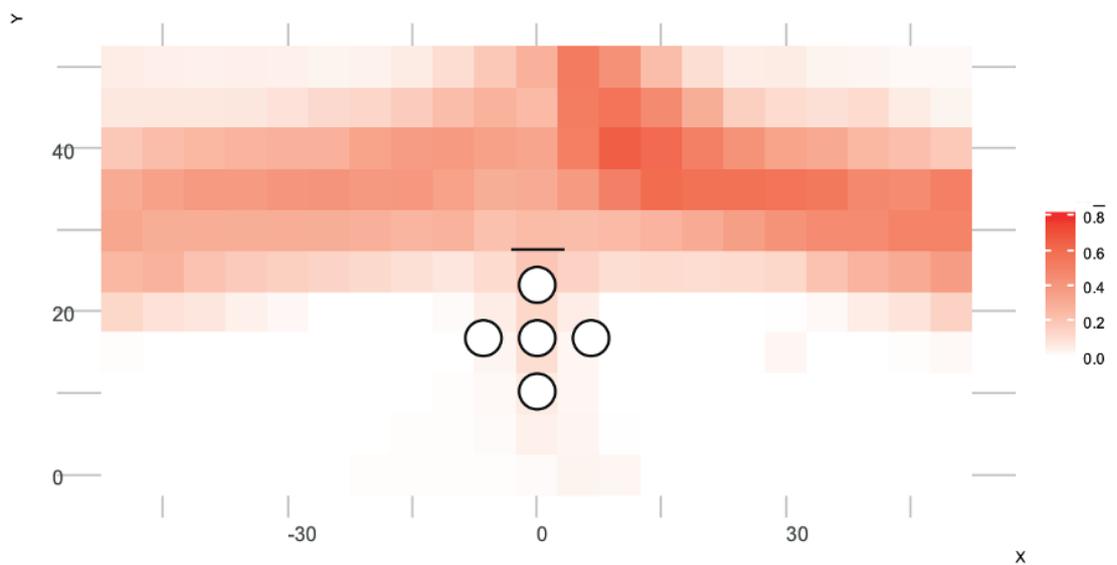
(A) Schraubenlöcher der Platte A auf der graphische Darstellung der Präsenz des VS. (22)



(B) Schraubenlöcher der Platte B auf der graphische Darstellung der Präsenz des VS.



(C) Schraubenlöcher der Platte C auf der graphische Darstellung der Präsenz des VS.



(D) Schraubenlöcher der Platte D auf der graphische Darstellung der Präsenz des VS.

Abbildung 11b. *Positionierung der Schraublöcher der vier okzipitalen Platten auf die biometrische Karte der Präsenz des VS.*

4. Diskussion

In der von uns durchgeführten Studie schlossen wir 100 Patienten ein, von denen wir ein CTA im Hinblick auf die Knochendicke des Okziputs, aber auch die Präsenz des intrakraniellen venösen Sinus an den vorher definierten Messpunkten ausgewertet haben. Insgesamt analysierten wir 46.200 Datenpunkte und erstellten eine biometrische Karte der okzipitalen Knochendicke, sowie eine graphische Darstellung des Verlaufes des VS intrakraniell (Abbildung 8). Zusätzlich analysierten wir vier häufig verwendete Okzipitalplatten im Hinblick auf die Positionierung der Schraubenlöcher in Zusammenhang mit der okzipitalen Knochendicke und der möglichen Präsenz des venösen Sinus.

Die okzipitale Knochendicke wurde bisher hauptsächlich in älteren Kadaverstudien beschrieben oder in einer jüngeren Studie im CT analysiert. (3,20,24–27) Unsere biometrische Beschreibung jedoch ist im Vergleich sehr viel detaillierter mit deutlich mehr analysierten Messpunkten. (3) Zudem macht die Kombination der gleichzeitigen Auswertung der Präsenz des intrakraniellen VS und die Bewertung der vier am häufigsten verwendeten okzipitalen Plattensystemen mit ihren Schraubenlochpositionen die Studie einzigartig.

Zu den in der Literatur beschriebenen implantat-bezogenen Komplikationen bei der okzipitalen Stabilisierung im Rahmen einer okzipitotokervikalen posterioren Fusion gehören Implantatversagen durch Schraubenauslockerung sowie Verletzungen intrakranieller Gefäße durch die okzipitale Schraubeninsertion. (10,12,15,16) Okamoto et al. werteten das Risiko einer okzipitalen Schraubenlockerung oder eines Implantatversagens durch Bruch der okzipitalen Platte mit 8,1 %. (28) Vorherige Studien beschrieben die ideale okzipitale Plattenlage, um eine ausreichende Schraubenfestigkeit zu erzielen: lateral des EOP und unterhalb der oberen Nackenlinie (SNL) und entlang der Medianen des Okziputs nach distal. (20,25,26) Die minimale Schraubenlänge für eine hohe Ausrissfestigkeit und eine sichere knöchernen Stabilität wurde in der Literatur mit einem Minimum von 8 mm beschrieben (8 mm bei Frauen, 10 mm bei Männern). (17,18) In unserer Studie und Auswertung zeigte sich der anatomische Bereich mit einer

