

DISSERTATION

Retrospektive Studie zur Aussagekraft präoperativer Bildgebung  
bei Hüftdysplasie sowie prädiktiven Faktoren für Komplikationen  
nach Versorgung mittels PAO

Retrospective study to investigate the informative value of the  
preoperative imaging in hip dysplasia and predictive factors for  
complications after the PAO

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Carsten Yves Werner Heimer

Erstbetreuer: Univ.-Prof. Dr. Carsten Perka

Datum der Promotion: 28.02.2025





---

2.1.5	Messmethoden in der Computertomographie .....	21
2.2	Datenverarbeitung .....	23
2.2.1	Statistisches Programm.....	23
2.2.2	Statistische Verarbeitung.....	23
2.2.3	Statistische Gültigkeitskriterien.....	24
2.3	Interpretation der Statistik.....	24
3	Ergebnisse .....	25
3.1	Ergebnisse der statistischen Analysen zu den Bildgebungen bei Hüftdysplasie .....	25
3.2	Ergebnisse der statistischen Analysen zu den Komplikationen.....	32
4	Diskussion .....	39
4.1	Interpretation und Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand .....	39
4.2	Klinische Relevanz und Implikationen für zukünftige Forschung.....	43
4.3	Limitationen .....	44
5	Schlussfolgerungen .....	45
	Literaturverzeichnis .....	46
	Eidesstattliche Versicherung .....	51
	Anteilerklärung an der erfolgten Publikation .....	52
	Auszug aus der Journal Summary List.....	53
	Druckexemplar der Publikation.....	55
	Lebenslauf.....	69
	Komplette Publikationsliste.....	70
	Danksagung .....	71

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messwerte und deren Grenzwerte zur Diagnose einer Hüftdysplasie .....	14
Tabelle 2: Komplikationen der PAO und deren Raten .....	16
Tabelle 3: Deskriptive Statistik der demographischen Daten. Angegeben als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung .....	27
Tabelle 4: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter. Angegeben als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung (Minimum - Maximum). Die p-Werte beziehen sich auf einen zweiseitigen t-Test zwischen den Gruppen der Dysplasie und Borderline-Dysplasie. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt .....	27
Tabelle 5: Deskriptive Statistik der CT-Werte. Angegeben als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung (Minimum - Maximum). Die p-Werte beziehen sich auf einen zweiseitigen t-Test. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt. * positive Werte sprechen für Außen-, negative Werte für Innenrotation, ** positive Werte sprechen für Ante-, negative Werte für Retroversion .....	28
Tabelle 6: Korrelationen der CT-Werte und des CE-Winkels zu den röntgenologischen Werten in der Kohorte aller Hüften. Angegeben als Regressionskoeffizient, p-Wert und Konfidenzintervall. Signifikante Ergebnisse ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt .....	29
Tabelle 7: Korrelationen der CT-Werte und des CE-Winkels zu den röntgenologischen Werten in der Dysplasie-Kohorte. Angegeben als Regressionskoeffizient, p-Wert und Konfidenzintervall. Signifikante Ergebnisse ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt .....	30
Tabelle 8: Korrelationen der CT-Werte und des CE-Winkels zu den röntgenologischen Werten in der Borderline-Dysplasie-Kohorte. Angegeben als Regressionskoeffizient, p-Wert und Konfidenzintervall. Signifikante Ergebnisse ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt.....	31
Tabelle 9: Deskriptive Statistik des Datensatzes zur Analyse von Komplikationsraten bestehend aus demographischen Daten, den präoperativen Röntgenwerte, der Korrekturausmaße der Röntgenwerte, der postoperativen Röntgenwerte, der Operations- sowie Anästhesiedauer. Angegeben als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung .....	34
Tabelle 10: Ergebnisse der zweiseitigen t-Tests der demographischen Daten, der präoperativen Röntgenwerte und der Operations- sowie Anästhesiedauer in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt .....	35

---

Tabelle 11: Ergebnisse der zweiseitigen t-Tests der Korrekturausmaße der Röntgenwerte und der postoperativen Röntgenwerte in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt .....	36
Tabelle 12: Ergebnisse der Korrelationsanalyse der demographischen Daten, der präoperativen Röntgenwerte, der Korrekturausmaße der Röntgenwerte, der postoperativen Röntgenwerte und der Operations-, sowie Anästhesiedauer in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Korrelationskoeffizient (p-Wert). Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt .....	37
Tabelle 13: Ergebnisse der binär logistischen Regression der demographischen Daten, der präoperativen Röntgenwerte, der Korrekturausmaße der Röntgenwerte, der postoperativen Röntgenwerte und der Operations-, sowie Anästhesiedauer in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Regressionskoeffizient mit zugehörigem p-Wert und p-Wert des Omnibus-Test .....	38

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Flussdiagramm der Datenextraktion .....	19
Abbildung 2: Darstellung der Messwerte im Röntgen (Beckenübersicht-Aufnahme und axiales Röntgenbild der Hüfte) und Beispiele der Messungen aus der CT .....	22

## Abkürzungsverzeichnis

AHI	Acetabular Hip Index (Femurkopf-Extrusions-Index, auch Femur Head Extrusion Index [FHEI])
AIA	Acetabular Index Angle (Tragflächenwinkel, auch Tönnis Angle [TA])
BMI	Body Mass Index
CCD-Winkel	Corpus-Collum-Diaphysen-Winkel
CE-Winkel	Center-Edge-Winkel (Zentrum-Erker-Winkel, auch Lateral Center Edge Angle [LCEA])
CI	Confidence Interval (Konfidenzintervall)
CT	Computertomographie
Exp	Exponent
FAI	Femoroazetabuläres Impingement
HLI	Hip Lateralisation Index (Hüftkopf-Lateralisierungs-Index [eigene Übersetzung], auch Head Lateralisation Index)
NCFL	Nervus Cutaneus Femoris Lateralis
PAO	Periacetabular Osteotomy (Periazetabuläre [Umstellungs-] Osteotomie)
r	Regressionskoeffizient (Coefficient of Regression)
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
VPN	Virtual Private Network (Virtuelles Privates Netzwerk)

## Zusammenfassung

Die Hüftdysplasie zählt zu den präarthrotischen Fehlstellungen des Hüftgelenkes, welche auf planaren Röntgenbildern diagnostiziert wird. In der vorliegenden Arbeit wurde das Verhältnis zwischen den azetabulären, femoralen und tibialen Rotationen zum planaren Röntgenbild des Beckens in dysplastischen und borderline-dysplastischen Hüften analysiert. Außerdem galt es zu untersuchen, ob es prädiktive, insbesondere radiologische Faktoren gibt, die mit einem gehäuften Auftreten von Komplikation nach der Versorgung mittels der periazetabulären Umstellungsosteotomie (PAO) auftreten.

Die Durchführung der Studie erfolgte retrospektiv mit an Hüftdysplasie erkrankten PatientInnen, welche eine Rotations-Computertomographie (CT) und konventionelle Röntgenbilder erhielten. Die Messungen der Röntgenbilder und der Computertomographie-Bilder erfolgten jeweils von einem Untersucher. Zur statistischen Auswertung wurde neben der deskriptiven Statistik das gemischte Modell zur Untersuchung des Verhältnisses von CT zu Röntgen und die binär logistische Regression in der Analyse für das Auftreten von Komplikationen angewendet.

Insgesamt wurden 56 Hüften, 43 mit Dysplasie und 13 mit Borderline-Dysplasie, von 34 Personen, davon 30 weiblich, eingeschlossen. Das Durchschnittsalter lag bei  $28,9 \pm 7,8$  Jahren.

Der Sharp-Winkel, der Tragflächenwinkel (AIA) sowie der Femurkopf-Extrusions-Index (AHI) korrelierten signifikant zum Zentrum-Erker-Winkel (CE-Winkel). In der Gesamtgruppe wiesen der Tragflächenwinkel (Regressionskoeffizienten (r) von 0,544,  $p=0,018$ ), der Hüftkopf-Lateralisierungs-Index (r von -32,350,  $p=0,011$ ) und der Alpha-Winkel (r von -0,298,  $p=0,017$ ) eine Korrelation zur azetabulären Version auf. Anhand dieser Ergebnisse konnte eine Formel entwickelt werden, mit welcher sich die azetabuläre Version anhand von Röntgenwerten in dysplastischen Hüften abschätzen lässt: Azetabuläre Version ( $\pm 4^\circ$ ) =  $34,72 + 0,479 * \text{CE-Winkel} + 0,544 * \text{AIA} + (-32,35) * \text{HLI} + (-0,298) * \text{Alpha-Winkel}$ .

Die Analyse möglicher prädiktiver Faktoren von Komplikationen umfasste 39 Hüften, davon 35 weiblich, mit einem durchschnittlichen Alter von  $29,4 \pm 7,2$  Jahren.

Hierbei schien mitunter ein verkleinerter Beta-Winkel ( $p=0,27$ ) und ein vergrößerter postoperativer CE-Winkel ( $p=0,037$ ) eine persistierende Hypästhesie des lateralen Oberschenkels zu begünstigen. Andere Komplikationen wiesen keine Signifikanzen auf.

Schlussfolgernd lässt sich die acetabuläre Version in dysplastischen Hüften anhand der entwickelten Formel mit einer Genauigkeit von 70% errechnen. Zur genauen Erfassung der Rotationsparameter, inklusive der femoralen Torsion, bleibt eine Rotations-CT notwendig. Die Komplikationen betrachtend scheint eine Überkorrektur des CE-Winkels mit einem erhöhten Risiko einer persistierenden Hypästhesie des lateralen Oberschenkels verbunden zu sein.

## Abstract

Hip dysplasia is classified as one of the pre-arthrotic malformations of the hip joint, which is diagnosed on plain radiographs. The purpose of investigation was to determine the relationship between the rotation of the lower limb and the plain radiography of the pelvis in dysplastic as well as in borderline-dysplastic hips. Additionally, predictive factors for complications following periacetabular osteotomy (PAO) were analyzed, focused on radiographic values.

The study was performed retrospectively with patients having a hip dysplasia who obtained a computed tomography (CT) and a plain radiography. The measurements of the plain radiography and the CT scan were assessed by a singular observer each. For the statistical analysis a mixed model, as well as descriptive statistic, was applied for the radiographic analysis and a binary logistic regression model was used for the analysis of the complications.

A total of 56 hips met inclusion criteria including 43 dysplastic- and 13 borderline-dysplastic hips. In the radiographical analysis predominantly women, 30 out of 34 persons, at a mean age of  $28,9 \pm 7,8$  years were included. The sharp angle, the acetabular index angle (AIA) and the acetabular hip index (AHI) showed significant correlation to the center edge angle (CE). Among all hips the AIA (coefficient of regression (r) of 0,544,  $p=0,018$ ), the hip lateralization index (HLI) (r of -32,350,  $p=0,011$ ) and the alpha angle (r of -0,298,  $p=0,017$ ) correlated to the acetabular version. Based on these results a formula was developed to estimate the acetabular version of dysplastic hips by using values of the plain radiography of the pelvis: Acetabular Version ( $\pm 4^\circ$ ) =  $34,72 + 0,479 * CE \text{ angle} + 0,544 * AIA + (-32,35) * HLI + (-0,298) * \text{Alpha angle}$ .

When looking for predictive factors for the appearance of complications a total of 39 hips met inclusion criteria including four men and 35 women at a mean age of  $29,4 (\pm 7,2)$  years. Significant correlations were found for smaller beta-angle ( $p=0,027$ ) and a greater postoperative CE-angle ( $p=0,037$ ) which results in a higher prevalence of hypesthesia of the lateral femoral cutaneous nerve at follow-up. Other complications showed no significant correlations.

In conclusion the developed formula allows to estimate the acetabular version in dysplastic hips with an accuracy of 70%. For precise values of the rotational profile, including the femoral torsion, the rotational CT remains necessary. Regarding the complication analysis an overcorrection of the CE-angle increases the risk of postoperative lesion of the lateral femoral cutaneous nerve.

# 1 Einleitung

Im Rahmen der Publikationspromotion liegt dieser Dissertationsschrift maßgeblich die Publikation „*Rotational abnormalities in dysplastic hips and how to predict acetabular torsion*“ von Heimer CYW, Gohler F, Vosseller JT, Hardt S, Perka C, Backer HC, [1] welche im Mai 2022 im Journal „*European Radiology*“ erschienen ist, zugrunde.

## 1.1 Hintergrund

### 1.1.1 Epidemiologie

Die Hüftdysplasie ist eine der häufigsten angeborenen muskuloskelettalen Erkrankungen mit einer Inzidenz in Deutschland von 2-4%, wobei das weibliche Geschlecht bis zu siebenmal häufiger betroffen ist [2]. Zusätzliche Risikofaktoren sind eine Geburt in Beckenendlage sowie eine positive Familienanamnese [3, 4].

### 1.1.2 Hüftdysplasie im Säuglingsalter

Zur Früherkennung einer Hüftdysplasie erfolgt eine Sonographie der Hüfte bei der Vorsorgeuntersuchung ‚U3‘. In der Säuglingshüftsonographie werden die Alpha- und Beta-Winkel gemessen und die Beschaffenheit des Pfannenerkers erfasst. Alle drei Faktoren haben einen Einfluss auf die Einteilung nach Graf [5]. Über die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit dieser Untersuchungen lassen sich gegensätzliche Aussagen finden. Roovers [6] kommt zu dem Ergebnis, dass die Genauigkeit der Ultraschalldiagnostik für Screenings ausreiche, während in einer neueren Studie von Bucher [7] die sonographischen Messungen des Alpha- und Beta-Winkels für zu ungenau gehalten werden, weil die Ergebnisse stark vom durchführenden Untersuchenden abhängen.

Bei einem auffälligen Befund sollte zeitnah eine konservative Therapie eingeleitet werden, um ein gutes Ergebnis zu erzielen. [2]. Dennoch kann es zu residualen Dysplasien kommen, welche im Verlauf chirurgisch zu behandeln sind [8]. Außerdem ist bei etwa der Hälfte der PatientInnen, welche im Erwachsenenalter eine PAO erhalten, die Sonographie im Säuglingsalter unauffällig [9].

Eine adäquate Behandlung setzt eine starke Compliance der Eltern bei guter klinischer Anbindung voraus [10].

### 1.1.3 Klinik der Hüftdysplasie und Operationsindikationen im Erwachsenenalter

Das Vorhandensein einer Hüftdysplasie im Jugend- und Erwachsenenalter stellt eine präarthrotische Deformität dar [11, 12]. Klinisch berichten die PatientInnen über Hüft-, respektive Leistenschmerzen [13]. Bei der klinischen Untersuchung der Bewegungsausmaße (ROM) kann, neben einem allgemein stark erhöhten Bewegungsumfang, eine vermehrte Innenrotation bei verminderter Außenrotation festgestellt werden [14]. Zudem ist häufig eine verminderte Extension zu beobachten [15].

Bei PatientInnen mit persistierenden Beschwerden nach effizienter konservativer Therapie [15, 16] besteht die Option einer Umstellungsosteotomie [2, 17, 18]. Mehrere Techniken wurden beschrieben, unter anderem die periazetabuläre Umstellungsosteotomie nach Ganz (PAO) [19] oder die Triple-Osteotomie (Dreifach-Beckenosteotomie) nach Tönnis [20].

## 1.2 Präoperative Bildgebung

### 1.2.1 Die Röntgenuntersuchung

Diagnostisch wird eine konventionell-radiologische Röntgenbildgebung durchgeführt, wobei vorzugsweise im Stehen eine Beckenübersichtsaufnahme in anterior-posteriorem Strahlengang und ein axiales Bild der Hüfte angefertigt werden [21].

Anhand der Röntgenaufnahmen können der Center-Edge-Winkel (CE-Winkel, auch Lateral Center Edge Angle oder Zentrum-Erker-Winkel), der Tragflächenwinkel (AIA, im englischen Acetabular Index Angle), der Femurkopf-Extrusions-Index (AHI, auch Acetabular Hip Index), der Sharp-Winkel, der Hüftkopf-Lateralisierungs-Index (HLI, Hip/Head Lateralisation Index), der Corpus-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD-Winkel), der Alpha- und der Beta-Winkel gemessen werden [22-24]. Diese Werte sind in Abbildung 2 dargestellt.

Besonders der CE-Winkel, der AIA und der Sharp-Winkel sind von starker Bedeutung [21, 22]. Die genauen Grenzwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Zusätzlich können im Röntgen das Cross Over Sign und das Posterior Wall Sign gemessen werden [25]. Ersteres entsteht durch eine lateralisierte Darstellung des vorderen Pfannendachrandes bei kranialer Pfannendachretroversion [21], zweiteres stellt sich bei einer Retroversion des Azetabulums durch eine Medialisierung des hinteren Pfannenrand in Bezug zum Zentrum der Femurkopfes dar [25, 26].

### 1.2.2 Die Computertomographie mit Rotationsprofil

Bei Verdacht auf eine azetabuläre Retroversion, bei positiven Cross Over Sign oder Posterior Wall Sign in der Beckenübersichtsaufnahme, kann zur genauen Bestimmung ein Rotations CT durchgeführt werden [15]. Dies erlaubt Rückschlüsse auf die azetabuläre Version [25] und somit auf das Ausmaß der Überdachung des Femurkopfes. Ebenfalls lässt sich eine mit der Hüftdysplasie assoziierte femorale Rotationsfehlstellung feststellen [27].

Eine Computertomographie-Untersuchung der unteren Extremität, und somit auch die Erfassung eines Rotationsprofils, ist im Vergleich zum Röntgen eine kosten- und strahlenintensivere Untersuchung [28] und wird trotz genauerer Messmöglichkeiten [29] nicht regulär präoperativ durchgeführt [21].

Gemessen werden die Winkel im Rotations-CT, indem auf definierten Schnitthöhen die nötigen Geraden gezogen und die Bilder anschließend übereinandergelegt werden. Hierbei gibt es verschiedene Messmethoden für die Erfassung der Rotation des Schenkelhalses, bei denen die Schnitthöhe unterschiedlich definiert wird [30]. In dieser Arbeit wurde die Mitte des Schenkelhalses als Achse gewählt.

### 1.2.3 Vergleiche von Röntgen und Computertomographie

In der Literatur finden sich wenige Studien, die Röntgen- gegenüber CT-Bildern vergleichen [31-34]. Lediglich vereinzelt Studien untersuchen die Reliabilität zwischen beiden Modalitäten und die Genauigkeit einzelner Werte, die in beiden Bildgebungen vergleichend gemessen werden können [31, 32]. Außerdem gibt es wenige Untersuchungen, die Messungen aus dem Röntgen mit Rotationswerten aus der CT vergleichen [35].

Tabelle 1: Messwerte und deren Grenzwerte zur Diagnose einer Hüftdysplasie

Messwerte des Röntgens	Dysplasie	Borderline-Dysplasie	Normal	FAI
CE-Winkel [°]	<20	20 - 24,9	25 - 39	>39
AIA [°]	>10		0 - 10	<0
Sharp-Winkel [°]	>42	39 - 42	33 - 38,9	
AHI [%]	>25		10 - 26	<10

Quelle: aus dem Englischen aus Heimer CYW et al., 2022,

Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### 1.3 Operationstechniken

#### 1.3.1 Periazetabuläre Umstellungsosteotomie nach Ganz

Die PAO nach Ganz wurde im Jahre 1988 erstmals veröffentlicht [19] und wird seither bei PatientInnen angewendet [36]. Ziel der Operation ist die Reorientierung des Azetabulums zur Verbesserung der femoralen Überdachung unter vollständiger Durchtrennung des oberen Schambeinastes und Ablösung des Azetabulums vom Os ischii und ilii [37].

Diese Operationstechnik hat den Vorteil, dass die Erkrankten während der Operation nicht umgelagert werden müssen, da ein einfacher Zugangsweg, meist der Smith-Peterson-Zugang [38], ausreicht [17]. Weil zudem der hinterer Pfeiler des Os ischii intakt bleibt [37], wird die Blutversorgung des Beckenknochens geschont, eine stabilere Situation postoperativ gewährleistet und damit eine schnellere Mobilisierung ermöglicht [17], als auch der natürliche Geburtskanal erhalten [39]. Den Vorteilen entgegen steht die Komplexität der Operation, weshalb die Erfahrung der OperateurInnen eine wichtige Rolle spielt [40]. Intraoperative Durchleuchtungen sind obligat, um die visuell nicht sichtbaren tiefen Operationsfelder, wie beispielsweise bei der Osteotomie des Os ischii, beurteilen zu können [41]. Dies erlaubt eine präzisere Operations-Technik und die Vermeidung von Komplikationen [42].