Knochendicke von mindestens 8 mm als limitiert. 2 cm lateral auf Höhe der EOP und bis 2,5 cm unterhalb des EOP reichend entlang der Medianen zeigte sich eine ausreichende Knochendicke von ≥ 8 mm. Wenn man jedoch nur minimal von diesem Bereich abweicht, reduziert sich die Knochendicke drastisch, was für die okzipitale Plattenpositionierung von Relevanz ist. Zum Beispiel auf Höhe des EOP und einer lateralen Abweichung von 5 mm von dem Bereich der Knochendicke ≥ 8 mm minimiert sich die Dicke auf < 8 mm (7,6 mm). Das Erkennen der Mittellinie intraoperativ ist also essentiell für den Chirurgen, um eine ausreichende knöcherne Ausrissfestigkeit zu gewährleisten und somit Komplikationen wie der Schraubenlockerung zu minimieren.

Neben der okzipitalen Knochendicke galt das weitere Hauptaugenmerk unserer Studie für eine sichere Schraubenplatzierung der Verlauf des VS und somit das Risiko einer Gefäßverletzung durch das/ein bikortikales Schraubensetzen. In der Literatur konnten biomechanische Studien zeigen, dass bikortikale okzipitale Schrauben eine 50 % höhere Ausrissfestigkeit und somit deutlich stabiler als monokortikale Schrauben sind. (29,30) Neben der höheren Ausrissfestigkeit besteht jedoch bei bikortikaler Schraubensetzung die Gefahr, durch den Bohrer oder die Spitze der bikortikalen Schrauben den intrakraniellen venösen Sinus zu verletzen. Mit unserer Analyse des venösen Sinus wollten wir somit dem Operateur eine Hilfestellung für eine sicherere okzipitale Schraubenplatzierung geben. Die Verletzung des VS ist in der Literatur, welche hauptsächlich nur aus Fallberichten besteht, mit einer Wahrscheinlichkeit > 1 % angegeben. (3,21,31) Diese Gefäßverletzung ist demnach selten, kann jedoch zu lebensbedrohlichen Situationen für den Patienten führen. (3,21,31) Beispielsweise haben Lee et al. einen Fall beschrieben, bei dem es durch eine bikortikale Schraubenplatzierung zu einer epiduralen Blutung durch die Verletzung des VS kam, die zu einem Bewusstseinsverlust, zur Aussetzung der Atmung und zwei Tage postoperativ zum Versterben des Patienten führte. (21) Ein weiterer Fallbericht beschreibt eine massive venöse intrakranielle Blutung durch die Verletzung des VS durch bikortikales Bohren mit einer teilweisen Okklusion des linken transversalen Sinus (TS). (3) In unserer Auswertung der Präsenz des VS zeigte sich auf Höhe des EOP und SNL eine hohe Wahrscheinlichkeit,

den VS zu verletzen. Izeki et al. konnten zeigen, dass bei fast der Hälfte ihrer Patienten der rechte VS ausgeprägter als der linke war (14/30, 46,7 %). (3) Gleiches konnten wir in unserem Patientengut feststellen. Dies lässt sich auf die embryonale Entwicklung des Gehirns und die hämodynamischen Veränderungen während der Geburt zurückführen. (3) Um eine VS Verletzung durch die okzipitale Schraubenpositionierung zu vermeiden, haben vorherige Studien eine Schraubenlage oberhalb der SNL nicht empfohlen. (5,17,20,24,27) Genau aber diese Position zeigte sich in unserer Analyse und in vorherigen anatomischen Studien als Bereich mit der höchsten okzipitalen Knochendicke. Es gilt also als höchste Herausforderung, einen ausreichenden Knochenhalt zu erzielen und gleichzeitig das Risiko eine VS Verletzung zu minimieren. Entlang der Medianen unterhalb des EOP und der SNL zeigt sich die Knochendicke des Okziputs noch ausreichend mit gleichzeitig geringerem Risiko der VS Verletzung während der Schraubeninsertion. Jedoch kann der okzipitale Sinus (OS) entlang der Medianen ein Risiko für eine Gefäßverletzung darstellen und bei starker Ausprägung zu einer gefährlichen Komplikation führen. Dieser OS ist jedoch bei vielen Patienten rudimentär ausgeprägt. Izeki et al. beschrieben eine Präsenz des OS in nur 6,7 % ihrer Patienten, wenn sich der TS hypoplastisch zeigte. (3)

Entsprechend der von uns angefertigten graphischen Darstellungen der okzipitalen Knochendicke und Präsenz des VS, analysierten wir zusätzlich noch vier okzipitale Plattensysteme und ihre Schraubenlochpositionen hinsichtlich des Risikos einer Verletzung des VS und der Knochendicke für eine ausreichende knöcherne Stabilität. Auf dem Markt sind viele verschiedene Plattensysteme mit unterschiedlichen Konfigurationen verfügbar. Die am häufigsten verwendeten Konfigurationen sind die „Y“- und „T“-Form. (5,31) Wir wählten vier möglichst unterschiedliche Formen. Wie bereits erwähnt, zeigten bisherige biomechanische Studien eine minimale Knochendicke von 8 mm als notwendig für eine hohe Ausrissfestigkeit und stabile interne Fixation. In unserer Studie zeigte nur eine Platte (Platte A) für alle Schraubenlochpositionen eine Knochendicke von mindestens 8 mm. Jedoch ist auch zu bemerken, dass dies nicht als einziges Kriterium zur Bewertung angesehen werden sollte, da sich die

Platten auch in der Anzahl und Position ihrer Schraubenlöcher unterscheiden und vermutlich dementsprechend ein Schraubenloch mit einer geringeren Knochendicke kompensiert werden kann und sich eine stabile Fixation erreichen lässt. Zudem gibt es keine Daten in der bisherigen Literatur, welche die Stabilität im Zusammenhang mit der Schraubenlochposition beschreibt (beispielsweise „T“-förmig versus linear).

Unsere Analyse zeigte, dass nur ein minimales Abweichen von der Mittellinie unterhalb der SNL zu einer erheblichen Verschmälerung des okzipitalen Knochens führen kann. Betrachtet man die „T“-förmige Okzipitalplatte, welche laut Literaturangaben mit am häufigsten verwendet wird, minimiert sich mit einer Verschiebung um nur 5 mm nach lateral die Knochendicke für die äußeren Schraubenlöcher von 8,9 mm auf 5,6 mm und von 9,8 mm auf 6,5 mm. Es zeigt sich, dass der Bereich einer ausreichenden Knochendicke sehr klein ist und eine hohe Präzision des Operateurs benötigt. Diese Studie soll unter anderem dazu dienen, ein Bewusstsein hierfür zu schaffen und dem Operateur die Möglichkeit einer Anpassung seiner Versorgung an die anatomischen Gegebenheiten zu ermöglichen. Darüber hinaus kann diese Studie die Grundlage für die Weiterentwicklung okzipitaler Platten durch die ImplantatHersteller legen.

Zusätzlich zu der Knochendicke in Zusammenhang mit der Schraubenlochposition werteten wir auch die Wahrscheinlichkeit aus, bei bikortikaler Schraubensetzung den VS zu verletzen. In dem von uns analysierten Bereich gab es nur wenige Datenpunkte, an denen die Präsenz des VS mit 0 % angegeben werden konnte. Diese Bereiche eignen sich aufgrund der geringen Knochendicke jedoch nicht für eine Positionierung von okzipitalen Schrauben. Die höchste Präsenz des VS (25-30 %) befand sich im Bereich des EOP. Dieser Bereich befand sich in unserer Studie, aber auch in anderen anatomischen Analysen, am nächsten der Bifurkation des VS in den rechten und linken venösen Schenkel. (3,20) Unserer Analyse entsprechend zeigte sich, dass bei den Schraubenlochpositionen von allen eingeschlossenen Okzipitalplatten ein gewisses Risiko einer VS Gefäßverletzung gegeben ist. Dementsprechend stimmen wir mit der in der Literatur beschriebenen Empfehlung überein, ein präoperative CTA anfertigen zu lassen und die okzipitale Knochendicke sowie abnorme Verläufe des VS zu identifizieren,

um mögliche Komplikationen zu minimieren. (3,24) Zudem sollte die Knochenqualität präoperativ bewertet werden und das Risiko einer VS Verletzung bei bikortikaler Schraubensetzung versus einer verminderter Ausrissfestigkeit bei monokortikaler Schraubeninsertion abgewogen werden.

Da es sich um eine retrospektive Datenanalyse handelt, bestehen einige Limitationen in dieser Arbeit. Zum einen waren fast ausschließlich alle unserer eingeschlossenen Patienten kaukasischen Ursprungs. Daher lassen sich unsere Ergebnisse möglicherweise nicht generalisieren. Dennoch ist unsere Studie die erste, welche die okzipitale Knochendicke außerhalb einer Kadaverstudie auswertete und auch bereits vorhandenen Studien zur anatomischen Beschreibung des VS wie von Izeke et al. beinhalteten hauptsächlich Patienten einer Herkunft (wie asiatisch). (3) Eine weitere Limitation stellt das retrospektive Studiendesign dar im Hinblick auf die Durchführung unserer CTA. Wie beschrieben verwendeten wir eine single-shot Kontrastmittel (KM) Technik. Aufgrund eines unterschiedlichen idealen Peaks des KM im venösen Sinus und den intrakraniellen Arterien könnte die Bildqualität zur Beurteilung der Anatomie des VS suboptimal gewesen sein.