### 1.3.2 Triple-Osteotomie

Es gibt verschiedene Varianten der Triple- oder auch Dreifach-Beckenosteotomie [43], wobei eine dieser Triple-Osteotomien die Technik nach Tönnis ist [20]. Auch hier ist das Ziel die Reorientierung des Azetabulums, wobei es bei dieser Operationstechnik zu einer vollständigen Durchtrennung aller drei Beckenknochen kommt [17]. Der Vorteil dabei liegt darin, dass dadurch die Mobilisation des Azetabulums größer ist als in der Technik nach Ganz [44]. Durch die Verwendung von meist drei Hautinzisionen ist die Übersicht besser als in der Technik nach Ganz [41]. Nachteile sind die Notwendigkeit der intraoperativen Umlagerung [45], eine längere postoperative Mobilisationsdauer und eine Veränderung des Geburtskanals [17].

## 1.4 Komplikationen der periazetabulären Umstellungsosteotomie nach Ganz

Wie jeder Eingriff birgt auch die PAO Risiken und Komplikationen. Abgesehen von allgemeinen Komplikationen wie Thrombosen und Lungenarterienembolien [46], können zudem operationsspezifische Komplikationen wie beispielsweise Nervenläsionen, Blutungen, Weichteilirritationen, Pseudarthrosen, Implantatmigrationen, Korrekturverluste und heterotope Ossifikationen auftreten [41, 47]. Die spezifischen Komplikationen werden in schwere (major) und leichte (minor) Komplikationen eingeteilt [47, 48], wobei die Einteilung nicht immer kongruent ist. Bei den schweren Komplikationen, zu welchen beispielsweise operativ zu sanierende Hämatome, starke Korrekturverluste oder intraartikulären Osteotomien gehören, werden Raten von 6-37% [47] berichtet. Bezüglich der postoperativen Hypästhesie des Nervus cutaneus femoris lateralis (NCFL), welche aufgrund der häufigen Reversibilität zu den leichten Komplikationen gezählt wird und eine der häufigsten auftretenden Komplikationen ist [49], lassen sich Raten von bis zu 91% finden [50].

Zusammenfassend sind die in der Literatur zu findenden Komplikationsraten in Tabelle 2 aufgeführt.

*Tabelle 2: Komplikationen der PAO und deren Raten*

Komplikation	Rate
Hämatome (operative Sanierung notwendig)	4-11% [47]
Korrekturverluste	Bis 4% [51]
Intraartikuläre Osteotomien	3-10% [47]
Nervenverletzungen	1-21% [52]
Hypästhesie des NCFL	2-33% [47], 91% [50]
Starke Blutungen	3% [53]
Weichteil-/Implantatirritation	3-11% [52], 12-35% [47]
Pseudarthrosen	1-33% [52]
Implantatmigration	2% [54]
Heterotope Ossifikationen	1-24% [52]
Ossäre Läsionen	1,5-14% [52]

*Quelle: eigene Darstellung. Die Quellen der Daten sind in der Tabelle aufgeführt.*

Bezüglich prädiktiver Faktoren, die ein Auftreten von Komplikationen wahrscheinlicher machen, lassen sich unter anderem höheres Alter [51] und ein höherer BMI finden [55, 56], wobei es auch Studien gibt, in denen sich Übergewicht nicht als signifikanter negativer Prädiktor herausstellte [49]. Dass mehr Erfahrung der OperateurInnen die Komplikationsrate senkt, wird ebenfalls diskutiert [48, 56]. Präoperative radiologische Prädiktoren für das Auftreten von Komplikationen lassen sich, abgesehen von Studien, die radiologische Prädiktoren für eine spätere Konversion in eine totale Hüftendoprothese angeben [29, 49], nicht finden.

## 1.5 Fragestellungen

In der vorhandenen Literatur gibt es wenige Studien, die den Zusammenhang der beiden bildgebenden Verfahren, dem Röntgen und der Computertomographie, in dysplastischen Hüften erarbeiten. Ebenso wird in der aktuellen Literatur wenig über mögliche prädisponierende Faktoren der radiologischen Bildgebung für das Auftreten von Komplikationen nach einer PAO berichtet.

Darauf aufbauend lauten die Fragestellungen dieser Arbeit folgendermaßen:  
Besteht eine Korrelation zwischen den Werten aus der Rotations-CT und der Beckenübersichtsaufnahme sowie dem axialen Röntgen? Kann dabei die femorale und/oder azetabuläre Rotation anhand des Röntgens vorhergesagt werden?  
Gibt es Prädiktoren im konventionellen Röntgen, wie u.a. dem CE-Winkel, für das Auftreten von Komplikationen nach einer PAO?

Unsere auf diese Fragen bezogenen Hypothesen sind hierbei folgendermaßen:

1. Die in der CT gemessenen Rotationen korrelieren mit den Messwerten des Röntgens.
2. Das Rotationsprofil lässt sich, zumindest teilweise, aus den Werten des konventionellen Röntgens voraussagen.
3. Das prä- und postoperative konventionelle Röntgen weist Prädiktoren für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Komplikationen auf.

## 2 Methodik

### 2.1 Datenerfassung

#### 2.1.1 Datenextraktion

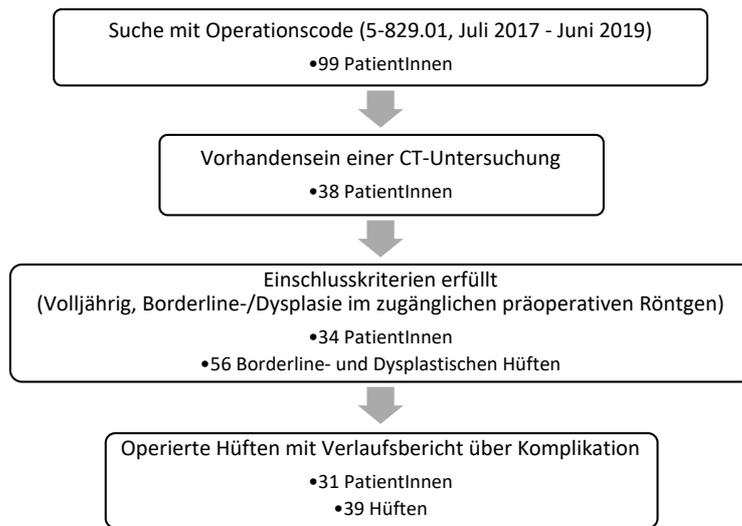
Die Datenerfassung erfolgte aus dem Kliniksystem SAP (SAP AG) der Charité, nachdem die Ethikkommission dem Antrag (EA4/201/19) zur Durchführung der Studie stattgegeben hat. Hierbei wurden mittels des Operations-Codes 5-829.01 die PatientInnen ermittelt, die zwischen Juli 2017 bis Juni 2019 an der Charité mit einer Umstellungsosteotomie nach Ganz operiert wurden. Die Daten der gelisteten PatientInnen wurden initial darauf überprüft, ob ein präoperatives CT mit Rotationsprofil vorhanden war. Hierbei wurden unter anderem die Daten zur Epidemiologie, der präoperativen Untersuchungen, der Operation selbst und des postoperativen Verlaufs erfasst und übernommen. Eine schematische Darstellung befindet sich in Abbildung 1. Die oben genannten Werte aus den Röntgenbildern wurden vom Erstautor der zugrundeliegenden Publikation [1] gemessen, während die Rotationsmessungen der CT durch den Zweitautor erhoben wurden. Wie die Werte gemessen wurden, ist der Abbildung 2 [1] zu entnehmen. Hierbei sind positive Werte in der femoralen und tibialen Torsion, der Rotation der Schenkelhalsachse, der Femurkondylen, des Tibiaplateaus sowie des oberen Sprunggelenkes Zeichen einer Antetorsion, dementsprechend sind negative Werte als eine Retrotorsion zu verstehen. Bei der Pfannenversion hingegen sind positive Werte Ausdrücke einer Anteversion und negative Werte stellen eine Retroversion dar.

#### 2.1.2 Eingeschlossenes Kollektiv der PatientInnen

Nach der Extraktion der Daten erfolgte eine Auslese dieser: Die Personen sollten mindestens 18 Jahre alt sein, ein präoperatives Röntgen, sowie ein Rotations-CT erhalten haben. Wurden diese Kriterien nicht erfüllt führte es zum Ausschluss der Person: Patienten ohne Hüftdysplasie, fehlende oder nicht zugängliche Rotations-CT oder Röntgenbilder und Personen jünger als 18 Jahre.

Für den Teil der Arbeit, der die Prädiktoren des Röntgens für die Wahrscheinlichkeit von Komplikationen untersucht, musste zudem jeweils eine postoperative Bildgebung vorhanden sein und im klinischen Verlauf musste eine Bemerkung über das Vorhandensein von Komplikationen aufgeführt worden sein.

Abbildung 1: Flussdiagramm der Datenextraktion



Quelle: eigene Darstellung

### 2.1.3 Einteilung in die Kohorten

Zur Analyse der Bildgebungen gab es die Gruppe der gesamten Hüften (*Gesamt*), welche zudem in die Kohorten *Dysplasie* und *Borderline-Dysplasie* eingeteilt wurden. Zur Einteilung in diese Untergruppen wurden die Werte des Röntgens, welche für die Diagnosestellung verwendet werden [21], genutzt. Die Werte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Bezüglich der Komplikationsanalysen wurden drei Kategorien erstellt, welche jeweils einer binären Aufteilung (0 und 1) der operierten Hüften unterlagen:

Bei *Gesamte Komplikationen* wurden unter 0 alle Hüften mit einer Hypästhesie des lateralen Oberschenkels (n=22), die bei Wiedervorstellung nicht mehr berichtet wurde, aufgeführt. Alle anderen Komplikationen erhielten die Zahl 1 (n=17).

In der zweiten Kategorie, *Persistierende Hypästhesie*, stand in der binären Einteilung 1 (n=10) für eine Hypästhesie, welche im Verlauf ab der Wiedervorstellung persistierte, im Gegensatz zu keiner Hypästhesie als 0 (n=29).

Die binäre Einteilung in der letzten Kategorie *Weitere Komplikationen* wurde wie folgt vorgenommen: 0 für Hypästhesie (n=29) sowie 1 für alle weiteren Komplikationen (n=10). Diese weiteren Komplikationen waren eine postoperative Blutungsanämie (n=1), Weichteilirritationen (n=3), eine Fußheberschwäche (n=1), eine schmerzhafte Meralgia parästhetica (n=1), ein Hämatomverhalt (n=1), eine Schmerzexazerbation (n=1) und Materialmigrationen (n=2).

#### 2.1.4 Messmethoden des konventionellen Röntgens

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten konventionell radiologischen Messwerte sind in Abbildung 2 dargestellt und wurden folgendermaßen gemessen:

Der Zentrum-Erker-Winkel (CE-Winkel) ist der Winkel zwischen der Senkrechten zur Horizontalen und der Geraden, welche vom Zentrum des Femurkopfes zum lateralen Erker des Azetabulums zieht.

Der Tragflächenwinkel (AIA) ist der Winkel zwischen der Horizontalen und der Geraden, die den am weitesten medial gelegenen Anteil des gewichtstragenden Azetabulums und den Pfannenerker verbindet.

Der Femurkopf-Extrusions-Index (AHI) wird aus zwei horizontalen Strecken errechnet. Strecke A zieht vom medialen Rand des Hüftkopfes zum lateralen Pfannenerker. Strecke B zieht vom lateralen Pfannenerker zum lateralen Rand des Hüftkopfes. Der AHI wird dann mithilfe der Formel  $AHI = A / (A + B) * 100$  errechnet.

Der Sharp-Winkel ist der Winkel zwischen der Horizontalen und der Geraden, die vom tiefsten Punkt der Tränenfigur zum lateralen Pfannenerker zieht.

Der Hüftkopf-Lateralisierungs-Index (HLI) wird aus zwei horizontalen Strecken errechnet. Strecke D zieht vom Zentrum des Femurkopfes bis zum tiefsten Punkt der Tränenfigur. Strecke C zieht vom tiefsten Punkt der Tränenfigur bis zur Mitte der Symphyse. Der HLI wird dann mit der Formel  $HLI = D / C$  errechnet.

Der Corpus-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD-Winkel) ist der Winkel zwischen der Geraden, die durch das Zentrum des Hüftkopfes und die Mitte des Schenkelhalses zieht, und der Geraden, die mittig durch den Femur zieht.

Der Alpha-Winkel wird im axialen Röntgenbild gemessen. Der Winkel bildet sich aus der Geraden, die vom Zentrum des Hüftkopfes durch die Mitte des Schenkelhalses zieht, und der Geraden, die vom Zentrum des Hüftkopfes durch den Punkt zieht, an dem die Sphärizität des Hüftkopfes endet.

Der Beta-Winkel wird ebenfalls im axialen Röntgenbild gemessen. Der Winkel bildet sich aus der Geraden, die vom Zentrum des Hüftkopfes durch die Mitte des Schenkelhalses zieht, und der Geraden, die vom Zentrum des Hüftkopfes zum lateralen Pfannenerker zieht.

### 2.1.5 Messmethoden in der Computertomographie

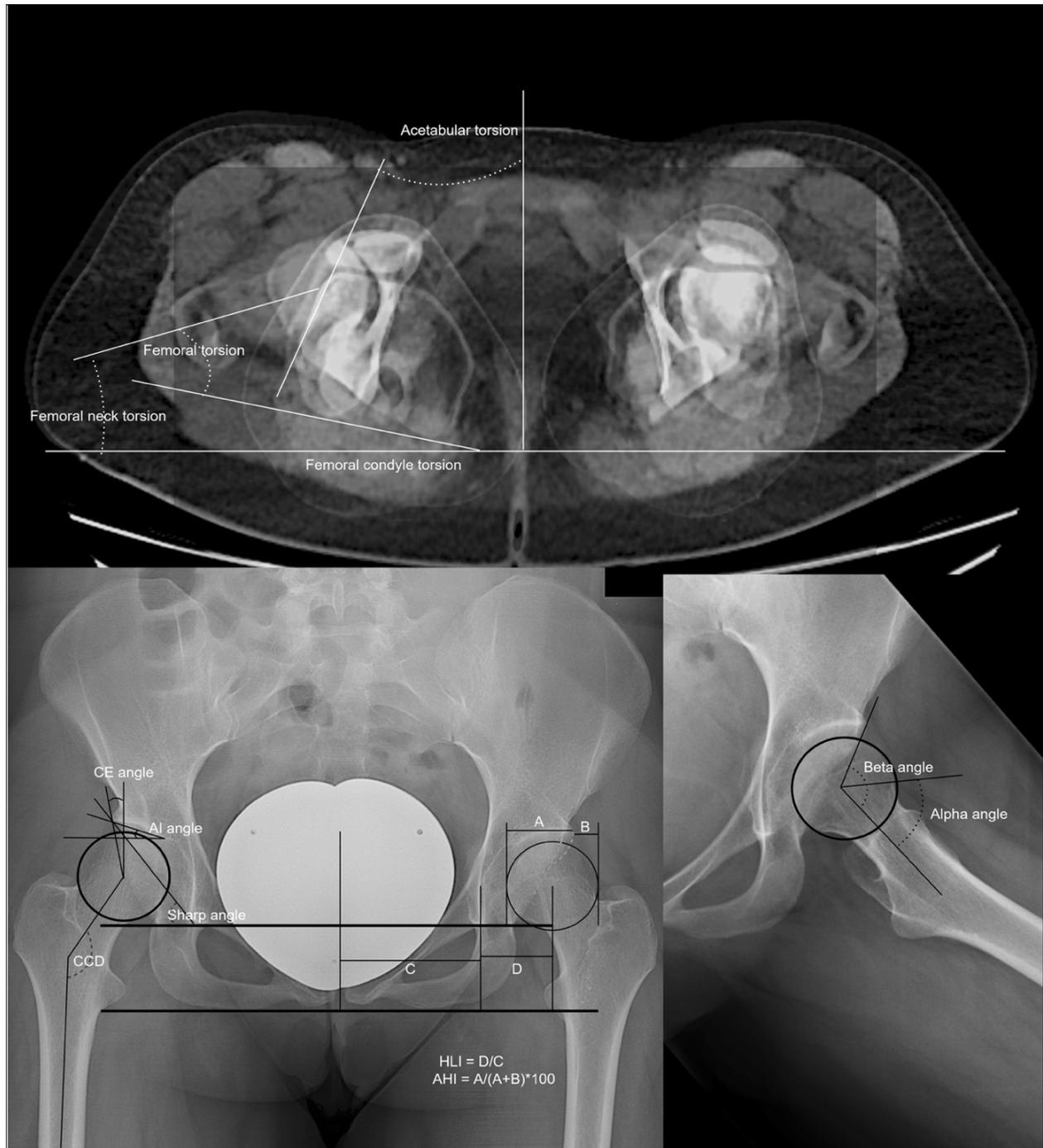
Die in dieser Arbeit verwendeten Rotationswinkel aus der CT sind in Abbildung 2 dargestellt und wurden folgendermaßen gemessen [1]:

Die azetabuläre Rotation wurde auf Höhe des Äquators des Femurkopfes gemessen. Der Winkel ergab sich aus der Geraden, die durch die Vorder- und Hinterkante des Azetabulums zieht, und der Geraden, die durch die Sakralwirbelkörper verläuft.

Für die Messungen der femoralen, tibialen und femorotibialen Rotation war eine Gerade entlang der Unterkante des CT-Bildes vonnöten.

Die femorale Rotation wurde durch den Winkel von der Schenkelhalsachse und der Femurkondylen bestimmt. Letztere beiden bildeten sich durch die Gerade entlang der Unterkante und einer zweiten Gerade, die, bei der Rotation der Schenkelhalsachse durch den Schenkelhals und die Mitte des Femurkopfes, beziehungsweise bei der Rotation der Femurkondylen entlang der Hinterkante der Femurkondylen zieht. Die tibiale Rotation wurde aus der Differenz der Rotationen des Tibiaplateaus und des oberen Sprunggelenkes bestimmt. Auch hier bildeten sich letztere beiden durch die Gerade entlang der Unterkante und einer zweiten Gerade, die, bei der Rotation des Tibiaplateaus entlang der Hinterkante derselben verläuft, beziehungsweise bei der Rotation des oberen Sprunggelenkes durch den Talus und den lateralen Malleolus zieht. Die femorotibiale Rotation wurde als die Differenz der Rotation der Femurkondylen und der Rotation des Tibiaplateaus errechnet.

Abbildung 2: Darstellung der Messwerte im Röntgen (Beckenübersicht-Aufnahme und axiales Röntgenbild der Hüfte) und Beispiele der Messungen aus der CT



Quelle: aus Heimer CYW et al., 2022

Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## 2.2 Datenverarbeitung

### 2.2.1 Statistisches Programm

Für die statistische Auswertung wurde das Statistikprogramm *IBM SPSS Statistics 26 Core System* verwendet. Dieses wurde durch die Charité zur Verfügung gestellt. Ebenso fand *Microsoft® Excel (Version 16.36)* Verwendung.

### 2.2.2 Statistische Verarbeitung

Die Verarbeitung der Daten erfolgte nach Einweisung und Beratung des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité.

Entsprechend der statistischen Beratung wurde, nach Durchführung der deskriptiven Statistik, in der bildgebungsvergleichenden Analyse das gemischte Modell angewendet. Diese Entscheidung beruhte darauf, dass der Einfluss der einzelnen Person herausgerechnet werden soll, wenn beispielsweise beide Hüften einer Person derselben Kohorte zugeordnet werden. Hierfür wurden die PatientInnen mit ID-Nummern versehen, welche als Faktoren angegeben wurden. In den gemischten Modellen wurden die Röntgenwerte als Kovariaten angegeben und auf feste Effekte auf die abhängigen Variablen untersucht. Die abhängige Variable war jeweils ein zu untersuchender Wert des CT-Rotationsprofils.

Bei den Komplikationsanalysen wurden zweiseitige t-Tests in allen drei Kategorien durchgeführt. Nach Durchlauf dieser Tests wurde die Korrelation zwischen den Werten der binären Unterteilungen analysiert. Die Signifikanzen dieser beiden Tests sind in den meisten Fällen identisch, lediglich in wenigen Werten variieren diese voneinander, was daran liegt, dass die Korrelationsanalyse den Levene-Test, der die zu nutzende Signifikanz des zweiseitigen Tests errechnet, nicht berücksichtigt.

Zum Abschluss der statistischen Anwendungen erfolgte die binär logistische Regression. Diese untersucht die Aussagekraft eines aus mehreren Variablen erstellten Modells.

Alle Berechnungen wurden mittels einer Syntax gespeichert, falls die Werte zu späterem Zeitpunkt reproduziert werden sollten.

### 2.2.3 Statistische Gültigkeitskriterien

Für die statistische Auswertung wurde das Signifikanzniveau auf  $p \leq 0,05$  definiert. Ein zusätzliches Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0,01$  gesetzt.

Im gemischten Modell war neben dem p-Wert der Konfidenzintervall (CI) entscheidend. Dieser durfte die Zahl 0 nicht einschließen, weil hierdurch dem Regressionskoeffizienten, trotz eines signifikanten p-Wertes, die Wertigkeit genommen wird.

Bei der binär logistischen Regression musste zunächst der Omnibus-Test betrachtet werden. Wenn dieser ein Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$  aufwies, war das erstellte Modell besser als ein mathematisch erstellter Koeffizient. Nach Betrachtung des Omnibus-Tests konnte die Regressionstabelle untersucht werden, wobei hier eine  $p \leq 0,05$  nur dann gültig war, wenn das Konfidenzintervall des Exponenten des Regressionskoeffizienten (CI Exp(B)) die Zahl 1 nicht einschloss. Wenn diese drei Kriterien gegeben waren, wurde ein Ergebnis als statistisch signifikant angenommen.

## 2.3 Interpretation der Statistik

Die aus der statistischen Verarbeitung erhaltenen Ergebnisse wurden auf deren Plausibilität überprüft und die Interpretation dieser erfolgte im Vergleich zur bestehenden Literatur. Zur Beurteilung der Ergebnisse im gemischten Modell wurde der Korrelationskoeffizient herangezogen. War dieser positiv, bedeutete es, dass die untersuchten Werte entsprechend dem Korrelationskoeffizienten zusammen größer oder kleiner wurden. Bei negativem Koeffizienten verhielten diese sich entgegengesetzt: Einer der Werte stieg, während der andere sank. Der Korrelationskoeffizient diente primär als Richtungsgeber des Verhältnisses, da der Wert des Koeffizienten mit einem konstanten Term entsteht, welcher zur Errechnung eines zu untersuchenden Wertes hinzugezogen werden muss.

Die Erstellung der in den Ergebnissen aufgeführten Formel erfolgte anhand der statistisch-signifikanten Ergebnisse und wurde mithilfe von Excel überprüft.

Bei der binär logistischen Regression gibt der Regressionskoeffizient die Richtung an, in welchem Verhältnis die untersuchten Werte zueinanderstehen. Der Exponent des Regressionskoeffizienten (Exp(B)) gibt das Odds Ratio, also die relative Wahrscheinlichkeit, an, um wie viel Prozent das Auftreten von 1 der binären Variablen relativ steigt (oder sinkt), wenn die metrische Variabel um den Wert von 1 steigt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der statistischen Analysen zu den Bildgebungen bei Hüftdysplasie

Da dieser Teil der Arbeit auf der Publikation von Heimer et al. [1] beruht, wie in der Einleitung bereits erwähnt, sind die Zahlenwerte daraus entnommen und die Tabellen dieser Veröffentlichung entnommen.

Insgesamt wurden 56 Hüften von 34 PatientInnen eingeschlossen. Die Dysplasie-Kohorte bestand aus 43 Hüften, die Borderline-Dysplasie-Kohorte aus 13 Hüften. In dieser Studie wurden insgesamt mehr weibliche Personen (30/34) eingeschlossen, mit einem Prozentsatz von 89,3 % aller eingeschlossenen Hüften. Das Durchschnittsalter aller eingeschlossenen PatientInnen lag bei 28,9 Jahren ( $\pm 7,8$  Jahre), die Körpergröße bei 170,2 cm ( $\pm 8,3$  cm), das Gewicht bei 68,1 kg ( $\pm 11,8$  kg) und der BMI-Wert bei 23,6 kg/m<sup>2</sup> ( $\pm 4,2$  kg/m<sup>2</sup>). Die Werte der einzelnen Kohorten sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Im Röntgen wurden signifikante Unterschiede von der Dysplasie- zur Borderline-Dysplasie-Kohorte im CE-Winkel mit  $20,9^\circ \pm 5,4^\circ$  ( $5,2^\circ$ - $28,1^\circ$ ) zu  $27,6^\circ \pm 3,7^\circ$  ( $22,8^\circ$ - $34,6^\circ$ ), im AIA mit  $13,1^\circ \pm 4,8^\circ$  ( $1,9^\circ$ - $24,7^\circ$ ) zu  $6,3^\circ \pm 2,4^\circ$  ( $1,4^\circ$ - $9,7^\circ$ ), im Sharp-Winkel mit  $43,0^\circ \pm 3,9^\circ$  ( $35,1^\circ$ - $52,3^\circ$ ) zu  $40,2^\circ \pm 1,7^\circ$  ( $36,0^\circ$ - $42,0^\circ$ ) und im AHI mit  $25,3 \pm 6,9$  ( $13,6$ - $45,6$ ) zu  $18,4 \pm 4,7$  ( $9,5$ - $24,8$ ) festgestellt ( $p < 0,001$ ). Diese und alle weiteren Werte sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Nach Anwendung des gemischten Modells fanden sich unter anderem in der Statistik der Gesamtgruppe signifikante Ergebnisse bei der Version des Azetabulums in Bezug auf den AIA, mit einem Regressionskoeffizienten ( $r$ ) von 0,544 ( $p=0,018$ ; CI [0,096; 0,992]), den HLI, mit einem  $r$  von -0,32350 ( $p=0,011$ ; CI [-0,56836; -0,7864]), und den Alpha-Winkel, mit einem  $r$  von -0,298 ( $p=0,017$ ; CI [-0,538; -0,058]). Ebenso fand sich in der Gesamtgruppe eine signifikante Korrelation vom CE-Winkel zum AIA ( $r$  von -0,195;  $p=0,009$ ; CI [-0,338; -0,051]), dem Sharp-Winkel ( $r$  von -0,465;  $p < 0,001$ ; CI [-0,642; -0,288]) und dem AHI ( $r$  von -0,510;  $p < 0,001$ ; CI [-0,639; -0,380]).

In der Dysplasie-Kohorte fanden sich ähnliche Ergebnisse, wenn auch weniger Signifikanzen auftraten. Beispielsweise hat auch in dieser Gruppe die azetabuläre Version zum AIA ( $r\ 0,740$ ;  $p=0,007$ ; CI  $[0,217; 1,262]$ ) und zum HLI ( $r\ -35,137$ ;  $p=0,013$ ; CI  $[-62,418; -7,856]$ ) signifikant korreliert. Ebenso ergab sich auch hier die Korrelation vom CE-Winkel zum Sharp-Winkel ( $r\ -0,446$ ;  $p<0,001$ ; CI  $[-0,614; -0,277]$ ) und zum AHI ( $r\ -0,514$ ;  $p<0,001$ ; CI  $[-0,642; -0,385]$ ). In dieser Kohorte erstmals aufgetreten ist, mit einem  $r$  von  $0,597$  ( $p=0,043$ ; CI  $[0,020; 1,173]$ ), das signifikante Verhältnis von der Torsion des Schenkelhalses zum CCD-Winkel.

In der Borderline-Dysplasie-Kohorte fand sich an Gemeinsamkeit zur Dysplasie-Kohorte lediglich die signifikante Korrelation des CE-Winkels zum AHI mit einem  $r$  von  $-0,690$  ( $p=0,022$ ; CI  $[-1,243; -0,136]$ ). Alle Ergebnisse sind den Tabellen 6, 7 und 8 zu entnehmen.

Anhand der Ergebnisse konnte eine Formel zur Abschätzung der azetabulären Version auf Grundlage der Beckenübersichtsaufnahme und des axialen Röntgenbilds erstellt werden. Hierbei wurden die Regressionskoeffizienten und die Konstante aus dem entsprechenden Modell des gemischten Modells der Gesamtgruppe genommen. Die erstellte Formel hat bei einer Toleranz von  $\pm 4^\circ$  eine Genauigkeit von 70% in den dysplastischen Hüften aufgezeigt.

Aus der sich dieser Dissertation beruhenden Publikation [1] entnommen, lautet die Formel:

**Azetabuläre Version ( $\pm 4^\circ$ ) =**

$$34,72 + 0,479 * \text{CE-Winkel} + 0,544 * \text{AIA} + (-32,35) * \text{HLI} + (-0,298) * \text{Alpha-Winkel}$$

**Tabelle 3: Deskriptive Statistik der demographischen Daten. Angegeben als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung**

Demographische Daten	Gesamt	Dysplasie	Borderline-Dysplasie
Geschlecht (w/m)	50 / 6	40 / 3	10 / 3
Seite (rechts/links)	29 / 27	22 / 21	7 / 6
Alter [Jahre]	28,86 $\pm$ 7,84	29,49 $\pm$ 8,32	28,00 $\pm$ 6,31
Größe [cm]	170,24 $\pm$ 8,31	169,88 $\pm$ 7,29	171,55 $\pm$ 11,64
Gewicht [kg]	68,08 $\pm$ 11,83	67,18 $\pm$ 10,68	71,36 $\pm$ 15,49
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	23,55 $\pm$ 4,22	23,41 $\pm$ 4,36	24,05 $\pm$ 3,82

Quelle: aus dem Englischen aus Heimer CYW et al., 2022,

Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Tabelle 4: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter. Angegeben als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (Minimum - Maximum). Die p-Werte beziehen sich auf einen zweiseitigen t-Test zwischen den Gruppen der Dysplasie und Borderline-Dysplasie. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt**

Röntgenwerte	Gesamt	Dysplasie	Borderline-Dysplasie	p-Wert
CE-Winkel [°]	22,5 $\pm$ 5,8 (5,2 - 34,6)	<b>20,9 <math>\pm</math> 5,4</b> <b>(5,2 - 28,1)</b>	<b>27,6 <math>\pm</math> 3,7</b> <b>(22,8 - 34,6)</b>	<b>&lt;0,001</b>
AIA [°]	11,5 $\pm$ 5,2 (1,4 - 24,7)	<b>13,1 <math>\pm</math> 4,8</b> <b>(1,9 - 24,7)</b>	<b>6,3 <math>\pm</math> 2,4</b> <b>(1,4 - 9,7)</b>	<b>&lt;0,001</b>
Sharp-Winkel [°]	42,3 $\pm$ 3,7 (35,1 - 52,3)	<b>43,0 <math>\pm</math> 3,9</b> <b>(35,1 - 52,3)</b>	<b>40,2 <math>\pm</math> 1,7</b> <b>(36,0 - 42,0)</b>	<b>&lt;0,001</b>
HLI	0,56 $\pm$ 0,07 (0,43 - 0,72)	0,56 $\pm$ 0,06 (0,43 - 0,68)	0,56 $\pm$ 0,07 (0,50 - 0,72)	0,971
AHI	23,7 $\pm$ 7,0 (9,5 - 45,6)	<b>25,3 <math>\pm</math> 6,9</b> <b>(13,6 - 45,6)</b>	<b>18,4 <math>\pm</math> 4,7</b> <b>(9,5 - 24,8)</b>	<b>&lt;0,001</b>
CCD-Winkel [°]	133,5 $\pm$ 5,8 (120,5 - 147,8)	133,8 $\pm$ 5,9 (120,5 - 147,8)	132,8 $\pm$ 5,6 (121,0 - 139,6)	0,627
Alpha-Winkel [°]	57,5 $\pm$ 7,6 (40,8 - 74,2)	57,3 $\pm$ 7,8 (40,8 - 74,2)	58,3 $\pm$ 7,5 (46,3 - 69,8)	0,743
Beta-Winkel [°]	100,7 $\pm$ 11,0 (77,8 - 119,6)	101,2 $\pm$ 11,2 (77,8 - 119,6)	98,9 $\pm$ 10,7 (86,2 - 118,0)	0,606

Quelle: aus dem Englischen aus Heimer CYW et al., 2022,

Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

*Tabelle 5: Deskriptive Statistik der CT-Werte. Angegeben als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (Minimum - Maximum). Die p-Werte beziehen sich auf einen zweiseitigen t-Test. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt.*

*\* positive Werte sprechen für Außen-, negative Werte für Innenrotation,*

*\*\* positive Werte sprechen für Ante-, negative Werte für Retroversion*

Messungen in der Rotations-CT	Gesamt	Dysplasie	Borderline-Dysplasie	p-Wert
Azetabuläre Version [°] **	18,78 $\pm$ 5,62 (6 - 32)	18,50 $\pm$ 5,93 (6 - 32)	19,69 $\pm$ 4,59 (12 - 29)	0,509
Torsion des Schenkelhalses [°] *	16,48 $\pm$ 11,11 (-28 - 34)	17,07 $\pm$ 11,27 (-28 - 34)	14,54 $\pm$ 10,78 (-11 - 30)	0,477
Torsion der Femurkondylen [°] *	-13,16 $\pm$ 9,51 (-31 - 12)	-13,16 $\pm$ 10,37 (-31 - 12)	-13,15 $\pm$ 6,16 (-24 - [-2])	0,998
Femorale Torsion [°] **	28,84 $\pm$ 12,82 (3 - 57)	29,65 $\pm$ 13,44 (3 - 57)	26,15 $\pm$ 10,51 (12 - 43)	0,394
Torsion des Tibiaplateaus [°] *	-7,57 $\pm$ 10,14 (-25 - 18)	-7,12 $\pm$ 10,96 (-25 - 18)	-9,08 $\pm$ 6,86 (-25 - 0)	0,546
Femorotibiale Torsionsdifferenz [°]	6,16 $\pm$ 5 (0 - 30)	<b>6,74 <math>\pm</math> 5,34</b> <b>(0 - 30)</b>	<b>4,23 <math>\pm</math> 3,09</b> <b>(0 - 10)</b>	<b>0,04</b>
Torsion des OSG [°] *	29,24 $\pm$ 10,53 (7 - 53)	29,53 $\pm$ 10,83 (7 - 53)	28,27 $\pm$ 9,82 (12 - 43)	0,732
Tibiale Torsion [°] **	37,24 $\pm$ 7,74 (19 - 60)	37,18 $\pm$ 7,4 (19 - 60)	37,45 $\pm$ 9,21 (19 - 53)	0,92
Torsion gesamtes Bein (Schenkelhals - OSG)	-13,22 $\pm$ 13,87 (-39 - 21)	-13,16 $\pm$ 14,58 (-39 - 21)	-13,45 $\pm$ 11,69 (-30 - 11)	0,951

*Quelle: aus dem Englischen aus Heimer CYW et al., 2022,*

*Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>*

**Tabelle 6: Korrelationen der CT-Werte und des CE-Winkels zu den röntgenologischen Werten in der Kohorte aller Hüften. Angegeben als Regressionskoeffizient, p-Wert und Konfidenzintervall. Signifikante Ergebnisse ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt**

Gesamt	CE-Winkel	AIA	Sharp-Winkel	HLI	AHI	CCD-Winkel	Alpha-Winkel	Beta-Winkel
Azetabuläre Version	0,479 p=0,140 CI [-0,165; 1,123]	<b>0,544</b> <b>p=0,018</b> <b>CI [0,096; 0,992]</b>	-0,022 p=0,941 CI [-0,601; 0,558]	<b>-32,35</b> <b>p=0,011</b> <b>CI [-56,836; -7,864]</b>	0,053 p=0,833 CI [-0,453; 0,56]	-0,113 p=0,354 CI [-0,355; 0,129]	<b>-0,298</b> <b>p=0,017</b> <b>CI [-0,538; -0,058]</b>	-0,072 p=0,446 CI [-0,262; 0,118]
Femorale Torsion	-1,072 p=0,170 CI [-2,626; 0,483]	-0,254 p=0,632 CI [-1,313; 0,805]	-0,682 p=0,342 CI [-2,111; 0,746]	-14,296 p=0,634 CI [-74,262; 45,670]	-0,221 p=0,719 CI [-1,452; 1,01]	0,524 p=0,083 CI [-0,072; 1,119]	-0,089 p=0,752 CI [-0,657; 0,479]	-0,318 p=0,124 CI [-0,092; 0,729]
Torsion des Schenkelhalses	-0,855 p=0,174 CI [-2,111; 0,401]	0,172 p=0,700 CI [-0,721; 1,065]	-0,096 p=0,873 CI [-1,290; 1,099]	38,326 p=0,136 CI [-12,519; 89,171]	-0,64 p=0,213 CI [-1,66; 0,380]	0,369 p=0,141 CI [-0,127; 0,865]	-0,239 p=0,254 CI [-0,656; 0,179]	<b>0,351</b> <b>p=0,025</b> <b>CI [0,046; 0,655]</b>
Torsion der Femurkondylen	-0,289 p=0,501 CI [-1,158; 0,581]	0,199 p=0,558 CI [-0,481; 0,879]	-0,023 p=0,960 CI [-0,92; 0,874]	23,282 p=0,236 CI [-15,781; 62,346]	-0,47 p=0,211 CI [-1,218; 0,278]	0,086 p=0,635 CI [-0,279; 0,452]	-0,104 p=0,644 CI [-0,555; 0,348]	0,059 p=0,717 CI [-0,272; 0,391]
Tibiale Torsion	-1,074 p=0,086 CI [-2,307; 0,158]	0,146 p=0,687 CI [-0,581; 0,873]	-0,289 p=0,581 CI [-1,337; 0,759]	-3,416 p=0,874 CI [-46,922; 40,091]	-0,73 p=0,109 CI [-1,631; 0,171]	0,362 p=0,100 CI [-0,073; 0,797]	-0,27 p=0,172 CI [-0,665; 0,124]	0,126 p=0,335 CI [-0,137; 0,389]
Torsion des Tibiaplateaus	-0,731 p=0,228 CI [-1,940; 0,478]	0,05 p=0,904 CI [-0,786; 0,887]	0,089 p=0,875 CI [-1,037; 1,215]	13,266 p=0,577 CI [-34,193; 60,725]	-0,703 p=0,150 CI [-1,670; 0,264]	0,066 p=0,780 CI [-0,403; 0,534]	0,019 p=0,938 CI [-0,467; 0,505]	-0,095 p=0,581 CI [-0,442; 0,253]
Torsion des OSG	-0,587 p=0,299 CI [-1,730; 0,556]	0,165 p=0,685 CI [-0,649; 0,978]	-0,139 p=0,804 CI [-1,258; 0,981]	-18,707 p=0,460 CI [-69,397; 31,983]	-0,375 p=0,422 CI [-1,312; 0,562]	0,33 p=0,148 CI [-0,123; 0,783]	-0,427 p=0,084 CI [-0,916; 0,062]	0,004 p=0,983 CI [-0,353; 0,346]
Femorotibiale Torsionsdifferenz	-0,12 p=0,769 CI [-0,936; 0,696]	-0,149 p=0,519 CI [-0,614; 0,315]	-0,08 p=0,806 CI [-0,734; 0,573]	-14,401 p=0,256 CI [-39,850; 11,048]	0,031 p=0,915 CI [-0,547; 0,608]	0,029 p=0,826 CI [-0,240; 0,299]	0,154 p=0,225 CI [-0,1; 0,409]	-0,137 p=0,124 CI [-0,314; 0,039]
CE-Winkel		<b>-0,195</b> <b>p=0,009</b> <b>CI [-0,338; -0,051]</b>	<b>-0,465</b> <b>p&lt;0,001</b> <b>CI [-0,642; -0,288]</b>	1,460 p=0,718 CI [-6,704; 9,624]	<b>-0,51</b> <b>p&lt;0,001</b> <b>CI [-0,639; -0,380]</b>	0,032 p=0,462 CI [-0,056; 0,120]	0,034 p=0,793 CI [-0,230; 0,299]	<b>-0,32</b> <b>p=0,002</b> <b>CI [-0,507; -0,132]</b>

Quelle: aus dem Englischen aus Heimer CYW et al., 2022,

Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Tabelle 7: Korrelationen der CT-Werte und des CE-Winkels zu den röntgenologischen Werten in der Dysplasie-Kohorte. Angegeben als Regressionskoeffizient, p-Wert und Konfidenzintervall. Signifikante Ergebnisse ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt**