5. Schlussfolgerung

Die Verankerungspunkte für eine ausreichende knöchernen Stabilität (>8 mm), dargestellt auf unserer topographischen Karte der okzipitalen Knochendicke, waren limitierter als initial erwartet. Eine Dicke von mindestens 8 mm konnten wir bis 2 cm lateral des EOP auf Höhe der SNL und bis 2,5 cm unterhalb des EOP zeigen. Nur eine der vier analysierten okzipitalen Plattensysteme zeigte für alle Schraubenlochpositionen eine minimale Knochendicke von 8 mm. Für jedes von uns ausgewertete Schraubenloch zeigte sich eine Präsenz des VS von 8-33 %. Unsere Auswertung der okzipitalen Knochendicke und das im Zusammenhang stehende Vorhandensein des VS an den ausgewerteten Datenpunkte kann Operateuren helfen, mögliche Komplikationen wie die Verletzung des VS oder das Implantatversagen durch Schraubenauslockerung zu minimieren. Außerhalb des Bereiches der Knochendicke von 8 mm sollte der Operateur seine klinische Erfahrung bezüglich einer effektiven Schraubenplatzierung für genügend knöchernen Stabilität und dem Risiko einer VS Verletzung nutzen.

6. Literaturverzeichnis

1. White AA, Panjabi MM. The clinical biomechanics of the occipitoatlantoaxial complex. *Orthop Clin North Am.* 1978.
2. Benke M, Yu W, Peden S, O'Brien J. Occipitocervical Junction: Imaging, Pathology, Instrumentation. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2011;40:E205-15.
3. Izeki M, Neo M, Fujibayashi S, Takemoto M, Otsuki B, Watanabe M, Koizume K, Matsuda A, Nagai K, Matsuda S. Utility of the analysis of intracranial venous sinuses using preoperative computed tomography venography for safe occipital screw insertion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013.
4. Winegar CD, Lawrence JP, Friel BC, Fernandez C, Hong J, Maltenfort M, Anderson P, Vaccaro A. A systematic review of occipital cervical fusion: Techniques and outcomes: A review. *Journal of Neurosurgery: Spine.* 2010.
5. Joaquim AF, Osorio JA, Riew KD. Occipitocervical Fixation: General Considerations and Surgical Technique. *Global Spine Journal.* 2020.
6. Elia M, Mazzara JT, Fielding JW. Onlay technique for occipitocervical fusion. *Clin Orthop Relat Res.* 1992.
7. Wertheim SB, Bohlman HH. Occipitocervical fusion. Indications, technique, and long-term results in thirteen patients. *J Bone Jt Surg - Ser A.* 1987.
8. Die Leitungsbahnen des Schmerzgeföhls und die chirurgische Behandlung der Schmerzzustände. By Professor Dr. O. Foerster, Breslau. Royal 8vo. Pp. 360, with 104 illustrations. 1927. Berlin and Vienna: Urban and Schwarzenberg. Sewed, M. 19.50; bound, M. 21. *Br J Surg [Internet].* 1928 Jul 1;16(61):170–2. Available from: <https://doi.org/10.1002/bjs.1800166122>.
9. Vale FL, Oliver M, Cahill DW. Rigid occipitocervical fusion. *J Neurosurg.* 1999.
10. Abumi K, Takada T, Shono Y, Kaneda K, Fujiya M. Posterior occipitocervical reconstruction using cervical pedicle screws and plate-rod systems. *Spine (Phila Pa 1976).* 1999.
11. Thompson RC, Meyer TJ. Posterior surgical stabilization for atlantoaxial subluxation in rheumatoid arthritis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1985.
12. Hsu YH, Liang ML, Yen YS, Cheng H, Huang CI, Huang WC. Use of screw-rod system in occipitocervical fixation. *J Chinese Med Assoc.* 2009.
13. Matsunaga S, Ijiri K, Koga H. Results of a longer than 10-year follow-up of patients with Rheumatoid arthritis treated by occipitocervical fusion. *Spine*