Dysplasie	CE-Winkel	AIA	Sharp-Winkel	HLI	AHI	CCD-Winkel	Alpha-Winkel	Beta-Winkel
Azetabuläre Version	0,598 p=0,122 CI [-0,173; 1,369]	<b>0,74</b> <b>p=0,007</b> <b>CI [0,217; 1,262]</b>	0,054 p=0,861 CI [-0,565; 0,673]	<b>-35,137</b> <b>p=0,013</b> <b>CI [-62,418; -7,856]</b>	0,021 p=0,943 CI [-0,579; 0,622]	-0,073 p=0,585 CI [-0,343; 0,197]	-0,265 p=0,070 CI [-0,554; 0,023]	-0,082 p=0,470 CI [-0,312; 0,148]
Femorale Torsion	0,005 p=0,996 CI [-1,953; 1,964]	-0,634 p=0,319 CI [-1,906; 0,638]	-0,685 p=0,394 CI [-2,296; 0,926]	-10,281 p=0,767 CI [-80,1; 59,537]	0,728 p=0,341 CI [-0,802; 2,258]	0,604 p=0,089 CI [-0,096; 1,304]	0,179 p=0,574 CI [-0,47; 0,828]	0,289 p=0,214 CI [-0,179; 0,757]
Torsion des Schenkelhalses	-0,683 p=0,391 CI [-2,299; 0,934]	0,332 p=0,524 CI [-0,714; 1,378]	-0,328 p=0,619 CI [-1,652; 0,997]	23,935 p=0,403 CI [-33,479; 81,349]	-0,588 p=0,350 CI [-1,846; 0,671]	<b>0,597</b> <b>p=0,043</b> <b>CI [0,020; 1,173]</b>	-0,053 p=0,812 CI [-0,508; 0,402]	0,286 p=0,086 CI [-0,044; 0,617]
Torsion der Femurkondylen	-0,656 p=0,235 CI [-1,781; 0,47]	0,487 p=0,267 CI [-0,389; 1,362]	-0,127 p=0,812 CI [-1,206; 0,952]	11,538 p=0,623 CI [-35,798; 58,873]	-0,878 p=0,085 CI [-1,884; 0,127]	0,151 p=0,489 CI [-0,292; 0,593]	-0,163 p=0,549 CI [-0,715; 0,389]	0,043 p=0,829 CI [-0,363; 0,45]
Tibiale Torsion	-0,705 p=0,406 CI [-2,431; 1,021]	0,189 p=0,654 CI [-0,672; 1,051]	-0,005 p=0,993 CI [-1,226; 1,215]	11,074 p=0,654 CI [-39,941; 62,089]	-0,489 p=0,375 CI [-1,596; 0,619]	0,046 p=0,859 CI [-0,482; 0,575]	-0,307 p=0,184 CI [-0,771; 0,157]	0,092 p=0,555 CI [-0,226; 0,411]
Torsion des Tibiaplateaus	-1,185 p=0,128 CI [-2,741; 0,370]	0,396 p=0,452 CI [-0,66; 1,452]	0,086 p=0,896 CI [-1,24; 1,412]	-1,032 p=0,971 CI [-58,814; 56,751]	<b>-1,261</b> <b>p=0,049</b> <b>CI [-2,516; -0,007]</b>	0,151 p=0,594 CI [-0,42; 0,721]	0,149 p=0,603 CI [-0,434; 0,733]	-0,197 p=0,339 CI [-0,613; 0,220]
Torsion des OSG	-0,685 p=0,347 CI [-2,178; 0,808]	0,297 p=0,553 CI [-0,713; 1,307]	-0,09 p=0,891 CI [-1,41; 1,231]	-17,376 p=0,561 CI [-77,674; 42,923]	-0,452 p=0,452 CI [-1,663; 0,759]	0,247 p=0,365 CI [-0,305; 0,798]	-0,39 p=0,156 CI [-0,939; 0,159]	-0,147 p=0,460 CI [-0,551; 0,258]
Femorotibiale Torsionsdifferenz	0,055 p=0,921 CI [-1,059; 1,169]	-0,358 p=0,200 CI [-0,918; 0,202]	-0,14 p=0,710 CI [-0,9; 0,620]	-17,671 p=0,236 CI [-47,859; 12,516]	0,197 p=0,584 CI [-0,53; 0,924]	0,062 p=0,691 CI [-0,260; 0,384]	<b>0,312</b> <b>p=0,034</b> <b>CI [0,026; 0,599]</b>	-0,194 p=0,055 CI [-0,393; 0,005]
CE-Winkel		-0,146 p=0,065 CI [-0,301; 0,01]	<b>-0,446</b> <b>p=0,001</b> <b>CI [-0,614; -0,277]</b>	-1,406 p=0,742 CI [-10,000; 7,188]	<b>-0,514</b> <b>p&lt;0,001</b> <b>CI [-0,642; -0,385]</b>	0,024 p=0,592 CI [-0,067; 0,115]	-0,032 p=0,792 CI [-0,280; 0,216]	<b>-0,339</b> <b>p=0,001</b> <b>CI [-0,516; -0,163]</b>

Quelle: aus dem Englischen aus Heimer CYW et al., 2022, Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Tabelle 8: Korrelationen der CT-Werte und des CE-Winkels zu den röntgenologischen Werten in der Borderline-Dysplasie-Kohorte. Angegeben als Regressionskoeffizient, p-Wert und Konfidenzintervall. Signifikante Ergebnisse ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt**

	AIA	Sharp-Winkel	HLI	AHI	CCD-Winkel	Alpha-Winkel	Beta-Winkel
Borderline-Dysplasie							
CE-Winkel	-0,593	-0,985	-39,539	0,084	0,008	-0,523	-0,005
Azetabuläre Version	p=0,433 CI [-2,320; 1,134]	p=0,349 CI [-3,359; 1,388]	p=0,207 CI [-107,917; 28,84]	p=0,903 CI [-1,518; 1,685]	p=0,979 CI [-0,719; 0,735]	p=0,068 CI [-1,102; 0,057]	p=0,977 CI [-0,414; 0,404]
Femorale Torsion	0,2 CI [-3,507; 3,907]	-2,197 CI [-7,589; 3,194]	16,845 CI [-136,993; 170,683]	-3,088 CI [-6,653; 0,477]	0,908 CI [-1,219; 3,034]	-1,061 CI [-2,531; 0,409]	0,332 CI [-0,706; 1,368]
Torsion des Schenkelhalses	-2,432 CI [-6,031; 1,168]	0,014 CI [-5,222; 5,251]	113,94 CI [-35,435; 263,314]	-2,134 CI [-5,596; 1,327]	0,351 CI [-1,717; 2,419]	-0,956 CI [-2,334; 0,422]	0,48 CI [-0,492; 1,452]
Torsion der Femurkondylen	-0,104 CI [-2,290; 2,081]	1,034 CI [-1,976; 4,045]	57,659 CI [-35,750; 151,069]	-0,246 CI [-2,221; 1,729]	-0,197 CI [-1,169; 0,776]	0,105 CI [-0,992; 1,203]	0,149 CI [-0,626; 0,923]
Tibiale Torsion	p=0,239 CI [-5,287; 1,809]	p=0,431 CI [-5,913; 2,488]	p=0,176 CI [-184,477; 108,107]	p=0,770 CI [-3,796; 2,514]	p=0,630 CI [-0,197; 2,469]	p=0,852 CI [-2,018; 1,776]	p=0,643 CI [-0,817; 1,305]
Torsion des Tibiaplateaus	0,173 CI [-2,423; 2,768]	-1,713 CI [-3,058; 3,157]	-38,185 CI [-54,776; 122,544]	0,134 CI [-1,920; 2,189]	-0,348 CI [-1,573; 0,878]	-0,374 CI [-1,545; 0,797]	0,208 CI [-0,618; 1,034]
Torsion des OSG	p=0,242 CI [-10,122; 3,568]	p=0,585 CI [-9,744; 6,422]	p=0,474 CI [-200,668; 356,193]	p=0,335 CI [-8,277; 3,599]	p=0,291 CI [-1,641; 3,782]	p=0,066 CI [-3,001; 0,174]	<b>p=0,047</b> <b>CI [0,024; 1,800]</b>
Femorotibiale Torsionsdifferenz	-0,007 CI [-1,483; 1,468]	-0,618 CI [-2,603; 1,367]	-11,453 CI [-88,767; 65,861]	-0,009 CI [-1,336; 1,318]	-0,066 CI [-0,724; 0,591]	-0,434 CI [-0,701; -0,167]	0,03 CI [-0,158; 0,218]
CE-Winkel	-0,344 CI [-1,096; 0,408]	-0,324 CI [-1,518; 0,87]	18,674 CI [-12,523; 49,871]	-0,69 CI [-1,243; -0,136]	0,179 CI [-0,162; 0,519]	0,051 CI [-0,512; 0,613]	-0,073 CI [-0,469; 0,324]

Quelle: aus dem Englischen aus Heimer CYW et al., 2022,

Zugang über SpringerLink; Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### 3.2 Ergebnisse der statistischen Analysen zu den Komplikationen

In 31 operierten PatientInnen wurden 39 PAOs (8 beidseitige PAO) durchgeführt, welche zur Untersuchung der Komplikationen eingeschlossen werden konnten. Überwiegend waren Patientinnen betroffen (n=27/31, 87,1%) mit einem Durchschnittsalter von 29,4 Jahren ( $\pm 7,2$  Jahre). Dabei war die Durchschnittsgröße 169,3 cm ( $\pm 8,4$  cm), mit einem Gewicht von 68,3 kg ( $\pm 12,1$  kg) und einem BMI von 23,8 kg/m<sup>2</sup> ( $\pm 4,0$  kg/m<sup>2</sup>). Weitere deskriptive Werte betragen unter anderem für den präoperativen CE-Winkel 22,3° ( $\pm 6,3^\circ$ ), dessen durchschnittliche Korrektur bei 17,0° ( $\pm 7,1^\circ$ ) mit einer Operationszeit von 85,6 min ( $\pm 27,0$  min) und einem klinisch verfolgten Verlauf von 339,2 Tagen ( $\pm 272,9$  Tage) lag. Weitere Werte sind der Tabelle 9 zu entnehmen.

Insgesamt wurden 17 Hüften (43,6%) mit Komplikationen beobachtet, die in der binären Einteilung mit 1 kodiert wurden, in den Kategorien *Persistierende Hypästhesie* und *Weitere Komplikationen* waren es jeweils 10 Hüften (25,6%).

Die Unterschiede zwischen den binären Untergruppen 0 und 1 in den drei untersuchten Kategorien der Komplikationen sind den Tabellen 10 und 11 zu entnehmen. In der Kategorie *Persistierende Hypästhesie*, in welcher die Hypästhesie den lateralen Oberschenkel betrifft, sind signifikante Unterschiede zwischen den binären Untergruppen 0 und 1 aufgefallen. Diese betragen (Untergruppe 0 zu Untergruppe 1) beim Gewicht 70,6 kg ( $\pm 11,3$  kg) zu 61,3 kg ( $\pm 12,2$  kg) bei einem p-Wert von 0,045 und beim Beta-Winkel 103,1° ( $\pm 10,7^\circ$ ) zu 94,2° ( $\pm 9,6^\circ$ ) bei einem p-Wert von 0,027. Ebenso ergab sich ein Unterschied zwischen den beiden Untergruppen im postoperativen CE-Winkel mit 37,5° ( $\pm 7,5^\circ$ ) in der zu 44,1° ( $\pm 10,3^\circ$ ) bei einem p-Wert von 0,037. Knapp über dem Signifikanzniveau ist der Unterschied des BMIs in den zwei Untergruppen (p=0,055), ebenfalls in der Kategorie der *Persistierenden Hypästhesie*.

Die Koeffizienten der Korrelationsanalysen der in den t-Tests signifikanten Ergebnisse der *Persistierenden Hypästhesie* lagen bei -0,337 für das Gewicht, -0,362 für den Beta-Winkel und 0,336 für den postoperativen CE-Winkel. Weitere Werte der Korrelationsanalysen sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

In der binär logistischen Regression mit metrischen Variablen waren zwei Ergebnisse in den Gleichungstabellen signifikant.

Der präoperative CE-Winkel in der Kategorie *Weitere Komplikationen* ergab einen Regressionskoeffizienten von -0,539 bei einem p-Wert von 0,042, einen Exponenten des Regressionskoeffizienten (Exp(B)) von 0,583 (CI [0,347; 0,980]), wobei der Omnibus-Test einen p-Wert von 0,384 hatte.

Die Werte des Beta-Winkels in der Kategorie *Persistierende Hypästhesie* ergaben -0,114 für den Regressionskoeffizient (p=0,016), 0,892 für den Exp(B) (CI [0,813; 0,979]) und einen p-Wert von 0,013 für den Omnibus-Test.

Alle Werte der binären logistischen Regression sind in der Tabelle 13 zu sehen.

*Tabelle 9: Deskriptive Statistik des Datensatzes zur Analyse von Komplikationsraten bestehend aus demographischen Daten, den präoperativen Röntgenwerte, der Korrekturausmaße der Röntgenwerte, der postoperativen Röntgenwerte, der Operations- sowie Anästhesiedauer. Angegeben als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung*

Deskriptive Statistik	Mittelwert $\pm$ SD	Min-Max	N
m/w			4/35
Alter [Jahre]	29,41 $\pm$ 7,24	18 - 46	39
Größe [cm]	169,28 $\pm$ 8,38	150 - 189	36
Gewicht [kg]	68,28 $\pm$ 12,07	43 - 97	36
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	23,82 $\pm$ 3,95	16,8 - 37,0	36
Präop. CE-Winkel [°]	22,25 $\pm$ 6,26	5,2 - 34,6	39
Präop. AIA [°]	11,37 $\pm$ 5,72	(-1,1) - 24,7	39
Präop. Sharp-Winkel [°]	42,82 $\pm$ 3,89	36,0 - 52,3	39
Präop. HLI	0,56 $\pm$ 0,07	0,42 - 0,70	39
Präop. AHI	24,17 $\pm$ 7,48	9,47 - 45,56	39
Präop. CCD-Winkel [°]	133,92 $\pm$ 6,03	120,47 - 147,80	39
Präop. Alpha-Winkel [°]	57,86 $\pm$ 7,33	40,8 - 74,2	37
Präop. Beta-Winkel [°]	100,66 $\pm$ 10,99	77,8 - 119,6	37
Korrektur CE-Winkel [°]	16,97 $\pm$ 7,09	4,6 - 35,4	39
Korrektur AIA [°]	(-11,60) $\pm$ 5,80	(-26,6) - 6	39
Korrektur Sharp-Winkel [°]	(-12,94) $\pm$ 4,01	(-21,9) - (-5,6)	39
Korrektur HLI	0,05 $\pm$ 0,05	(-0,08) - 0,17	39
Korrektur AHI	-14,36 $\pm$ 5,34	(-27,03) - (-5,13)	39
Korrektur CCD-Winkel [°]	2,53 $\pm$ 4,01	(-5,7) - 12,2	39
Postop. CE-Winkel [°]	39,22 $\pm$ 8,64	22,1 - 60,4	39
Postop. AIA [°]	-0,24 $\pm$ 6,04	(-8,9) - 14	39
Postop. Sharp-Winkel [°]	29,87 $\pm$ 4,99	16,8 - 40,6	39
Postop. HLI	0,612 $\pm$ 0,073	0,46 - 0,81	39
Postop. AHI	9,81 $\pm$ 6,64	(-5,35) - 27,39	39
Postop. CCD-Winkel [°]	136,45 $\pm$ 6,93	120,6 - 148,5	39
OP-Dauer [min]	85,59 $\pm$ 27,02	55 - 161	39
Anästhesie-Dauer [min]	144,41 $\pm$ 34,59	101 - 240	39
Follow-up [d]	339,23 $\pm$ 272,94	21-1101	39

Quelle: Eigene Darstellung

*Tabelle 10: Ergebnisse der zweiseitigen t-Tests der demographischen Daten, der präoperativen Röntgenwerte und der Operations- sowie Anästhesiedauer in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt*

		Gesamte Komplikationen	Persistierende Hypästhesie	Weitere Komplikationen
Alter [Jahre]	0	29,45 $\pm$ 7,85	29,59 $\pm$ 7,61	29,34 $\pm$ 7,24
	1	29,35 $\pm$ 6,61	28,90 $\pm$ 6,39	29,60 $\pm$ 7,65
	p-Wert	0,966	0,8	0,925
Größe [cm]	0	168,95 $\pm$ 7,02	169,74 $\pm$ 8,09	168,73 $\pm$ 7,95
	1	169,69 $\pm$ 10,07	167,89 $\pm$ 9,58	170,70 $\pm$ 9,72
	p-Wert	0,797	0,574	0,536
Gewicht [kg]	0	70,35 $\pm$ 12,03	<b>70,59 <math>\pm</math> 11,33</b>	67,85 $\pm$ 12,14
	1	65,69 $\pm$ 12,00	<b>61,33 <math>\pm</math> 12,19</b>	69,40 $\pm$ 12,47
	p-Wert	0,255	<b>0,045</b>	0,735
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	0	24,67 $\pm$ 4,20	24,55 $\pm$ 3,96	23,83 $\pm$ 4,07
	1	22,77 $\pm$ 3,48	21,64 $\pm$ 3,22	23,80 $\pm$ 3,85
	p-Wert	0,155	0,055	0,984
Präop. CE-Winkel [°]	0	21,84 $\pm$ 7,04	21,57 $\pm$ 6,77	22,33 $\pm$ 6,52
	1	22,79 $\pm$ 5,26	24,23 $\pm$ 4,18	22,02 $\pm$ 5,76
	p-Wert	0,646	0,253	0,893
Präop. AIA [°]	0	11,62 $\pm$ 5,93	11,51 $\pm$ 5,69	11,57 $\pm$ 6,13
	1	11,04 $\pm$ 5,59	10,95 $\pm$ 6,10	10,79 $\pm$ 4,55
	p-Wert	0,759	0,793	0,717
Präop. Sharp-Winkel [°]	0	43,10 $\pm$ 4,23	43,37 $\pm$ 4,10	42,81 $\pm$ 3,91
	1	42,45 $\pm$ 3,51	41,22 $\pm$ 2,82	42,82 $\pm$ 4,06
	p-Wert	0,616	0,135	0,997
Präop. HLI	0	0,570 $\pm$ 0,061	0,564 $\pm$ 0,060	0,558 $\pm$ 0,073
	1	0,544 $\pm$ 0,080	0,542 $\pm$ 0,096	0,561 $\pm$ 0,063
	p-Wert	0,255	0,501	0,904
Präop. AHI	0	24,69 $\pm$ 8,17	24,46 $\pm$ 8,00	24,49 $\pm$ 7,72
	1	23,50 $\pm$ 6,67	23,34 $\pm$ 6,01	23,25 $\pm$ 7,05
	p-Wert	0,631	0,689	0,658
Präop. CCD-Winkel [°]	0	133,98 $\pm$ 5,92	134,12 $\pm$ 6,06	133,3 $\pm$ 6,00
	1	133,86 $\pm$ 6,34	133,37 $\pm$ 6,21	135,73 $\pm$ 6,04
	p-Wert	0,952	0,741	0,279
Präop. Alpha-Winkel [°]	0	57,90 $\pm$ 7,48	57,13 $\pm$ 6,99	57,64 $\pm$ 7,47
	1	57,81 $\pm$ 7,37	59,84 $\pm$ 8,21	58,57 $\pm$ 7,23
	p-Wert	0,972	0,324	0,745
Präop. Beta-Winkel [°]	0	102,65 $\pm$ 11,37	<b>103,06 <math>\pm</math> 10,66</b>	100,08 $\pm$ 11,43
	1	98,06 $\pm$ 10,22	<b>94,21 <math>\pm</math> 9,55</b>	102,49 $\pm$ 9,89
	p-Wert	0,212	<b>0,027</b>	0,574
OP-Dauer [min]	0	87,59 $\pm$ 28,71	88,00 $\pm$ 29,17	83,86 $\pm$ 26,66
	1	83,00 $\pm$ 25,29	78,60 $\pm$ 19,07	90,60 $\pm$ 28,90
	p-Wert	0,605	0,35	0,504
Anästhesie-Dauer [min]	0	144,05 $\pm$ 36,42	147,45 $\pm$ 36,24	140,59 $\pm$ 33,76
	1	144,88 $\pm$ 33,17	135,60 $\pm$ 29,15	155,50 $\pm$ 36,38
	p-Wert	0,941	0,357	0,245

Quelle: Eigene Darstellung

*Tabelle 11: Ergebnisse der zweiseitigen t-Tests der Korrekturausmaße der Röntgenwerte und der postoperativen Röntgenwerte in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung. Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt*