- (Phila Pa 1976). 2000.
14. Sasso RC, Jeanneret B, Fischer K, Magerl F. Occipitocervical fusion with posterior plate and screw instrumentation: A long-term follow-up study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994.
 15. Deutsch H, Haid RW, Rodts GE, Mummaneni P V. Occipitocervical fixation: Long-term results. *Spine*. 2005.
 16. Nockels RP, Shaffrey CI, Kanter AS, Azeem S, York JE. Occipitocervical fusion with rigid internal fixation: Long-term follow-up data in 69 patients. *J Neurosurg Spine*. 2007.
 17. Heywood AWB, Learmonth ID, Thomas M. Internal fixation for occipitocervical fusion. *J Bone Jt Surg - Ser B*. 1988.
 18. Lehman RA, Riew DK, Schnake K. Occipitocervical fusion (screw fixation) [Internet]. [cited 2020 Aug 27]. Available from: <https://surgeryreference.aofoundation.org/spine/trauma/occipitocervical/atlant-o-occipital-dissociation/occipitocervical-fusion-screw-fixation#plate-application>.
 19. Anderson PA, Oza AL, Puschak TJ, Sasso R. Biomechanics of Occipitocervical Fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* [Internet]. 2006;31(7). Available from: https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2006/04010/Biomechanics_of_Occipitocervical_Fixation.7.aspx.
 20. Zipnick RI, Merola AA, Gorup J, Kunkle K, Shin T, Caruso SA, Hafer T. Occipital morphology: An anatomic guide to internal fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996.
 21. Lee SC, Chen JF, Lee ST. Complications of fixation to the occiput - Anatomical and design implications. *Br J Neurosurg*. 2004.
 22. Reisener M-J, Arzani A, Okano I, Salzmann SN, Rentenberger C, Carrino JA, Shue J, Pumberger M, Sama AA, Cammisa FP, Girardi FP, Hughes AP. Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography. *Spine (Phila Pa 1976)* [Internet]. 2021; Available from: https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/9000/Mapping_of_Venous_Sinus_Anatomy_and_Occipital_Bone.93630.aspx.
 23. AO Foundation. Occipitocervical fusion [Internet]. Available from:

<https://surgeryreference.aofoundation.org/spine/trauma/occipitocervical/atlas-type-iv/occipitocervical-fusion#introduction>.

24. Morita T, Takebayashi T, Takashima H, Yoshimoto M, Ida K, Tanimoto K, Ohnishi H, Fujiwara H, Nagae M, Yamashita T. Mapping occipital bone thickness using computed tomography for safe screw placement. *J Neurosurg Spine*. 2015.
25. Hertel G, Hirschfelder H. In vivo and in vitro CT analysis of the occiput. *Eur Spine J*. 1999.
26. Naderi S, Usal C, Tural AN, Korman E, Mertol T, Arda MN. Morphologic and radiologic anatomy of the occipital bone. *J Spinal Disord*. 2001.
27. Ebraheim NA, Lu J, Biyani A, Brown JA, Yeasting RA. An anatomic study of the thickness of the occipital bone: Implications for occipitocervical instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996.
28. Okamoto T, Neo M, Fujibayashi S, Ito H, Takemoto M, Nakamura T. Mechanical implant failure in posterior cervical spine fusion. *Eur Spine J*. 2012;
29. Haheer TR, Yeung AW, Caruso SA, Merola AA, Shin T, Zipnick RI, Gorup J, Bono C. Occipital screw pullout strength: A biomechanical investigation of occipital morphology. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999.
30. Wittenberg RH, Shea M, Swartz DE, Lee KS, White AA, Hayes WC. Importance of bone mineral density in instrumented spine fusions. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991.
31. Hwang SW, Gressot L V., Chern JJ, Relyea K, Jea A. Complications of occipital screw placement for occipitocervical fusion in children: Clinical article. *J Neurosurg Pediatr*. 2012.

7. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Marie-Jacqueline Reisener, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Anatomische Beschreibung der okzipitalen Knochendicke und der venösen Sinusanatomie bei 100 Patienten mit 46.200 standardisierten Messungen in einer CTA für eine sichere Schraubenplatzierung bei occipitozervikaler Fusion“ bzw. „Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46.200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

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

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

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

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

Berlin, den 09.11.2021

Unterschrift

8. Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46.200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. doi: 10.1097/BRS.0000000000004182. Online ahead of print.

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Marie-Jacqueline Reisener hatte folgenden Anteil an der genannten Publikation:

Die Publikation auf Grundlage der Promotionsordnung vom 01. November 2017 der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin ist nicht Bestandteil einer weiteren Dissertation.

Die Idee des Projekts und die Planung der durchgeführten Studie stammt von mir, Frau Marie-Jacqueline Reisener, sowie dem Kollegen Dr. Alexander P. Hughes, Dr. Stephan N. Salzmann und Dr. Ichiro Okano.

Die Erhebung der retrospektiven PatientInnen Daten sowie radiologische Vermessung und Datenauswertung erfolgte durch mich, Frau Marie-Jacqueline Reisener, sowie anteilig von dem Studenten Artine Arzani unter meiner Anleitung. Hierbei sind Tabelle 1 – 4 sowie Abbildung 1-7 und 10 durch mich entstanden. Abbildung 8 und 9 sowie 11 sind anteilig durch mich in Kooperation der unten stehenden KollegeInnen entstanden.