		Gesamte Komplikationen	Persistierende Hypästhesie	Weitere Komplikationen
Korrektur CE-Winkel [°]	0	15,32 $\pm$ 5,84	15,97 $\pm$ 5,90	17,08 $\pm$ 7,58
	1	19,09 $\pm$ 8,14	19,87 $\pm$ 9,56	16,63 $\pm$ 5,79
	p-Wert	0,1	0,249	0,865
Korrektur AIA [°]	0	-11,39 $\pm$ 5,03	-11,68 $\pm$ 4,64	-11,64 $\pm$ 6,49
	1	-11,88 $\pm$ 6,82	-11,39 $\pm$ 8,66	-11,50 $\pm$ 3,33
	p-Wert	0,799	0,895	0,949
Korrektur Sharp- Winkel [°]	0	-12,84 $\pm$ 3,92	-12,91 $\pm$ 3,92	-12,97 $\pm$ 4,11
	1	-13,08 $\pm$ 4,25	-13,03 $\pm$ 4,49	-12,86 $\pm$ 3,93
	p-Wert	0,852	0,938	0,94
Korrektur HLI	0	0,048 $\pm$ 0,041	0,052 $\pm$ 0,055	0,056 $\pm$ 0,047
	1	0,062 $\pm$ 0,069	0,061 $\pm$ 0,056	0,051 $\pm$ 0,077
	p-Wert	0,462	0,663	0,864
Korrektur AHI	0	-14,13 $\pm$ 4,37	-14,13 $\pm$ 4,65	-14,48 $\pm$ 5,43
	1	-14,65 $\pm$ 6,53	-15,03 $\pm$ 7,26	-14,01 $\pm$ 5,36
	p-Wert	0,779	0,721	0,815
Korrektur CCD- Winkel [°]	0	2,68 $\pm$ 4,27	2,33 $\pm$ 3,89	2,71 $\pm$ 4,16
	1	2,33 $\pm$ 3,77	3,11 $\pm$ 4,52	1,99 $\pm$ 3,7
	p-Wert	0,793	0,601	0,632
Postop. CE-Winkel [°]	0	37,16 $\pm$ 7,69	<b>37,54 <math>\pm</math> 7,46</b>	39,42 $\pm$ 9,34
	1	41,88 $\pm$ 9,30	<b>44,10 <math>\pm</math> 10,34</b>	38,65 $\pm$ 6,59
	p-Wert	0,091	<b>0,037</b>	0,812
Postop. AIA [°]	0	0,23 $\pm$ 6,45	-0,17 $\pm$ 6,21	-0,08 $\pm$ 6,40
	1	-0,85 $\pm$ 5,58	-0,47 $\pm$ 5,82	-0,71 $\pm$ 5,12
	p-Wert	0,586	0,893	0,781
Postop. Sharp-Winkel [°]	0	30,26 $\pm$ 5,38	30,45 $\pm$ 5,11	29,84 $\pm$ 5,33
	1	29,37 $\pm$ 4,55	28,19 $\pm$ 4,45	29,96 $\pm$ 4,10
	p-Wert	0,588	0,221	0,949
Postop. HLI	0	0,617 $\pm$ 0,060	0,616 $\pm$ 0,078	0,612 $\pm$ 0,061
	1	0,606 $\pm$ 0,089	0,602 $\pm$ 0,060	0,612 $\pm$ 0,106
	p-Wert	0,636	0,612	0,991
Postop. AHI	0	10,55 $\pm$ 6,24	10,33 $\pm$ 6,41	10,01 $\pm$ 6,58
	1	8,85 $\pm$ 7,21	8,31 $\pm$ 7,43	9,24 $\pm$ 7,16
	p-Wert	0,435	0,415	0,756
Postop. CCD-Winkel [°]	0	136,65 $\pm$ 7,07	136,44 $\pm$ 6,96	136,01 $\pm$ 6,96
	1	136,19 $\pm$ 6,95	136,48 $\pm$ 7,20	137,72 $\pm$ 7,03
	p-Wert	0,838	0,988	0,509

Quelle: Eigene Darstellung

*Tabelle 12: Ergebnisse der Korrelationsanalyse der demographischen Daten, der präoperativen Röntgenwerte, der Korrekturausmaße der Röntgenwerte, der postoperativen Röntgenwerte und der Operations-, sowie Anästhesiedauer in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Korrelationskoeffizient (p-Wert). Signifikanzen ( $p \leq 0,05$ ) sind fettgedruckt*

	Gesamte Komplikationen	Persistierende Hypästhesie	Weitere Komplikationen
Alter [Jahre]	-0,007 (p=0,966)	-0,042 (p=0,800)	0,016 (p=0,925)
Größe [cm]	0,044 (p=0,797)	-0,097 (p=0,574)	0,107 (p=0,536)
Gewicht [kg]	-0,195 (p=0,255)	<b>-0,337 (p=0,045)</b>	0,058 (p=0,735)
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	-0,242 (p=0,155)	-0,323 (p=0,055)	-0,004 (p=0,984)
Präop. CE-Winkel [°]	0,076 (p=0,646)	0,188 (p=0,253)	-0,022 (p=0,893)
Präop. AIA [°]	-0,051 (p=0,759)	-0,043 (p=0,793)	-0,060 (p=0,717)
Präop. Sharp-Winkel [°]	-0,083 (p=0,616)	-0,244 (p=0,135)	0,001 (p=0,997)
Präop. HLI	-0,187 (p=0,255)	-0,142 (p=0,501)	0,020 (p=0,904)
Präop. AHI	-0,079 (p=0,631)	-0,066 (p=0,689)	-0,073 (p=0,658)
Präop. CCD-Winkel [°]	-0,010 (p=0,952)	-0,055 (p=0,741)	0,178 (p=0,279)
Präop. Alpha-Winkel [°]	-0,006 (p=0,972)	0,167 (p=0,324)	0,055 (p=0,745)
Präop. Beta-Winkel [°]	-0,210 (p=0,212)	<b>-0,362 (p=0,027)</b>	0,095 (p=0,574)
Korrektur CE-Winkel [°]	0,267 (p=0,100)	0,243 (p=0,135)	-0,028 (p=0,865)
Korrektur AIA [°]	-0,042 (p=0,799)	0,022 (p=0,895)	0,011 (p=0,949)
Korrektur Sharp-Winkel [°]	-0,031 (p=0,852)	-0,013 (p=0,938)	0,012 (p=0,940)
Korrektur HLI	0,130 (p=0,431)	0,072 (p=0,663)	-0,036 (p=0,826)
Korrektur AHI	-0,049 (p=0,767)	-0,074 (p=0,653)	0,039 (p=0,815)
Korrektur CCD-Winkel [°]	-0,043 (p=0,793)	0,087 (p=0,601)	-0,079 (p=0,632)
Postop. CE-Winkel [°]	0,274 (p=0,091)	<b>0,336 (p=0,037)</b>	-0,039 (p=0,812)
Postop. AIA [°]	-0,090 (p=0,586)	-0,022 (p=0,893)	-0,046 (p=0,781)
Postop. Sharp-Winkel [°]	-0,089 (p=0,588)	-0,201 (p=0,221)	0,011 (p=0,949)
Postop. HLI	-0,078 (p=0,636)	-0,084 (p=0,612)	-0,003 (p=0,988)
Postop. AHI	-0,129 (p=0,435)	-0,134 (p=0,415)	-0,051 (p=0,756)
Postop. CCD-Winkel [°]	-0,034 (p=0,838)	0,002 (p=0,988)	0,109 (p=0,509)
OP-Dauer [min]	-0,085 (p=0,605)	-0,154 (p=0,350)	0,110 (p=0,504)
Anästhesie-Dauer [min]	0,012 (p=0,941)	-0,152 (p=0,357)	0,191 (p=0,245)

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 13: Ergebnisse der binär logistischen Regression der demographischen Daten, der präoperativen Röntgenwerte, der Korrekturmaße der Röntgenwerte, der postoperativen Röntgenwerte und der Operations-, sowie Anästhesiedauer in den drei Kategorien der Komplikationen. Angegeben als Regressionskoeffizient mit zugehörigem p-Wert und p-Wert des Omnibus-Test

	Größe	Gewicht	Omnibus-Test	Präop. CE- Winkel	Präop. AIA	Präop. Sharp- Winkel	Präop. HLI	Präop. AHI	Präop. CCD- Winkel	Omnibus-Test
Gesamte Komplikationen	0,043 p=0,369	-0,049 p=0,164	p=0,329	-0,030 p=0,890	-0,013 p=0,898	-0,077 p=0,636	-6,366 p=0,247	0,002 p=0,987	0,018 p=0,753	p=0,939
Persistierende Hypästhesie	0,033 p=0,587	-0,092 ° p=0,065	p=0,090	0,526 p=0,120	0,008 p=0,954	-0,002 p=0,992	-9,113 p=0,195	0,395 p=0,092	0,004 p=0,956	p=0,270
Weitere Komplikationen	0,027 p=0,591	0,003 p=0,934	p=0,813	-0,539 * p=0,042	-0,057 p=0,631	-0,221 p=0,254	2,974 p=0,692	-0,359 p=0,054	0,107 p=0,148	p=0,384

	Präop. Alpha- Winkel	Präop. Beta- Winkel	Omnibus-Test	Korrektur CE- Winkel	Korrektur AIA	Korrektur Sharp- Winkel	Korrektur HLI	Korrektur AHI	Korrektur CCD- Winkel	Omnibus-Test
Gesamte Komplikationen	0,017 p=0,734	-0,044 p=0,193	p=0,411	0,125 p=0,086	-0,033 p=0,729	0,049 p=0,717	6,728 p=0,330	0,050 p=0,615	0,009 p=0,916	p=0,568
Persistierende Hypästhesie	0,118 p=0,086	<b>-0,114 **</b> <b>p=0,016</b>	<b>p=0,013</b>	0,112 p=0,106	0,017 p=0,864	0,024 p=0,869	4,717 p=0,536	0,019 p=0,860	0,093 p=0,355	p=0,692
Weitere Komplikationen	0,010 p=0,859	0,019 p=0,614	p=0,831	-0,013 p=0,854	-0,004 p=0,966	-0,006 p=0,968	-1,813 p=0,805	0,016 p=0,882	-0,047 p=0,645	p=0,999

	Postop. CE- Winkel	Postop. AIA	Postop. Sharp- Winkel	Postop. HLI	Postop. AHI	Postop. CCD- Winkel	Omnibus-Test	OP-Dauer	Anästhesie- Dauer	Omnibus-Test
Gesamte Komplikationen	0,090 p=0,142	0,00 p=0,997	-0,001 p=0,988	-0,113 p=0,982	0,039 p=0,653	0,003 p=0,961	p=0,773	-0,074 p=0,080	0,055 p=0,090	p=0,171
Persistierende Hypästhesie	0,127 °° p=0,066	0,098 p=0,325	-0,156 p=0,188	-1,860 p=0,772	0,073 p=0,517	0,016 p=0,805	p=0,317	-0,012 p=0,781	-0,003 p=0,923	p=0,588
Weitere Komplikationen	-0,040 p=0,578	-0,041 p=0,646	0,034 p=0,736	0,694 p=0,906	-0,052 p=0,580	0,044 p=0,446	p=0,975	-0,056 p=0,192	0,054 p=0,113	p=0,207

Exp(B)	* 0,563	** 0,892
CI[Exp(B)]	[0,347; 0,980]	[0,813; 0,979]
Exp(B)	° 0,912	°° 1,135
CI[Exp(B)]	[0,827; 1,006]	[0,991; 1,300]

Quelle: Eigene Darstellung

## 4 Diskussion

### 4.1 Interpretation und Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand

Der signifikante Unterschied in der femorotibialen Torsionsdifferenz zwischen den beiden Kohorten *Dysplasie* und *Borderline-Dysplasie* ist in der aktuellen Literatur nicht zu finden. Erklärbar ist dieser Unterschied jedoch durch den signifikanten Unterschied der femoralen Rotation zwischen dysplastischen und gesunden Hüften [57] und einer zusätzlichen veränderten tibialen Torsion in dysplastischen Hüften [58].

Die signifikante Korrelation des CE-Winkels zum Beta-Winkel, die sich sowohl in der Gesamtgruppe als auch der Kohorte *Dysplasie* zeigte, könnte dadurch erklärt werden, dass der in dieser Studie genutzte Beta-Winkel den am weitesten lateral gelegenen Punkt der azetabulären Überdachung als anatomischen Messpunkt nutzt, wie es auch für den CE-Winkel der Fall ist [21, 59]. Der CE-Winkel wird nicht nur zur Definition der Hüftdysplasie genutzt, sondern auch zur Definition des femoroazetabulären Impingements (FAI) [22]. Einen signifikanten Zusammenhang vom FAI zum Beta-Winkel ist in der Literatur bereits beschrieben [60], wodurch die signifikante Korrelation vom Beta-Winkel zum CE-Winkel auch in dysplastischen Hüften schlüssig erscheint. Dennoch muss hierbei aufgezeigt werden, dass die Messungen der Beta-Winkel voneinander abweichend sind. Beide Beta-Winkel beinhalten die Gerade vom Zentrum des Femurkopfes zum Pfannenerker, jedoch ist die zweite Gerade bei Brunner [60] vom Zentrum des Femurkopfes zu dem Punkt gezogen, an dem der Femurkopf die sphärische Form verlässt, also dem Knorpel-Knochen-Übergang des Femurkopfes, während die zweite Gerade der sich dieser Dissertation beziehenden Arbeit [1] durch die Mitte des Schenkelhalses zieht.

Auffallend in der Statistik der Rotationswerte ist, wie bereits in 3.1 erwähnt, dass die meisten Signifikanzen die azetabuläre Version betreffen. Diese korreliert sowohl in der Gesamtgruppe als auch in der Dysplasie-Kohorte mit dem AIA, wie auch dem HLI. Diese beiden Ergebnisse liegen in der Art und Weise des Messens begründet. Der AIA ist der Winkel, der sich aus der Geraden, welche den am weitesten medialen Anteil des gewichtstragenden Azetabulums und dem Pfannenerker verbindet, und der

Horizontalen des Röntgenbildes ergibt [21]. Der signifikante positive Korrelationskoeffizient könnte sich daraus ergeben, dass sich der Pfannenerker nach medial verlagert, wenn es zu einer Anteversion des Azetabulums kommt, und somit ein steilerer Winkel entsteht. Ebenso findet sich die Erklärung unter der Betrachtung der Studie von Fujii [61], in welcher unter anderem herausgearbeitet wurde, dass dysplastische Hüften statistisch gesehen eine höhere Anteversion aufweisen als anatomisch normal ausgebildete Hüften. Da der AIA ein Messwert ist, der zu der Diagnose einer Hüft dysplasie dient [21], bei welcher, wie eben beschrieben, häufig eine höhere Anteversion auftritt, scheint die signifikante Korrelation von der azetabulären Version und dem AIA [1] plausibel.

Der negative Korrelationskoeffizient des HLIs [1] entsteht, weil es bei einer Anteversion zu einer medialen Verschiebung des in dysplastischen Hüften eher ovalen als sphärischen [62] Femurkopfes kommt. Hierdurch vermindert sich die Strecke A, welche vom Zentrum des Femurkopfes bis zum tiefsten Punkt der Tränenfigur zieht. Diese Strecke steht beim Errechnen des HLIs im Verhältnis zu Strecke B, die von letzterem Punkt bis zur Mitte der Symphyse zieht, wodurch das Ergebnis kleiner wird.

Auf die in der Gruppe *Gesamt* zusätzlich signifikante negative Korrelation von der azetabulären Version zum Alpha-Winkel eingehend, findet sich bereits ein solches Ergebnis in der Arbeit von Canella [63], in welcher PatientInnen mit einer symptomatischen FAI untersucht wurden.

Auf die Ergebnisse bezüglich der Rotation der Schenkelhalsachse blickend, fällt auf, dass in der Gesamtgruppe und in der Dysplasie-Kohorte jeweils eine Signifikanz mit positivem Regressionskoeffizienten auftritt, in der Gesamtgruppe mit dem Beta-Winkel, in Dysplasie-Kohorte mit dem CCD-Winkel.

Die positive Korrelation vom CCD-Winkel zur Schenkelhalsachse lässt sich folgendermaßen erklären: Durch eine vermehrte Außenrotation des physiologisch ohnehin schon etwas außenrotierten Schenkelhalses [64], und damit einer Anteversion des Femurs, kommt es zu einem veränderten Blickwinkel im Röntgen, wodurch es zu einem größeren CCD-Winkel kommt. Dieser Umstand findet sich beispielsweise in der Arbeit von Degen [65] und im Lehrbuch von Niethard [66] wieder.

Eine ähnliche Erklärung liegt der Korrelation mit dem positiven Korrelationskoeffizienten der Rotation des Schenkelhalses zum Beta-Winkel zugrunde. Dreht sich der

Schenkelhals weiter nach außen, wird die Gerade, welche wie beim CCD-Winkel durch diesen und dem Zentrum des Femurkopfes zieht [65], steiler. Da zur Messung des in dieser Arbeit verwendeten Beta-Winkels diese Gerade genutzt wird und die zweite Struktur zur Erstellung des Winkels nicht wie beim Alpha-Winkel am Femurkopf, sondern am Azetabulum liegt, steigt durch die steilere Gerade auch der Winkel. Auch wenn Brunner [60] ebenfalls einen Zusammenhang dieser beiden Werte aufzeigt, muss hier jedoch darauf hingewiesen werden, dass eine der Geraden des Beta-Winkels nicht durch den Schenkelhals [1], sondern durch den Knorpel-Knochen-Übergang des Femurkopfes zieht. Aus diesem Grund beruht in diesem Fall der Zusammenhang am ehesten auf der Projektion bei einer veränderten Version des Femurs.

Eine weitere signifikante Korrelation findet sich in der Dysplasie-Kohorte, in welcher die Torsion des Tibiaplateaus zum AHI einen negativen Korrelationskoeffizienten aufweist. Dieses Ergebnis findet sich im aktuellen Forschungsstand wieder:

Lerch [58] beschreibt, dass die Hüft dysplasie eine Pathologie ist, bei der statistisch gesehen eine höhere tibiale Torsion auftritt, welche mithilfe der Torsionen des Tibiaplateaus und der Malleolengabel gemessen wird. Dass dysplastische Hüften eine höhere tibiale Torsion haben [58], bestätigt der Vergleich von der dysplastischen Kohorte mit einem Mittelwert von  $37,2^\circ (\pm 7,4)$  [1] zu anderen Studien mit Hüftgesunden Kohorten, die sehr variable Werte aufweisen, welche von  $21,6^\circ (\pm 7,6)$  [67], über  $29,6^\circ (\pm 6,9)$  [68], bis zu  $38^\circ$  [69] reichen, wobei in letzterer die Messmethode abweichend war. Da der AHI ein charakterisierender Parameter für die Dysplasie ist [21] und somit unausweichlich mit Hüft dysplasien korreliert sowie, wie eben erörtert, die tibiale Torsion mit der Hüft dysplasie vergesellschaftet ist, scheint das Ergebnis mit einer signifikanten Korrelation vom AHI zur Torsion des Tibiaplateaus schlüssig [1]. Nichtsdestotrotz hat der AHI zu keiner weiteren Rotationsmessung eine Korrelation aufgezeigt, weshalb dieses Ergebnis in weiteren Studien untersucht werden müsste.

Zum invers aufgetretenen Zusammenhang des Gewichts ( $p=0,045$ ) und des BMIs ( $p=0,055$ ) zur Häufigkeit des Auftretens der Hypästhesie des lateralen Oberschenkels im Verlauf [1] lassen sich in der aktuellen Literatur vor allem gegensätzliche Aussagen, nämlich, dass ein höheres Gewicht [70] und ein höherer BMI [55] das Auftreten einer Missempfindung des Nervus cutaneus femoris lateralis (NCFL) begünstigen, finden. Eine Verletzung des NCFL tritt am ehesten durch Kompression und/oder Dehnung

während der Operation auf [50, 71]. Die zuvor erwähnte Korrelation könnte dadurch erklärt werden, dass bei einem geringeren Körpergewicht weniger Muskel- und Fettgewebe vorhanden ist, das den Nerven auf seinem Verlauf über den M. iliacus und nach Durchtreten unter dem Leistenband [72] schützt, wodurch eine Kompression/Dehnung während der Operation wahrscheinlicher eintritt. Der Hauptrisikofaktor für eine Verletzung des NCFL ist jedoch die enge Lagebeziehungen zum Smith-Peterson-Zugang [73].

Die Ergebnisse des Beta-Winkels in der Analyse der *Persistierenden Hypästhesie* mit dem negativem Korrelationskoeffizienten sind hinsichtlich der binär logistischen Regression hervorzuheben. Dies ist das einzige Modell bei welchem alle Bedingungen der Signifikanz, genauer dem Omnibus-Test, dem Konfidenzintervall des  $\text{Exp}(B)$  und dem p-Wert der Gleichungstabelle, erfüllt werden. Diese Ergebnisse können folgendermaßen erklärt werden:

Der Smith Peterson Zugang weist ein erhöhtes Risiko einer Verletzung des NCFL auf. Dieser verläuft, nach Entstehung aus den Nervenwurzeln von L2-L3, unter anderem in der Faszie des Musculus iliacus, unter dem Leistenband durch und durchtritt die Fascia lata [72, 74]. Eine Störung mit somatosensorischen Symptomen dieses Nerven kann durch verschiedene Umstände induziert sein, beispielsweise durch Dehnung oder Kompression des Nerven, durch direkte Verletzung oder durch Ischämie [50, 75, 76].