Die Ergebnisse wurden durch Marie-Jacqueline Reisener statistisch analysiert und graphisch dargestellt mit anteiliger Hilfe von Dr. Ichiro Okano und Frau Dr. med. Colleen Rentenberger. Die erhobenen Daten stellen die weitere Grundlage für die selbstständige Literatursuche und Einordnung der Ergebnisse in den aktuellen Forschungsstand sowie die Erstellung von Einleitung, Ergebnisteil (inklusive der Tabellen und Original Publikation) und Diskussion des Manuskripts durch Marie-Jacqueline Reisener.

Es erfolgte die Fertigstellung des Projekts als Publikation im „SPINE Journal“ im Rahmen der Diskussion und Überarbeitung des Manuskripts mit den Co-Autoren unter der Leitung von PD Dr. med. Matthias Pumberger und Dr. Alexander P. Hughes.

PD Dr. med. M. Pumberger
Berlin, den 09.11.2021

Marie-Jacqueline Reisener
Berlin, den 09.11.2021

9. Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2020** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: **"ORTHOPEDICS"** Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 82 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	Journal of Physiotherapy	2,186	7.000	0.003190
2	OSTEOARTHRITIS AND CARTILAGE	21,754	6.576	0.019930
3	AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE	42,234	6.202	0.038320
4	Bone & Joint Research	2,142	5.853	0.004190
5	JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY-AMERICAN VOLUME	53,702	5.284	0.033030
6	Journal of Orthopaedic Translation	1,309	5.191	0.002000
7	Bone & Joint Journal	9,587	5.082	0.020810
8	ARTHROSCOPY-THE JOURNAL OF ARTHROSCOPIC AND RELATED SURGERY	20,208	4.772	0.020680
9	JOURNAL OF ARTHROPLASTY	27,716	4.757	0.037790
10	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY	9,650	4.751	0.007160
11	Cartilage	1,563	4.634	0.002070
12	EFORT Open Reviews	1,359	4.618	0.003780
13	KNEE SURGERY SPORTS TRAUMATOLOGY ARTHROSCOPY	21,052	4.342	0.025830
14	CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH	44,823	4.176	0.023370
15	Spine Journal	12,504	4.166	0.016130
16	EUROPEAN CELLS & MATERIALS	3,742	3.942	0.002250
17	Acta Orthopaedica	10,779	3.717	0.007730
18	CLINICAL JOURNAL OF SPORT MEDICINE	5,012	3.638	0.004460

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
19	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH	18,355	3.494	0.012800
20	SPINE	53,384	3.468	0.024770
21	CONNECTIVE TISSUE RESEARCH	3,024	3.417	0.002290
22	Brazilian Journal of Physical Therapy	2,292	3.377	0.002510
23	EUROPEAN SPINE JOURNAL	20,361	3.134	0.018870
24	INTERNATIONAL ORTHOPAEDICS	12,461	3.075	0.013480
25	ARCHIVES OF ORTHOPAEDIC AND TRAUMA SURGERY	8,816	3.067	0.008580
26	Physical Therapy & Rehabilitation Journal	15,751	3.021	0.007360
27	JOURNAL OF THE AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS	8,269	3.020	0.009880
28	JOURNAL OF SHOULDER AND ELBOW SURGERY	16,721	3.019	0.016110
29	Global Spine Journal	2,389	2.915	0.005530
30	Journal of Orthopaedics and Traumatology	1,255	2.907	0.001890
31	GAIT & POSTURE	18,460	2.840	0.015100
32	FOOT & ANKLE INTERNATIONAL	11,225	2.827	0.008270
33	Journal of Knee Surgery	2,848	2.757	0.004650
34	Orthopaedic Journal of Sports Medicine	4,653	2.727	0.012770
35	Foot and Ankle Surgery	1,909	2.705	0.003170
36	Journal of Hand Surgery-European Volume	6,037	2.688	0.004290
37	Archives of Osteoporosis	2,272	2.617	0.003880
38	INJURY-INTERNATIONAL JOURNAL OF THE CARE OF THE INJURED	19,692	2.586	0.020790

Selected JCR Year: 2020; Selected Categories: "ORTHOPEDECS"

2

10. Druckexemplar der ausgewählten Publikation

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

Mapping of Venous Sinus Anatomy and Occipital Bone Thickness for Safe Screw Placement in 100 patients with 46,200 Standardized Measurements Using Computed Tomography Angiography

Spine (Phila Pa 1976) 2021 Jul 23. Online ahead of print.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004182>

Marie-Jacqueline Reisener, MD; Artine Arzani, BS; Ichiro Okano, MD; Stephan N. Salzmann, MD; Colleen Rentenberger MD; John A. Carrino MD, MPH; Jennifer Shue, MS; Matthias Pumberger, MD; Andrew A. Sama MD; Frank P. Cammisa MD; Federico P Girardi MD; Alexander P. Hughes MD