Die Arbeit [1] zeigte bereits einen positiven Zusammenhang des Beta-Winkels und der Antetorsion des Schenkelhalses, im Umkehrschluss ist anzunehmen, dass eine vermehrte Retrotorsion mit einer Verkleinerung des Beta-Winkels korreliert. Da der Musculus iliacus neben der Flexion unter anderem auch eine Außenrotation mitbewirken kann [64, 77], müsste dieser bei einer verstärkten Innenrotation aufgrund der gegensätzlichen Funktion vermehrt gedehnt sein und intraoperativ stärker mobilisiert werden, weshalb durch stärker einzusetzenden Zug der Nerv dem Risiko der Verletzung vermehrt ausgesetzt ist [73].

Die Ergebnisse bezüglich des postoperativen CE-Winkels mit dem positiven Korrelationskoeffizienten in der Kategorie *Persistierende Hypästhesie* scheinen durch folgende Studien plausibel: Troelsen gibt das Ziel des postoperativen CE-Winkels von 30-40° an [78], wobei Über- und Unterkorrekturen zu Komplikationen, wie subjektiven Leidensdruck der PatientInnen [79], Bewegungseinschränkungen, der Entwicklung

eines FAI [80] und erhöhtem Risiko einer Arthroseprogression und Konversion zur Hüft-TEP führen [78].

Die den postoperativen CE-Winkel einschließenden Ergebnisse schwächend, muss dennoch betont werden, dass die aktuelle Literatur das deutlich häufigere Auftreten einer Unterkorrektur, im Gegensatz zu einer Überkorrektur, aufzeigt [81].

#### **4.2 Klinische Relevanz und Implikationen für zukünftige Forschung**

Veränderte Messwerte im Röntgen durch unterschiedlich ausgeprägte Rotationsverhältnisse in der unteren Extremität sind in der Praxis zu beachten. Dies betrifft unter anderem den CCD-Winkel, der bei einer verstärkten Antetorsion des Femurs, beziehungsweise bei einer Außenrotation der Schenkelhalsachse, steigt. Deshalb sollten Messergebnisse im Röntgen immer kritisch hinterfragt werden. Falls zudem die genauen Rotationsverhältnisse der unteren Extremität für eine bessere Planbarkeit der Operation erforderlich sein sollten, bleibt eine CT oder MRT Mittel der Wahl [82].

Sollte eine Orientierung zur azetabulären Version in dysplastischen Hüften benötigt werden, kann die entwickelte Formel [1] angewendet werden, wodurch eine CT- oder MRT-Untersuchung zur Messung der azetabulären Version umgangen werden könnte. Jedoch sollte hierbei darauf hingewiesen werden, dass die Genauigkeit 70% beträgt und die Formel noch nicht in größeren Kohorten geprüft worden ist.

Für die zukünftige Forschung ist anzumerken, dass diese sich mehr auf die Zusammenhänge vom Rotationsprofil zum Röntgen fokussieren sollte, da die aktuelle Datenlage in diesem Bereich bislang nur die intermodale Reliabilität gleicher Messwerte aufweist. Es sollte sowohl untersucht werden, welchen Einfluss die verschiedenen Rotationen auf die röntgenologischen Messwerte haben sowie wie das Röntgen Prädiktoren für die Rotationen aufweisen kann. In diesem Zuge sollte auch die oben genannte Formel überprüft und gegebenenfalls überarbeitet werden.

Des Weiteren wäre es wünschenswert, wenn der in dieser Arbeit modifizierte Beta-Winkel [1] in zusätzlichen Arbeiten untersucht werden würde. Dieser wies sowohl mit dem CE-Winkel als auch mit der Rotation der Schenkelhalsachse eine signifikante Korrelation auf, wodurch dieser Messwert nach weiterer Evaluation gegebenenfalls bei der Einschätzung einer Hüftdysplasie helfen kann.

All diese aufgeführten gewünschten Untersuchungen sollten außerdem nicht nur in dysplastischen Hüften erfolgen, sondern auch in hüftgesunden Kohorten, um verlässliche Normwerte generieren zu können.

Insbesondere sollten zukünftige Studien prospektiv gestaltet werden, um beispielsweise auf die Fertigstellung der Bildgebungen Einfluss zu haben und die Ergebnisse in ihrer Anwendung zu überprüfen. Hierbei können möglicherweise Registerstudien helfen, die die Revisionsrate, wie auch die Notwendigkeit von Operationen in Hüft dysplasien aufzeigen.

Im Forschungsausblick erhält besonders die Erforderlichkeit von prospektiven Studien und größeren Kohorten eine stärkere Wichtigkeit, wodurch die prädiktiven Faktoren für das Auftreten von Komplikationen nach einer PAO untersucht und das Ausmaß des Arthroserisikos erfasst werden sollten.

### **4.3 Limitationen**

Zuallererst ist zu erwähnen, dass es sich mit 56 Hüften in der bildgebungsvergleichenden Analyse und 39 Hüften in der Analyse zu den Komplikationen um einen kleinen Datensatz handelt, wodurch eine nicht ausreichend hohe Evidenz anzunehmen ist.

Zweitens ist hinsichtlich der Generalisierbarkeit der Studienergebnisse [1] aufzuführen, dass sich die Werte zunächst nur auf dysplastische Hüften übertragen lassen, da mit 43 Hüften diese hauptsächlich vertreten sind.

Drittens sind von einigen Personen beide Hüften im Datensatz zu finden. Um den Einfluss des Individuums auf die statistischen Ergebnisse weitestgehend zu umgehen, wurde jedoch in den gemischten Modellen die ID mit verrechnet.

Die entwickelte Formel zur Schätzung der azetabulären Version [1] kann nur zur orientierenden Einschätzung genutzt werden, da zum einen eine Genauigkeit von 70% in dysplastischen Hüften vorhanden ist, und zum anderen, weil es sich hierbei um eine Pilotstudie handelt und diese Art der Vorhersage zunächst in weiteren Studien bestätigt werden muss.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Studie von Heimer et al. [1] und somit diese Dissertationsschrift scheint die erste Studie zu sein, die alle präoperativen Rotationswerte der unteren Extremität ins Verhältnis zum ebenfalls präoperativen zweidimensionalen Röntgenbild der Hüfte setzt und deren Zusammenhänge untersucht. Hierbei sind vor allem auf die azetabuläre Version bezogene Ergebnisse aufgetreten, mit deren Hilfe zur Orientierung eine Formel zur Schätzung dieser Version entstanden ist. Diese Formel beinhaltet den CE-Winkel, den AIA, den HLI sowie den Alpha-Winkel des Röntgenbildes und ist entsprechend den Angaben dieser Studie nur auf dysplastische Hüften anwendbar. In der Borderline-Dysplasie-Kohorte hingegen traten keine plausiblen, das Rotationsprofil betreffende, Korrelationen auf.

Ebenso lässt diese Arbeit insbesondere drei negativ prädisponierende Faktoren für das Auftreten einer länger anhaltenden Hypästhesie des lateralen Oberschenkels vermuten. Diese sind ein geringeres Gewicht, ein kleinerer, in dieser Arbeit verwendeter Beta-Winkel in der präoperativen Bildgebung und ein zu hoher postoperativer CE-Winkel.

Weitere Studien sollten insbesondere das Rotationsprofil in dysplastischen Hüften, sowohl prä- als auch postoperativ, genauer untersuchen und analysieren, ob Werte aus dem Rotations-CT anhand von Röntgenbildern geschätzt werden können. Zur genauen Evaluation der Rotationswerte der unteren Extremitäten in dysplastischen Hüften bleibt bis dahin ein Schnittbildverfahren wie die Rotations-CT notwendig.

## Literaturverzeichnis

1. Heimer CYW, Gohler F, Vosseller JT, Hardt S, Perka C, Backer HC. Rotational abnormalities in dysplastic hips and how to predict acetabular torsion. *Eur Radiol.* 2022;32(12):8350-63.
2. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. *Orthopädie und Unfallchirurgie.* Stuttgart: Thieme; 2009. 655 p.
3. Chan A, McCaul KA, Cundy PJ, Haan EA, Byron-Scott R. Perinatal risk factors for developmental dysplasia of the hip. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 1997;76(2):F94-100.
4. Bache CE, Clegg J, Herron M. Risk factors for developmental dysplasia of the hip: ultrasonographic findings in the neonatal period. *J Pediatr Orthop B.* 2002;11(3):212-8.
5. Seidl T, Thielemann F, Gerhardt A, Gaulrapp H, Zierl A, Buchholz S, Naumann A, Winter B, Rodens K. S2k-Guideline Developmental Dysplasia of the Hip in the Neonate. *Z Orthop Unfall.* 2022.
6. Roovers EA, Boere-Boonekamp MM, Geertsma TS, Zielhuis GA, Kerkhoff AH. Ultrasonographic screening for developmental dysplasia of the hip in infants. Reproducibility of assessments made by radiographers. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(5):726-30.
7. Bucher F, Gorg C, Weber S, Peterlein CD. Paediatric hip ultrasound: uncertainties in examination and choice of treatment. *J Child Orthop.* 2021;15(1):42-7.
8. von Kries R, Ihme N, Oberle D, Lorani A, Stark R, Altenhofen L, Niethard FU. Effect of ultrasound screening on the rate of first operative procedures for developmental hip dysplasia in Germany. *Lancet.* 2003;362(9399):1883-7.
9. Haertle M, Hawi H, Windhagen H, Becker N, Ahmad SS. Fifty percent of patients undergoing periacetabular osteotomy for hip dysplasia showed normal findings upon neonatal ultrasound screening : Symptomatic hip dysplasia in adulthood despite inconspicuous neonatal hip ultrasound. *Orthopädie (Heidelb).* 2023;52(4):313-9.
10. Zidka M, Dzupa V. Pavlik harness and Frejka pillow: compliance affects results of outpatient treatment. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139(11):1519-24.
11. Murphy SB, Ganz R, Muller ME. The prognosis in untreated dysplasia of the hip. A study of radiographic factors that predict the outcome. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(7):985-9.
12. Wyles CC, Heidenreich MJ, Jeng J, Larson DR, Trousdale RT, Sierra RJ. The John Charnley Award: Redefining the Natural History of Osteoarthritis in Patients With Hip Dysplasia and Impingement. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(2):336-50.
13. Nunley RM, Prather H, Hunt D, Schoenecker PL, Clohisy JC. Clinical presentation of symptomatic acetabular dysplasia in skeletally mature patients. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93 Suppl 2:17-21.
14. Chiari C, Felsing C. Inzidenz, Biomechanik und Diagnostik der Hüftgelenkdysplasie. *Arthroskopie.* 2022;35(1):3-11.
15. Gala L, Clohisy JC, Beaulieu PE. Hip Dysplasia in the Young Adult. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(1):63-73.
16. Ellsworth BK, Sink EL, Doyle SM. Adolescent hip dysplasia: what are the symptoms and how to diagnose it. *Curr Opin Pediatr.* 2021;33(1):65-73.
17. Büchler L, Gatzka C, Kalchschmidt K, Siebenrock KA. Azetabuläre Umstellungsosteomie im Erwachsenenalter. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*

2019. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 5: Georg Thieme Verlag; 2019. p. 479-92.
18. Dezateux C, Rosendahl K. Developmental dysplasia of the hip. *Lancet*. 2007;369(9572):1541-52.
19. Ganz R, Klaue K, Vinh TS, Mast JW. A new periacetabular osteotomy for the treatment of hip dysplasias. Technique and preliminary results. *Clin Orthop Relat Res*. 1988(232):26-36.
20. Tonnis D, Behrens K, Tscharrani F. [A new technique of triple osteotomy for turning dysplastic acetabula in adolescents and adults (author's transl)]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1981;119(3):253-65.
21. Henle P, Tannast M, Siebenrock KA. [Imaging in developmental dysplasia of the hip]. *Orthopade*. 2008;37(6):525-31.
22. Tannast M, Hanke MS, Zheng G, Steppacher SD, Siebenrock KA. What are the radiographic reference values for acetabular under- and overcoverage? *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(4):1234-46.
23. Mimura T, Mori K, Kawasaki T, Imai S, Matsusue Y. Triple pelvic osteotomy: Report of our mid-term results and review of literature. *World J Orthop*. 2014;5(1):14-22.
24. Mannava S, Geeslin AG, Frangiamore SJ, Cinque ME, Geeslin MG, Chahla J, Philippon MJ. Comprehensive Clinical Evaluation of Femoroacetabular Impingement: Part 2, Plain Radiography. *Arthrosc Tech*. 2017;6(5):e2003-e9.
25. Bardakos NV, Villar RN. Predictors of progression of osteoarthritis in femoroacetabular impingement: a radiological study with a minimum of ten years follow-up. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(2):162-9.
26. Siebenrock KA, Schoeniger R, Ganz R. Anterior femoro-acetabular impingement due to acetabular retroversion. Treatment with periacetabular osteotomy. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(2):278-86.
27. Sugano N, Noble PC, Kamaric E, Salama JK, Ochi T, Tullos HS. The morphology of the femur in developmental dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Br*. 1998;80(4):711-9.
28. Blum A, Raymond A, Teixeira P. Strategy and optimization of diagnostic imaging in painful hip in adults. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015;101(1 Suppl):S85-99.
29. Troelsen A. Assessment of adult hip dysplasia and the outcome of surgical treatment. *Dan Med J*. 2012;59(6):B4450.
30. Schmaranzer F, Lerch TD, Siebenrock KA, Tannast M, Steppacher SD. Differences in Femoral Torsion Among Various Measurement Methods Increase in Hips With Excessive Femoral Torsion. *Clin Orthop Relat Res*. 2019;477(5):1073-83.
31. Alzohiry MA, Abdelnasser MK, Moustafa M, Mahran M, Bakr H, Khalifa Y, Abelaal A, Atta H, Said GZ. Accuracy of plain antero-posterior radiographic-based methods for measurement of acetabular cup version. *Int Orthop*. 2018;42(12):2777-85.
32. Air ME, Harrison JR, Nguyen JT, Kelly BT, Bogner EA, Moley PJ. Correlation of Measurements of the Prearthritic Hip Between Plain Radiography and Computed Tomography. *PM R*. 2019;11(2):158-66.
33. Cadet ER, Babatunde OM, Gorroochurn P, Chan AK, Stancato-Pasik A, Brown M, Johnson S, Kaiser PB, Gardner TR, Ayeni OR. Inter- and intra-observer agreement of femoroacetabular impingement (FAI) parameters comparing plain radiographs and advanced, 3D computed tomographic (CT)-generated hip models in a surgical patient cohort. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(7):2324-31.
34. McArthur B, Cross M, Geatrakas C, Mayman D, Ghelman B. Measuring acetabular component version after THA: CT or plain radiograph? *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(10):2810-8.

35. Zhang W, Xu J, Li D, Sun H, Cai Z, Chen M, Ma R. Reliability and Validity of Standing Lateral Radiograph Method for Measuring Acetabular Component Version: A Modified Cross-table Lateral Radiograph Method. *Orthop Surg.* 2022;14(8):1622-9.
36. Ahmad SS, Giebel GM, Perka C, Meller S, Pumberger M, Hardt S, Stockle U, Konrads C. Survival of the dysplastic hip after periacetabular osteotomy: a meta-analysis. *Hip Int.* 2021;11207000211048425.
37. Kamath AF. Bernese periacetabular osteotomy for hip dysplasia: Surgical technique and indications. *World J Orthop.* 2016;7(5):280-6.
38. Matta JM, Stover MD, Siebenrock K. Periacetabular osteotomy through the Smith-Petersen approach. *Clin Orthop Relat Res.* 1999(363):21-32.
39. Fluckiger G, Egli S, Kosina J, Ganz R. [Birth after peri-acetabular osteotomy]. *Orthopade.* 2000;29(1):63-7.
40. Ferro FP, Ejnisman L, Miyahara HS, Trindade CA, Faga A, Vicente JR. Cadaveric Study on the Learning Curve of the Two-Approach Ganz Periacetabular Osteotomy. *Acta Ortop Bras.* 2016;24(2):102-6.
41. Renner L, Perka C, Zahn R. [Complications after hip osteotomy]. *Orthopade.* 2014;43(1):16-23.
42. Reichert JC, Hofer A, Matziolis G, Wassilew GI. Intraoperative Fluoroscopy Allows the Reliable Assessment of Deformity Correction during Periacetabular Osteotomy. *J Clin Med.* 2022;11(16).
43. Maheshwari R, Madan SS. Pelvic osteotomy techniques and comparative effects on biomechanics of the hip: a kinematic study. *Orthopedics.* 2011;34(12):e821-6.
44. Tonnis D, Kalchschmidt K, Heinecke A. [Acetabular rotations y triple pelvic osteotomy by the Tonnis method]. *Orthopade.* 1998;27(11):733-42.
45. Zahedi AR, Luring C, Janssen D. [Tonnis and Kalchschmidt triple pelvic osteotomy]. *Orthopade.* 2016;45(8):673-7.
46. Beckmann J, Becker T. Allgemeine postoperative Komplikationen. *Allgemeine und Viszeralchirurgie up2date.* 2012;6(02):119-40.
47. Clohisy JC, Schutz AL, St John L, Schoenecker PL, Wright RW. Periacetabular osteotomy: a systematic literature review. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(8):2041-52.
48. Novais EN, Carry PM, Kestel LA, Ketterman B, Brusalis CM, Sankar WN. Does Surgeon Experience Impact the Risk of Complications After Bernese Periacetabular Osteotomy? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(4):1110-7.
49. Tan JHI, Tan SHS, Rajoo MS, Lim AKS, Hui JH. Hip survivorship following the Bernese periacetabular osteotomy for the treatment of acetabular dysplasia: A systematic review and meta-analysis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2022;108(4):103283.
50. Cates RA, Boon AJ, Trousdale RT, Douge A, Sierra RJ. Prospective evaluation of lateral femoral cutaneous nerve injuries during periacetabular osteotomy. *J Hip Preserv Surg.* 2019;6(1):77-85.
51. Siebenrock KA, Scholl E, Lottenbach M, Ganz R. Bernese periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 1999(363):9-20.
52. Baraliakos X, Baumgartner R, Berndt T, Beyer WF, Beyer-Westendorf J, Bischoff HP, Bischoff M, Bouillon B, Bühren V, Burghofer K, Decking, R., Dominkus, M., Eden, L., Eisenschenk, A., Engelhardt, T., Eysel, P., Flören, M., Flörkemeier, Th., Fuhrmann, R. A., Funovics, Ph T., Göser, Chr., Gras, M. F., Graßhoff, H., Heisel, J., Hofmann-Kiefer, K., Jacob, M., Jansen, H., Kohn, D., Koy, T., Krämer, J., Kraus, R., Kusma, M., Lackner, Chr K., von Laer, L., Lassahn, Chr., Lenschow, S., Meffert, R. H., Meier, R., Militz, M., Mückley, Th., Mutschler, W., Neu, J., Paffrath, Th, Parsch, K., Prommersberger, K. J., Püschmann, H., Rammelt, St, Reichardt, Chr., Reichel, H.,

- Rixen, D., Rüger, M., Rühmann, O., Schieker, M., Schütz, U., Sirtl, C., Sobottke, R., Stein, V., Streibelt, M., Theodoridis, Th., Verheyden, A. P., Weber, U., Weckbach, S., Weiss, N., Windhagen, H., Wirth, C. J., Zahn, R. K., Zwipp, H. *Komplikationen in Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2010. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-40827>.
53. Biedermann R, Donnan L, Gabriel A, Wachter R, Krismer M, Behensky H. Complications and patient satisfaction after periacetabular pelvic osteotomy. *Int Orthop*. 2008;32(5):611-7.
54. Leopold VJ, Conrad J, Zahn RK, Hipfl C, Perka C, Hardt S. Fixation stability and implant-associated complications in periacetabular osteotomy: a comparison of screw and K-wire fixation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(2):691-7.
55. Weng WC, Wei YC, Huang WY, Chien YY, Peng TI, Wu CL. Risk factor analysis for meralgia paresthetica: A hospital-based study in Taiwan. *J Clin Neurosci*. 2017;43:192-5.
56. Wells J, Schoenecker P, Petrie J, Thomason K, Goss CW, Clohisy JC. Are Complications After the Bernese Periacetabular Osteotomy Associated With Subsequent Outcomes Scores? *Clin Orthop Relat Res*. 2019;477(5):1157-63.
57. Cho KJ, Park KS, Shin YR, Yang HY, Yoon TR. Relationship between femoral anteversion and tibial torsion: CT evaluation of 38 unilateral developmental dysplasia of the hip patients. *Hip Int*. 2018;28(5):548-53.
58. Lerch TD, Liechti EF, Todorski IAS, Schmaranzer F, Steppacher SD, Siebenrock KA, Tannast M, Klenke FM. Prevalence of combined abnormalities of tibial and femoral torsion in patients with symptomatic hip dysplasia and femoroacetabular impingement. *Bone Joint J*. 2020;102-B(12):1636-45.
59. Khan M, Ranawat A, Williams D, Gandhi R, Choudur H, Parasu N, Simunovic N, Ayeni OR. Relationship between the alpha and beta angles in diagnosing CAM-type femoroacetabular impingement on frog-leg lateral radiographs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(9):2595-600.
60. Brunner A, Hamers AT, Fitze M, Herzog RF. The plain beta-angle measured on radiographs in the assessment of femoroacetabular impingement. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(9):1203-8.
61. Fujii M, Nakashima Y, Sato T, Akiyama M, Iwamoto Y. Acetabular tilt correlates with acetabular version and coverage in hip dysplasia. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(10):2827-35.
62. Lopes DS, Neptune RR, Goncalves AA, Ambrosio JA, Silva MT. Shape Analysis of the Femoral Head: A Comparative Study Between Spherical, (Super)Ellipsoidal, and (Super)Ovoidal Shapes. *J Biomech Eng*. 2015;137(11):114504.
63. Canella RP, Adam GP, de Castillo RA, Codonho D, Ganev GG, de Vicenzi LF. Overdiagnosing of femoroacetabular impingement: correlation between clinical presentation and computed tomography in symptomatic patients. *Rev Bras Ortop*. 2016;51(2):200-7.
64. Wurzinger LJ. Hüftmuskulatur. In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spaniel-Borowski K, Wennemuth G, Wolff W, Wurzinger LJ., editors. *Duale Reihe Anatomie*. 5., korrigierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2020.
65. Degen N. *Der Einfluss von Rotation und Torsion des Femurs auf die projizierte Schenkelhalsneigung im konventionellen Röntgen*. Munich: Ludwig-Maximilians-Universität zu München; 2017.
66. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. *Orthopädie und Unfallchirurgie / Fritz Uwe Niethard, Joachim Pfeil, Peter Biberthaler*. Stuttgart : Thieme; 2022. 677 p.