11. Curriculum vitae

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

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

12. Publikationsliste

1. Abouljoud MM, Alvand A, Boscainos P, Chen AF, Garcia GA, Gehrke T, **Reisener MJ**, et al. Hip and Knee Section, Prevention, Operating Room Environment: Proceedings of International Consensus on Orthopedic Infections. Vol. 34, Journal of Arthroplasty. 2019. p. S293–300.
2. Carlson BB, Salzmann SN, Shirahata T, Miller CO, Carrino JA, Yang J, **Reisener MJ**, et al. Prevalence of osteoporosis and osteopenia diagnosed using quantitative CT in 296 consecutive lumbar fusion patients. Neurosurg Focus. 2020;49(2):1–7.
3. Chiapparelli E, Bowen E, Okano I, Salzmann SN, **Reisener MJ**, Shue J, et al. Spinal Cord Medial Safe Zone for C2 Pedicle Instrumentation. Spine (Phila Pa 1976). 2021;Publish Ah.
4. Chiapparelli E, Okano I, Salzmann SN, **Reisener MJ**, Virk S, Winter F, et al. C2 Pedicle Sclerosis Grading, More Than Diameter, Predicts Surgeons' Preoperative Assessment of Safe Screw Placement: A Novel Classification System. World Neurosurg. 2021 May 1;149:e576–81.
5. Jones C, Okano I, Salzmann SN, **Reisener MJ**, Chiapparelli E, Shue J, et al. Endplate volumetric bone mineral density is a predictor for cage subsidence following lateral lumbar interbody fusion: a risk factor analysis. Spine J. 2021 Mar 11;
6. Okano I, Jones C, Rentenberger C, Sax OC, Salzmann SN, **Reisener MJ**, et al. The Association Between Endplate Changes and Risk for Early Severe Cage Subsidence Among Standalone Lateral Lumbar Interbody Fusion Patients. Spine (Phila Pa 1976). 2020;45(23):E1580–7.
7. Okano I, Jones C, Rentenberger C, Sax OC, Salzmann SN, **Reisener MJ**, et al. The Association Between Endplate Changes and Risk for Early Severe Cage Subsidence Among Standalone Lateral Lumbar Interbody Fusion Patients. Spine (Phila Pa 1976). 2020;45(23):E1580–7.
8. Okano I, Jones C, Salzmann SN, **Reisener MJ**, Sax OC, Rentenberger C, et al. Endplate volumetric bone mineral density measured by quantitative computed tomography as a

- novel predictive measure of severe cage subsidence after standalone lateral lumbar fusion. *Eur Spine J.* 2020;29(5):1131–40.
9. Okano I, Salzmänn SN, Jones C, **Reisener MJ**, Ortiz Miller C, Shirahata T, et al. The effect of obesity, diabetes, and epidural steroid injection on regional volumetric bone mineral density measured by quantitative computed tomography in the lumbosacral spine. *Eur Spine J* [Internet]. 2021;30(1):13–21. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06610-5>
 10. Okano I, Salzmänn SN, Jones C, **Reisener MJ**, Ortiz Miller C, Shirahata T, et al. The effect of obesity, diabetes, and epidural steroid injection on regional volumetric bone mineral density measured by quantitative computed tomography in the lumbosacral spine. *Eur Spine J.* 2021;30(1):13–21.
 11. **Reisener MJ**, Hughes AP, Okano I, Zhu J, Lu S, Salzmänn SN, et al. The association of transversus abdominis plane block with length of stay, pain and opioid consumption after anterior or lateral lumbar fusion: a retrospective study. *Eur Spine J* [Internet]. 2021;(0123456789). Available from: <https://doi.org/10.1007/s00586-021-06855-8>
 12. **Reisener MJ**, Hughes AP, Schädler P, Forman A, Sax OC, Shue J, et al. Expectations of Lumbar Surgery Outcomes among Opioid Users Compared with Non-Users. *Asian Spine J.* 2020;14(5):663–72.
 13. **Reisener MJ**, Pumberger M, Shue J, Girardi FP, Hughes AP. Trends in lumbar spinal fusion—a literature review. *J Spine Surg.* 2020;6(4):752–76.
 14. **Reisener MJ**, Shue J, Hughes AP, Sama AA, Emerson RG, Guheen C, et al. Hemodynamically significant cardiac arrhythmias during general anesthesia for spine surgery: A case series and literature review. *North Am Spine Soc J.* 2020;2:100010.
 15. **Reisener M**, Perka C. Do Culture-Negative Periprosthetic Joint Infections Have a Worse Outcome Than Culture-Positive Periprosthetic Joint Infections? A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 2018, BioMed Research International. 2018.
 16. Rentenberger C, Okano I, Salzmänn SN, Shirahata T, **Reisener MJ**, Shue J, et al. Determinants of Postoperative Spinal Height Change among Adult Spinal Deformity