67. Mullaji AB, Sharma AK, Marawar SV, Kohli AF. Tibial torsion in non-arthritic Indian adults: a computer tomography study of 100 limbs. *Indian J Orthop.* 2008;42(3):309-13.
68. Yan W, Xu X, Xu Q, Yan W, Sun Z, Jiang Q, Shi D. Femoral and tibial torsion measurements based on EOS imaging compared to 3D CT reconstruction measurements. *Ann Transl Med.* 2019;7(18):460.
69. Kristiansen LP, Gunderson RB, Steen H, Reikeras O. The normal development of tibial torsion. *Skeletal Radiol.* 2001;30(9):519-22.
70. Sanders AE, Andras LM, Choi PD, Tolo VT, Skaggs DL. Lateral Femoral Cutaneous Nerve Palsy After Spinal Fusion for Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS). *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41(19):E1164-E7.
71. Thawrani D, Sucato DJ, Podeszwa DA, DeLaRocha A. Complications associated with the Bernese periacetabular osteotomy for hip dysplasia in adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(8):1707-14.
72. Schwaiger K, Pumberger P, Wimbauer J, Russe E, Schaffler G, Wechselberger G. Operative Dekompression des Nervus cutaneus femoris lateralis. *Operative Orthopädie und Traumatologie.* 2022;34(2):90-7.
73. Ali M, Malviya A. Complications and outcome after periacetabular osteotomy - influence of surgical approach. *Hip Int.* 2020;30(1):4-15.
74. Heidenreich W, Lorenzoni E. [Injury of the lateral cutaneous nerve of the thigh. A rare complication following gynecologic surgery]. *Geburtshilfe Frauenheilkd.* 1983;43(12):766-8.
75. Beltran LS, Bencardino J, Ghazikhanian V, Beltran J. Entrapment neuropathies III: lower limb. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2010;14(5):501-11.
76. Kiyama T, Naito M, Shiramizu K, Shinoda T, Maeyama A. Ischemia of the lateral femoral cutaneous nerve during periacetabular osteotomy using Smith-Petersen approach. *J Orthop Traumatol.* 2009;10(3):123-6.
77. Lifshitz L, Bar Sela S, Gal N, Martin R, Fleitman Klar M. Iliopsoas the Hidden Muscle: Anatomy, Diagnosis, and Treatment. *Curr Sports Med Rep.* 2020;19(6):235-43.
78. Troelsen A, Elmengaard B, Soballe K. Medium-term outcome of periacetabular osteotomy and predictors of conversion to total hip replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(9):2169-79.
79. Chandrasekaran S, Darwish N, Chaharbakhshi EO, Suarez-Ahedo C, Lodhia P, Domb BG. Minimum 2-Year Outcomes of Hip Arthroscopic Surgery in Patients With Acetabular Overcoverage and Profunda Acetabulae Compared With Matched Controls With Normal Acetabular Coverage. *Am J Sports Med.* 2017;45(11):2483-92.
80. Hanke MS, Lerch TD, Schmaranzer F, Meier MK, Steppacher SD, Siebenrock KA. Complications of hip preserving surgery. *EFORT Open Rev.* 2021;6(6):472-86.
81. Novais EN, Duncan S, Nepple J, Pashos G, Schoenecker PL, Clohisy JC. Do Radiographic Parameters of Dysplasia Improve to Normal Ranges After Bernese Periacetabular Osteotomy? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(4):1120-7.
82. Heimann AF, Zurmühle CA, Stetzelberger VM, Galley J, Schwab JM, Tannast M. Definition der Hüft dysplasie im Jahr 2023. *Die Orthopädie.* 2023;52(4):261-71.

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Carsten Heimer versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *„Retrospektive Studie zur Aussagekraft präoperativer Bildgebung bei Hüftdysplasie sowie prädiktiven Faktoren für Komplikationen nach Versorgung mittels PAO“*, im Englischen *„Retrospective study to investigate the informative value of the preoperative imaging in hip dysplasia and predictive factors for complications after the PAO“* 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](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

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

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

---

Datum

---

Unterschrift

## Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Carsten Y. W. Heimer hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Heimer CYW, Göhler F, Vosseller JT, Hardt S, Perka C, Bäcker HC

*Rotational abnormalities in dysplastic hips and how to predict acetabular torsion*

European Radiology

2022

Beitrag im Einzelnen:

Zu Beginn lag mein Beitrag der Arbeit darin, die Daten aus dem SAP-System der Charité zu erheben und diese dann in eine Excel-Tabelle zu übertragen. Nicht nur habe ich die Daten erhoben, auch habe ich alle Röntgenbilder nach Einweisung und Erklärung meines Zweitbetreuers gemessen. Die CT-Bilder wurden von einem Radiologen (Zweitautor) gemessen. Nach Abschluss der Erhebung folgte die Anwendung der gemeinsam erarbeiteten Ein- und Ausschlusskriterien, die auch durch mich erfolgt ist.

Vor dem Beginn der Statistik erfolgte die Beratung durch das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité, nach dessen Empfehlungen ich die vollständige Statistik durchgeführt habe. Die Auswertung und meine Interpretation teilte und besprach ich mit meinen Betreuern. Darauffolgend habe ich die erste Version der Publikation formuliert, welche durch rege Zusammenarbeit mit meinen Betreuern in European Radiology publiziert wurde.

Die Auswahl des Journals erfolgte durch mich. Die Korrespondenz wurde durch meinen Zweitbetreuer gepflegt.

Nach Annahme mit gewünschten Veränderungen, erarbeitete ich stets als erster die Kommentare und änderte den Text entsprechend, wobei mein Zweitbetreuer dies anschließend kontrolliert hat, bevor es zurück an das Journal geschickt wurde.

Alle Tabellen der Publikation wurden von mir erstellt.

---

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

---

Unterschrift des Doktoranden

## Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2020** Selected Editions: SCIE,SSCI  
 Selected Categories: **"RADIOLOGY, NUCLEAR MEDICINE and MEDICAL IMAGING"** Selected Category Scheme: WoS  
**Gesamtanzahl: 134 Journale**

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	JACC-Cardiovascular Imaging	14,398	14.805	0.032190
2	RADIOLOGY	72,249	11.105	0.053000
3	JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE	32,949	10.057	0.032490
4	IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING	27,030	10.048	0.033600
5	EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING	20,634	9.236	0.024430
6	MEDICAL IMAGE ANALYSIS	11,568	8.545	0.018360
7	Photoacoustics	1,093	8.484	0.001780
8	CLINICAL NUCLEAR MEDICINE	6,344	7.794	0.006990
9	Circulation-Cardiovascular Imaging	7,640	7.792	0.015510
10	ULTRASOUND IN OBSTETRICS & GYNECOLOGY	18,164	7.299	0.018820
11	INTERNATIONAL JOURNAL OF RADIATION ONCOLOGY BIOLOGY PHYSICS	50,525	7.038	0.039410
12	European Heart Journal-Cardiovascular Imaging	8,423	6.875	0.020790
13	NEUROIMAGE	119,618	6.556	0.105820
14	ULTRASCHALL IN DER MEDIZIN	2,911	6.548	0.003340
15	RADIOTHERAPY AND ONCOLOGY	22,462	6.280	0.024940
16	INVESTIGATIVE RADIOLOGY	7,700	6.016	0.007870
17	JOURNAL OF NUCLEAR CARDIOLOGY	5,882	5.952	0.005390
18	SEMINARS IN RADIATION ONCOLOGY	2,837	5.934	0.002710
19	Journal of the American College of Radiology	6,584	5.532	0.013810
20	JOURNAL OF CARDIOVASCULAR MAGNETIC RESONANCE	6,935	5.364	0.010460

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
21	RADIOGRAPHICS	16,021	5.333	0.012160
<b>22</b>	<b>EUROPEAN RADIOLOGY</b>	<b>29,642</b>	<b>5.315</b>	<b>0.035390</b>
23	Insights into Imaging	3,147	5.231	0.005200
24	HUMAN BRAIN MAPPING	27,538	5.038	0.035480
25	Zeitschrift für Medizinische Physik	781	4.820	0.001270
26	JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING	21,238	4.813	0.023350
27	COMPUTERIZED MEDICAL IMAGING AND GRAPHICS	3,232	4.790	0.003470
28	MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE	38,556	4.668	0.027450
29	Molecular Imaging	1,323	4.488	0.001050
30	SEMINARS IN NUCLEAR MEDICINE	2,729	4.446	0.002640
31	Journal of Cardiovascular Computed Tomography	2,352	4.309	0.004610
32	MEDICAL PHYSICS	30,918	4.071	0.025740
33	JOURNAL OF DIGITAL IMAGING	3,680	4.056	0.004420
34	NMR IN BIOMEDICINE	8,939	4.044	0.009700
35	Diagnostic and Interventional Imaging	2,437	4.026	0.003290
36	AMERICAN JOURNAL OF ROENTGENOLOGY	39,721	3.959	0.024610
37	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYPERTHERMIA	6,199	3.914	0.006060
38	CANCER IMAGING	2,143	3.909	0.002280
39	Quantitative Imaging in Medicine and Surgery	2,318	3.837	0.003810
40	AMERICAN JOURNAL OF NEURORADIOLOGY	27,423	3.825	0.024030
41	Biomedical Optics Express	12,803	3.732	0.021630
42	Ultrasonography	887	3.675	0.001650

## Druckexemplar der Publikation

European Radiology  
<https://doi.org/10.1007/s00330-022-08895-0>

MUSCULOSKELETAL



# Rotational abnormalities in dysplastic hips and how to predict acetabular torsion

Carsten Y. W. Heimer<sup>1</sup> · Friedemann Göhler<sup>2</sup> · J. Turner Vosseller<sup>3</sup> · Sebastian Hardt<sup>1</sup> · Carsten Perka<sup>1</sup> · Henrik C. Bäcker<sup>1</sup>

Received: 14 February 2022 / Revised: 2 May 2022 / Accepted: 18 May 2022  
 © The Author(s) 2022, corrected publication 2022

### Abstract

**Objectives** The aim of this study was to investigate the degree to which conventional radiography can represent the acetabular and femoral rotational alignment profile between dysplastic and borderline-dysplastic hips.

**Methods** A retrospective trial was conducted including 56 borderline-dysplastic and dysplastic hips at a mean age of 28.9 years (range from 18 to 46). Inclusion criteria consisted of symptomatic patients with hip dysplasia undergoing 2-dimensional radiography as well as computed tomography. On radiography, the lateral center edge angle, acetabular hip index, hip lateralization index, acetabular index angle, and the Sharp angle were measured, and the presence of a crossover sign was noted. In computed tomography, the full rotational profile of the lower limb was measured.

**Results** Significant correlations were observed in the overall analysis between the anteversion of the acetabulum and the hip lateralization index (mean 0.56, coefficient of regression (CoR)  $-32.35$ ,  $p = 0.011$ ) as well as the acetabular index angle with a mean of 11.50 (CoR 0.544,  $p = 0.018$ ). Similar results were found in the subgroup of dysplastic hips with an acetabular index angle of 13.9 ( $p = 0.013$ , CoR 0.74). For the borderline-dysplastic group, no significant correlations between the pelvis radiography and rotational CT were seen.

**Conclusion** Although the femoral and acetabular torsion cannot be predicted from x-rays, the anteversion of the acetabulum correlates with the acetabular index angle, the hip lateralization index, and eventually the beta angle in dysplastic hips. For borderline-dysplastic hips, such results did not show up, which strongly illustrates the need for computed tomography in these cases.

### Key Points

- Much of the current literature focuses on rotational alignment especially with respect to the femur and tibia in healthy patients, although little is known about the acetabular, femoral, and tibial torsion in dysplastic hips.
- This is the first study showing significant correlations between the anteversion of the acetabulum and the hip lateralization index as well as the acetabular inclination angle. Also, it is the first study to provide a mechanism for estimation of the torsion of the acetabulum with plain radiography in dysplastic hips.
- In borderline-dysplastic hips, no significant correlation was found, which raises the question if a simple x-ray has enough validity to address the acetabular deformity with surgery.

**Keywords** Radiography CT · Periacetabular · Hip · Dysplasia · Torsion

### Abbreviations

AHI	Acetabular hip index	CE	Center-edge
AIA	Acetabular index angle	CoR	Coefficient of regression
AIDR	Adaptive iterative dose reduction	CT	Computed tomography
CCD	Centrum-collum-diaphyseal	DDH	Developmental dysplasia of the hip
		HLI	Hip lateralization index

✉ Henrik C. Bäcker  
[Henrik.baecker@sports-med.org](mailto:Henrik.baecker@sports-med.org)

<sup>1</sup> Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Charité Berlin, University Hospital, Chariteplatz 1, 10117 Berlin, Germany

<sup>2</sup> Department of Radiology, Charité Berlin, University Hospital, Chariteplatz 1, 10117 Berlin, Germany

<sup>3</sup> Jacksonville Orthopaedic Institute, San Marco Blvd, Jacksonville, FL 32207, USA

IRB	Internal review board
PAO	Periacetabular osteotomy
SD	Standard deviation of the mean

## Background

Developmental dysplasia of the hip (DDH) is an orthopedic disease with a variation in incidence among different ethnicities [1]. Even though Germany started screening infants in 1996 using ultrasonography at the latest at the age of 5 weeks, Partenheimer et al reported that up to 18% of infants with severe hip dysplasia are under- or misdiagnosed [2]. If conservative treatment fails, surgery might be required in adolescence or adulthood [3] in an effort to both improve function and also decrease the risk for future degenerative change [4]. Indeed, DDH is one of the leading causes of secondary osteoarthritis of the hip [5].

For diagnosis, plain radiographs are performed, including two conventional radiographs—one of the pelvis, in anteroposterior and one axial view of the affected hip in abduction [6, 7]. The relevant radiographic measurements include the lateral center edge angle, anterior center edge angle, acetabular hip index, and acetabular index angle (AIA) [8]. For more precise measurements, a computed tomography (CT) can be requested to assess the femoral and acetabular torsion [9]. However, this is not performed routinely and data on the rotational profile of the CT in correlation to plain radiography is lacking in the literature, especially in DDH or borderline hips [10–14]. Some authors have provided a comparison between the lesser trochanter size on plain radiographs to the femoral version on a CT [15], although further description is largely lacking. Furthermore, there is no objective definition for the diagnosis of DDH based on these rotational values. This lack of a clear cut-off can sometimes cloud decision-making. Given the significance of the surgical intervention required, whether it be the triple osteotomy of Tönnis [16] or the Bernese periacetabular osteotomy (PAO) of Ganz [7] both of which correct the pathological torsion and improve femoral head coverage, more clarity in terms of decision-making would be advantageous.

Therefore, the aim of this study was to assess how torsion of the acetabulum and femur, as assessed by CT, correlated with and can be estimated from conventional measurements on plain radiography in dysplastic hips compared to borderline-dysplastic hips.

## Methods

A retrospective trial was conducted after internal review board (IRB) approval was obtained from the local ethical committee.

Between 2017 and 2019, all patients 18 years of age or older presenting to a major hip preservation center and diagnosed with hip dysplasia or borderline hip dysplasia who underwent CT for the assessment of rotational alignment and subsequent surgery were included in our study. Inclusion criteria consisted of full available medical reports as well as preoperative radiography and CT of the lower limb. Exclusion criteria were incomplete records as well as no accessible CT.

Data on demographics including age, gender, body weight, body height, and body mass index (BMI) were noted. On conventional radiography, common standard measurements were analyzed by a single orthopedic surgery-trained observer with a focus on hip preservation surgery (first author). These included the center-edge (CE) angle, the acetabular index angle, the Sharp angle, the hip lateralization and the acetabular hip index, and the centrum-collum-diaphyseal angle (CCD) on anteroposterior view as well as the alpha and beta angle on axial view. Furthermore, the presence of a crossing-over sign, CAM, or pincer femoroacetabular impingement was identified as illustrated in Fig. 1.

### Image acquisition

All patients underwent a non-enhanced CT of the lower limb, either on a 320-row or on an 80-row CT scanner (Canon Aquilion ONE Vision Edition respectively Canon Aquilion PRIME, Canon Medical Systems). The protocol included a scanogram and a helical acquisition of the lower limb. The scan was performed with 120-KVp tube voltage and automated tube current modulation set low dose mode (standard deviation of 25).

### Image postprocessing

CT images were computed with 0.5 to 1.0mm slice thickness using iterative reconstruction (Adaptive Iterative Dose Reduction (AIDR) 3D standard) and a bone kernel (Filter Convolution (FC) 08-H).

### Measurements in rotational CT

A musculoskeletal fellowship-trained radiologist who was blinded to the diagnosis evaluated the rotational CTs in axial images of the lower limb scan. Acetabular rotation was determined at the level of the acetabular center as an angle between a tangent along the posterior and the anterior acetabular edge and a tangent along the right and left sciatic spina. Angles for measures of femoral torsion, tibial torsion, and tibiofemoral torsion were determined against an image baseline, parallel to the inferior image border.

Femoral torsion was calculated as the difference between femoral neck rotation (angle between a line through femoral

**Fig. 1** Measurements performed on plain radiographs and in rotational CT



neck and femoral head center and image baseline) and the rotation of the femoral condyles (angle between tangent along the posterior condyle border and image baseline).

The tibial torsion was calculated as the difference between tibial plateau rotation (angle between a tangent along the posterior edge of the tibial plateau and image baseline) and the rotation of the upper ankle (angle between a line through the talus and the lateral malleolus and the image baseline).

Furthermore, the tibiofemoral rotation difference was calculated as the difference between the rotation of the femoral condyles and the rotation of the tibial plateau.

Hip dysplasia was defined according to common values, as published in studies for clinical evaluation and orientation and summarized by Tannast et al [17–20]

A borderline-dysplastic hip was defined as a CE angle between 20 and 24.9°, a Sharp angle between 39 and 42°, or the presence of a crossing-over sign with normal values. A

dysplastic hip was defined as a CE-angle of less than 20°, the acetabular index angle (AIA) greater than 10°, the Sharp angle greater than 42°, or the acetabular hip index (AHI) greater than 25°. All reference values are summarized in Table 1 [17, 18].

For normal rotational measurements, the acetabular and the femoral torsions were defined to be between 10 and 25° [21, 22].

### Statistical analysis

For statistical analysis, we used Microsoft® Excel (version 16.36) and IBM SPSS Statistics 26 Core System. Normally distributed continuous variables are presented with the mean and standard deviation of the mean (SD). A mixed model was applied, because it encounters the dependent variable of the person. The level of significance was set to \*  $p$  value  $\leq 0.05$ .