- Patients with Long Construct Circumferential Fusion. *Asian Spine J.* 2021;15(2):155–63.
17. Rentenberger C, Okano I, Salzmann SN, Shirahata T, **Reisener MJ**, Shue J, et al. Determinants of Postoperative Spinal Height Change among Adult Spinal Deformity Patients with Long Construct Circumferential Fusion. *Asian Spine J.* 2021;15(2):155–63.
 18. Rentenberger C, Okano I, Salzmann SN, Shirahata T, **Reisener MJ**, Shue J, et al. Determinants of Postoperative Spinal Height Change among Adult Spinal Deformity Patients with Long Construct Circumferential Fusion. *Asian Spine J.* 2021;15(2):155–63.
 19. Salzmann SN, Okano I, Jones C, Basile E, Iuso A, Zhu J, **Reisener MJ**, et al. Thoracic bone mineral density measured by quantitative computed tomography in patients undergoing spine surgery. *Spine J.* 2021 May 19;
 20. Salzmann SN, Okano I, Miller CO, Chiapparelli E, **Reisener MJ**, Amini DA, et al. The Cervical Spine Demonstrates less Postoperative Bone Loss than the Lumbar Spine. *J Orthop Res.* 2021;(April).
 21. Salzmann SN, Okano I, Ortiz Miller C, Chiapparelli E, **Reisener MJ**, Winter F, et al. Regional bone mineral density differences measured by quantitative computed tomography in patients undergoing anterior cervical spine surgery. *Spine J.* 2020;20(7):1056–64.
 22. Shen P, Fuchs M, **Reisener MJ**, Grinner C, Wu P, Jung T, et al. Toll-like receptor signaling in chondrocyte promotes the development of osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil.* 2019;27:S378–9.
 23. Shen P, Nguyen M, Fuchs M, **Reisener MJ**, Maleitzke T, Gwinner C, et al. TLR1/2 signaling impairs mitochondrial oxidative phosphorylation in human chondrocytes via the induction of nitric oxide. *Osteoarthr Cartil.* 2020;28:S119.
 24. Soffin EM, **Reisener MJ**, Sama AA, Beckman JD, Liguori GA, Lebl DR, et al. Essential Spine Surgery During the COVID-19 Pandemic: A Comprehensive Framework for

Clinical Practice from a Specialty Orthopedic Hospital in New York City. *HSS J.* 2020;16:29–35.

25. Soffin EM, **Reisener MJ**, Padgett DE, Kelly BT, Sama AA, Zhu J, et al. Coronavirus Disease 2019 Exposure in Surgeons and Anesthesiologists at a New York City Specialty Hospital. *J Occup Environ Med.* 2021;63(6):521–7.
26. Vu-Han T-L, **Reisener MJ**, Putzier · M, Pumberger · M. Leitthema Skoliose bei spinaler Muskelatrophie. *Orthopade* 2021. <https://doi.org/10.1007/s00132-021-04131-7>.

13. Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich auf meinem Weg zur Erlangung meiner Promotion an der Medizinischen Fakultät – Charité – Universitätsmedizin Berlin begleitet sowie Anteil an der Vollendung dieser Publikation und Dissertation haben.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Carsten Perka, der mich als Klinikdirektor auf meinem bisherigen beruflichen Weg maßgeblich unterstützt und gefördert hat.

Ich möchte mich auch bei PD Dr. med. Matthias Pumberger bedanken. Als Doktorvater und Mentor war er stets bereit, mich mit seinem klinischen und wissenschaftlichen Können zu unterstützen und das Streben nach Mehr zu fördern. PD Dr. med. Matthias Pumberger hat mich wesentlich unterstützt, meinen Traum eines Research Fellowships in Amerika zu realisieren – ohne ihn wäre dieses Projekt so nicht zustande gekommen.

Weiter möchte ich mich bei Dr. Alexander P. Hughes und seinem ganzen Team am HSS bedanken – wir hatten eine sehr intensive, lehrreiche und unterhaltsame gemeinsame Zeit, an die ich mich mein Leben lang mit Freude zurück erinnern werde. Sie hat mich sowohl beruflich als auch persönlich sehr geprägt.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken. Meine Eltern haben mich zu jedem Zeitpunkt in meinem Leben unterstützt. Jeder Erfolg wurde mit mir gefeiert, bei jedem Misserfolg waren sie stets ohne Bewertung an meiner Seite und haben mir die nötige Unterstützung geboten, um weiterzumachen. Ohne sie wäre ich heute nicht die, die ich bin. Die Unterstützung meiner ganzen Familie und meiner Freunde war und ist das Fundament, auf das ich mich zu jeder Zeit verlassen kann und die Basis meines Werdegangs und meiner Erfolge.