**Table 1** The values of the definition of the dysplasia, borderline and normal in a table based on Henle et al [17] and added with the Sharp angles as in Mannava et al [16]

Parameter in plain radiography	Dysplasia	Borderline-dysplasia	Normal	FAI
CE-Angle [°]	< 20	20–24.9	25–39	> 39
AIA [°]	> 10		0–10	< 0
AHI [%]	> 25		10–26	< 10
Sharp angle [°]	> 42	39–42	33–38.9	

## Results

Between 2017 and 2019, 99 patients presented with borderline or dysplastic hips to our center. In 38 patients a rotational computed tomography was obtained of which 34 patients met inclusion criteria with 56 borderline or dysplastic hips. Females made up the majority of patients (89.3%, or 50/56) and the overall mean age was  $28.9 \pm 7.8$  years (range 18 to 40 years). The average height was 170.2 cm (5' 6"), at a mean body weight of 68.1 kg (150.1 lbs) and a mean BMI of  $23.6 \text{ kg/m}^2$ . Hereby, significant differences ( $p < 0.01$ ) were observed in gender with a mean age of  $34.5 \pm 4.5$  years in males vs.  $28.2 \pm 7.9$  years in females, a body height of  $184.8 \pm 3.3$  cm (6' 0") vs.  $167.9 \pm 6.8$  cm (5' 5"), a body weight of  $83.5 \pm 9.5$  kg (184.1 lbs) vs.  $66.2 \pm 10.8$  kg (145.9 lbs), and a mean BMI of  $24.5 \pm 3.0 \text{ kg/m}^2$  vs.  $23.6 \pm 4.1 \text{ kg/m}^2$ .

Of the 56 hips, 43 were dysplastic and 13 were borderline-dysplastic. All individual demographics are summarized in Table 2.

For standard DDH measurements on plain radiography, the acetabular index angle and CE angle were more abnormal for the hip dysplasia group compared to the borderline-dysplasia group at  $13.1^\circ \pm 4.80$  compared to  $6.3^\circ \pm 2.38$  and  $20.9^\circ \pm 5.37$  vs.  $27.6^\circ \pm 3.74$  (all  $p < 0.001$ ), respectively. Additionally, the acetabular hip index and sharp angle were significantly different. All individual findings are summarized in Table 2. For the rotational measurements, only significant differences in the femoral-tibial rotational difference were found with  $6.7^\circ \pm 5.34$  vs.  $4.2^\circ \pm 3.09$  ( $p = 0.04$ ). Furthermore, Table 2 shows all findings measured on computed tomography.

## Overall

After applying the mixed model, significant correlations between the CE-angle and the acetabular index angle, the Sharp angle as well as the acetabular hip index were found. For the torsion of the acetabulum ( $18.78^\circ \pm 5.62^\circ$ ), a significant correlation was observed with regard to the acetabular index angle at a mean of  $11.50^\circ \pm 5.22$  and a coefficient of regression (CoR) of 0.544 ( $p = 0.018$ , CI [0.096, 0.992]) and the hip lateralization index (HLI) at a mean of  $0.56 \pm 0.07$  (regression coefficient of  $-32.35$  ( $p = 0.011$ , CI [ $-56.836$ ,  $-7.864$ ])).

Therefore, a decrease of 0.1 in hip lateralization index leads to an increase in anteversion of the acetabulum by  $3.24^\circ$  (Table 3). Other significant findings were identified between the femoral neck torsion ( $16.48^\circ \pm 11.11^\circ$ ) and the beta angle, at a mean of  $100.68^\circ \pm 10.99^\circ$ , and additionally, between the torsion of the acetabulum and the beta angle, at a mean of  $57.52^\circ \pm 7.64^\circ$ . All findings are illustrated in Table 3.

## Dysplastic hips

For dysplastic hips, only a few significant correlations were noted. The highest correlations were observed between the torsion of the acetabulum and the acetabular index angle, with a CoR of 0.74 (CI [0.217, 1.262]) and  $p = 0.007$ , and the hip lateralization index with a regression coefficient of  $-35.137$  (CI [ $-62.418$ ,  $-7.856$ ]) and a  $p = 0.013$ . Other significant findings included statistical correlations for tibial plateau torsion and the acetabular hip index with a CoR of  $-1.261$  ( $p$  value 0.049, CI [ $-2.516$ ,  $-0.007$ ]). In addition, the femoral neck torsion correlated with the CCD angle and the femoral-tibial rotation difference with the beta angle, as indicated in Table 4.

## Borderline-dysplastic hips

When looking for borderline-dysplastic hips, only three significant correlations have been found. These included, like in the dysplastic group, the CE-angle with the acetabular hip index (CoR  $-0.69$ ,  $p = 0.022$ , CI [ $-1.243$ ;  $-0.136$ ]) and the femoral-tibial rotation difference with the beta angle but with a reversed coefficient of regression ( $-0.434$ ,  $p = 0.009$ , CI [ $-0.701$ ;  $-0.167$ ]). All results are summarized in Table 5.

Based on our findings on acetabular torsion and correlation to the AIA and hip lateralization angle, we developed a formula to estimate rotation from plain radiography. The AIA, the hip lateralization index, the beta angle, and the CE angle were used in the following formula.

$$\begin{aligned} & \text{Torsion of the acetabulum } (\pm 4^\circ) \\ &= 34.72 + 0.479 \times \text{CE} + 0.544 \times \text{AIA} + (-32.35) \\ & \quad \times \text{HLI} + (-0.298) \times \text{alpha-angle} \end{aligned}$$

**Table 2** Mean  $\pm$  standard deviation and (minimum – maximum) for the demographics, the x-ray measurements, and rotational profile in all three groups;  $p$  value of the two-sided t-test ; \* positive values stand for external, negative values for internal rotation; \*\* positive values stand for anteversion, negative values for a retroversion  $p$  value of the two-sided t-test. Significant correlations were defined as  $p < 0.05$  (in bold)

	Overall	Dysplasia	Borderline-dysplasia	$p$ value
X-ray measurements				
Gender (female/male)	50/6	40/3	10/3	
Side (right/left)	29/27	22/21	7/6	
Age	28.86 $\pm$ 7.84	29.49 $\pm$ 8.32	28.00 $\pm$ 6.31	
Height [cm]	170.24 $\pm$ 8.31	169.88 $\pm$ 7.29	171.55 $\pm$ 11.64	
Weight [kg]	68.08 $\pm$ 11.83	67.18 $\pm$ 10.68	71.36 $\pm$ 15.49	
BMI	23.55 $\pm$ 4.22	23.41 $\pm$ 4.36	24.05 $\pm$ 3.82	
CE angle [°]	22.48 $\pm$ 5.77 (5.2–34.6)	<b>20.92 <math>\pm</math> 5.37</b> <b>(5.2–28.1)</b>	<b>27.64 <math>\pm</math> 3.74</b> <b>(22.8–34.6)</b>	< <b>0.001</b>
AIA [°]	11.50 $\pm$ 5.22 (1.4–24.7)	<b>13.09 <math>\pm</math> 4.8</b> <b>(1.9–24.7)</b>	<b>6.26 <math>\pm</math> 2.38</b> <b>(1.4–9.7)</b>	< <b>0.001</b>
Sharp angle [°]	42.33 $\pm$ 3.66 (35.1–52.3)	<b>42.99 <math>\pm</math> 3.86</b> <b>(35.1–52.3)</b>	<b>40.18 <math>\pm</math> 1.67</b> <b>(36.0–42.0)</b>	< <b>0.001</b>
Hip lat.	0.56 $\pm$ 0.07 (0.428–0.717)	0.56 $\pm$ 0.06 (0.428–0.676)	0.56 $\pm$ 0.07 (0.5–0.717)	0.971
AHI	23.69 $\pm$ 7.03 (9.47–45.56)	<b>25.29 <math>\pm</math> 6.87</b> <b>(13.64–45.56)</b>	<b>18.42 <math>\pm</math> 4.72</b> <b>(9.47–24.83)</b>	< <b>0.001</b>
CCD angle [°]	133.53 $\pm$ 5.78 (120.47–147.80)	133.76 $\pm$ 5.89 (120.47–147.80)	132.75 $\pm$ 5.55 (121.0–139.6)	0.627
Alpha angle [°]	57.52 $\pm$ 7.64 (40.8–74.2)	57.30 $\pm$ 7.78 (40.8–74.2)	58.33 $\pm$ 7.53 (46.3–69.8)	0.743
Beta angle [°]	100.68 $\pm$ 10.99 (77.8–119.6)	101.18 $\pm$ 11.21 (77.8–119.6)	98.88 $\pm$ 10.68 (86.2–118)	0.606
Rotational CT measurements				
Torsion of the acetabulum [°] *	18.78 $\pm$ 5.62 (6–32)	18.50 $\pm$ 5.93 (6–32)	19.69 $\pm$ 4.59 (12–29)	0.509
Torsion of the femoral neck [°] *	16.48 $\pm$ 11.11 (–28–34)	17.07 $\pm$ 11.27 (–28 to 34)	14.54 $\pm$ 10.78 (–11 to 30)	0.477
Torsion of the femoral condyles [°] *	–13.16 $\pm$ 9.51 (–31 to 12)	–13.16 $\pm$ 10.37 (–31 to 12)	–13.15 $\pm$ 6.16 (–24 [–2])	0.998
Femoral torsion [°] **	28.84 $\pm$ 12.82 (3–57)	29.65 $\pm$ 13.44 (3–57)	26.15 $\pm$ 10.51 (12–43)	0.394
Torsion of the tibial plateau [°] *	–7.57 $\pm$ 10.14 (–25 to 18)	–7.12 $\pm$ 10.96 (–25 to 18)	–9.08 $\pm$ 6.86 (–25 to 0)	0.546
Femoral-tibial torsion difference[°]	6.16 $\pm$ 5 (0–30)	<b>6.74 <math>\pm</math> 5.34</b> <b>(0–30)</b>	<b>4.23 <math>\pm</math> 3.09</b> <b>(0–10)</b>	<b>0.040</b>
Torsion of the upper ankle [°] *	29.24 $\pm$ 10.53 (7–53)	29.53 $\pm$ 10.83 (7–53)	28.27 $\pm$ 9.82 (12–43)	0.732
Tibial torsion [°] **	37.24 $\pm$ 7.74 (19–60)	37.18 $\pm$ 7.4 (19–60)	37.45 $\pm$ 9.21 (19–53)	0.92
Torsion of the whole leg (torsion of the femoral neck - torsion of the upper ankle)	–13.22 $\pm$ 13.87 (–39 to 21)	–13.16 $\pm$ 14.58 (–39 to 21)	–13.45 $\pm$ 11.69 (–30 to 11)	0.951

Hereby, the constant term results from the mixed model of the torsion of the acetabulum in relation to the plain radiography for the overall cohort. Similarly, the indices result from the individual mixed model.

Application of this formula in the current study matched perfectly with the rotational profile in 70% of cases. In a further 6 patients, the acetabular torsion varied  $\pm 8^\circ$  (89%) whereas in the remaining cases, an excessive anteversion of  $28^\circ$  and higher was found. This formula was not found to apply to borderline-dysplastic hips.

Measurements of two patients with dysplastic and borderline-dysplastic hips are illustrated in Figs. 2 and 3.

## Discussion

Although the developmental dysplasia of the hip is one of the leading causes of secondary osteoarthritis of the hip, correlation between the rotational alignment of the lower limb

**Table 3** Correlations between the different computed tomography findings, CE angle, and the radiographic measurements among all hips. All values are presented with the regression coefficient, *p* value, and confidence interval. Significant correlations were defined as *p* < 0.05 (in bold)

Overall	CE angle	Acetabular index angle	Hip lateralization index	Sharp angle	Acetabular hip index	Alpha angle	Beta angle	CCD-angle
Torsion of the acetabulum	0.479 <i>p</i> = 0.140 CI [-0.165; 1.123]	<b>0.544</b> <i>p</i> = <b>0.018</b> CI [ <b>0.096</b> ; <b>0.992</b> ]	<b>-32.35</b> <i>p</i> = <b>0.011</b> CI [ <b>-56.836</b> ; <b>-7.864</b> ]	-0.022 <i>p</i> = 0.941 CI [-0.601; 0.558]	0.053 <i>p</i> = 0.833 CI [-0.453; 0.56]	<b>-0.298</b> <i>p</i> = <b>0.017</b> CI [ <b>-0.538</b> ; <b>-0.058</b> ]	-0.072 <i>p</i> = 0.446 CI [-0.262; 0.118]	-0.113 <i>p</i> = 0.354 CI [-0.355; 0.129]
Femoral torsion	-1.072 <i>p</i> = 0.170 CI [-2.626; 0.483]	-0.254 <i>p</i> = 0.632 CI [-1.313; 0.805]	-14.296 <i>p</i> = 0.634 CI [-74.262; 45.670]	-0.682 <i>p</i> = 0.342 CI [-2.111; 0.746]	-0.221 <i>p</i> = 0.719 CI [-1.452; 1.01]	-0.089 <i>p</i> = 0.752 CI [-0.657; 0.479]	-0.318 <i>p</i> = 0.124 CI [-0.092; 0.729]	0.524 <i>p</i> = 0.083 CI [-0.072; 1.119]
Femoral neck torsion	-0.855 <i>p</i> = 0.174 CI [-2.111; 0.401]	0.172 <i>p</i> = 0.700 CI [-0.721; 1.065]	38.326 <i>p</i> = 0.136 CI [-12.519; 89.171]	-0.096 <i>p</i> = 0.873 CI [-1.290; 1.099]	-0.64 <i>p</i> = 0.213 CI [-1.66; 0.380]	-0.239 <i>p</i> = 0.254 CI [-0.656; 0.179]	<b>0.351</b> <i>p</i> = <b>0.025</b> CI [ <b>0.046</b> ; <b>0.655</b> ]	0.369 <i>p</i> = 0.141 CI [-0.127; 0.865]
Torsion of the femoral condyles	-0.289 <i>p</i> = 0.501 CI [-1.158; 0.581]	0.199 <i>p</i> = 0.558 CI [-0.481; 0.879]	23.282 <i>p</i> = 0.236 CI [-15.781; 62.346]	-0.023 <i>p</i> = 0.960 CI [-0.92; 0.874]	-0.47 <i>p</i> = 0.211 CI [-1.218; 0.278]	-0.104 <i>p</i> = 0.644 CI [-0.555; 0.348]	0.059 <i>p</i> = 0.717 CI [-0.272; 0.391]	0.086 <i>p</i> = 0.635 CI [-0.279; 0.452]
Tibial torsion	-1.074 <i>p</i> = 0.086 CI [-2.307; 0.158]	0.146 <i>p</i> = 0.687 CI [-0.581; 0.873]	-3.416 <i>p</i> = 0.874 CI [-46.922; 40.091]	-0.289 <i>p</i> = 0.581 CI [-1.337; 0.759]	-0.73 <i>p</i> = 0.109 CI [-1.631; 0.171]	-0.270 <i>p</i> = 0.172 CI [-0.665; 0.124]	0.126 <i>p</i> = 0.335 CI [-0.137; 0.389]	0.362 <i>p</i> = 0.100 CI [-0.073; 0.797]
Torsion of the tibial plateau	-0.731 <i>p</i> = 0.228 CI [-1.940; 0.478]	0.050 <i>p</i> = 0.904 CI [-0.786; 0.887]	13.266 <i>p</i> = 0.577 CI [-34.193; 60.725]	0.089 <i>p</i> = 0.875 CI [-1.037; 1.215]	-0.703 <i>p</i> = 0.150 CI [-1.670; 0.264]	0.019 <i>p</i> = 0.938 CI [-0.467; 0.505]	-0.095 <i>p</i> = 0.581 CI [-0.442; 0.253]	0.066 <i>p</i> = 0.780 CI [-0.403; 0.534]
Torsion of the upper ankle	-0.587 <i>p</i> = 0.299 CI [-1.730; 0.556]	0.165 <i>p</i> = 0.685 CI [-0.649; 0.978]	-18.707 <i>p</i> = 0.460 CI [-69.397; 31.983]	-0.139 <i>p</i> = 0.804 CI [-1.258; 0.981]	-0.375 <i>p</i> = 0.422 CI [-1.312; 0.562]	-0.427 <i>p</i> = 0.084 CI [-0.916; 0.062]	0.004 <i>p</i> = 0.983 CI [-0.353; 0.346]	0.330 <i>p</i> = 0.148 CI [-0.123; 0.783]
Femoral-tibial torsion difference	-0.12 <i>p</i> = 0.769 CI [-0.936; 0.696]	-0.149 <i>p</i> = 0.519 CI [-0.614; 0.315]	-14.401 <i>p</i> = 0.256 CI [-39.850; 11.048]	-0.080 <i>p</i> = 0.806 CI [-0.734; 0.573]	0.031 <i>p</i> = 0.915 CI [-0.547; 0.608]	0.154 <i>p</i> = 0.225 CI [-0.1; 0.409]	-0.137 <i>p</i> = 0.124 CI [-0.314; 0.039]	0.029 <i>p</i> = 0.826 CI [-0.240; 0.299]
CE angle		<b>-0.195</b> <i>p</i> = <b>0.009</b> CI [ <b>-0.338</b> ; <b>-0.051</b> ]	1.460 <i>p</i> = 0.718 CI [-6.704; 9.624]	<b>-0.465</b> <i>p</i> < <b>0.001</b> CI [ <b>-0.642</b> ; <b>-0.288</b> ]	<b>-0.51</b> <i>p</i> < <b>0.001</b> CI [ <b>-0.639</b> ; <b>-0.380</b> ]	0.034 <i>p</i> = 0.793 CI [-0.230; 0.299]	<b>-0.32</b> <i>p</i> = <b>0.002</b> CI [ <b>-0.507</b> ; <b>-0.132</b> ]	0.032 <i>p</i> = 0.462 CI [-0.056; 0.120]

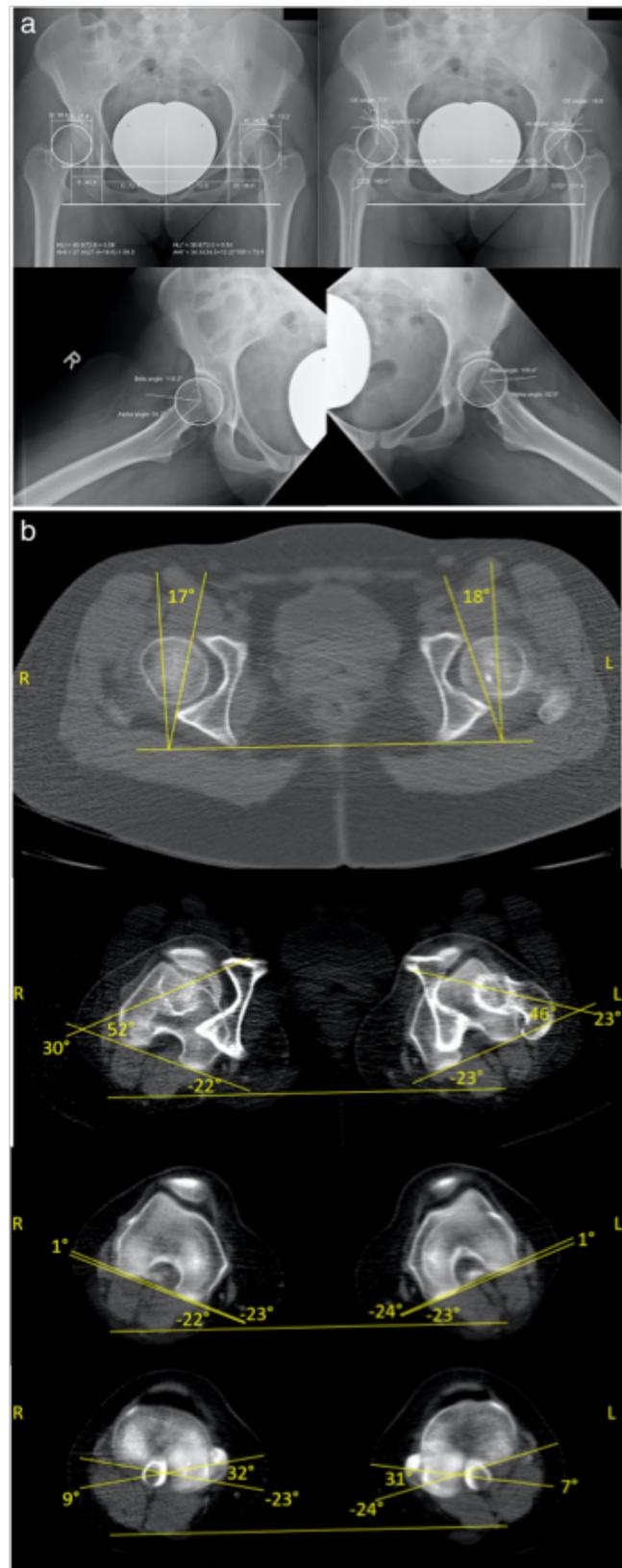
**Table 4** Correlations between the different computed tomography findings, CE angle, and the radiographic measurements among all dysplastic hips. All values are presented with the regression coefficient, *p* value, and confidence interval. Significant correlations were defined as *p* < 0.05 (in bold)

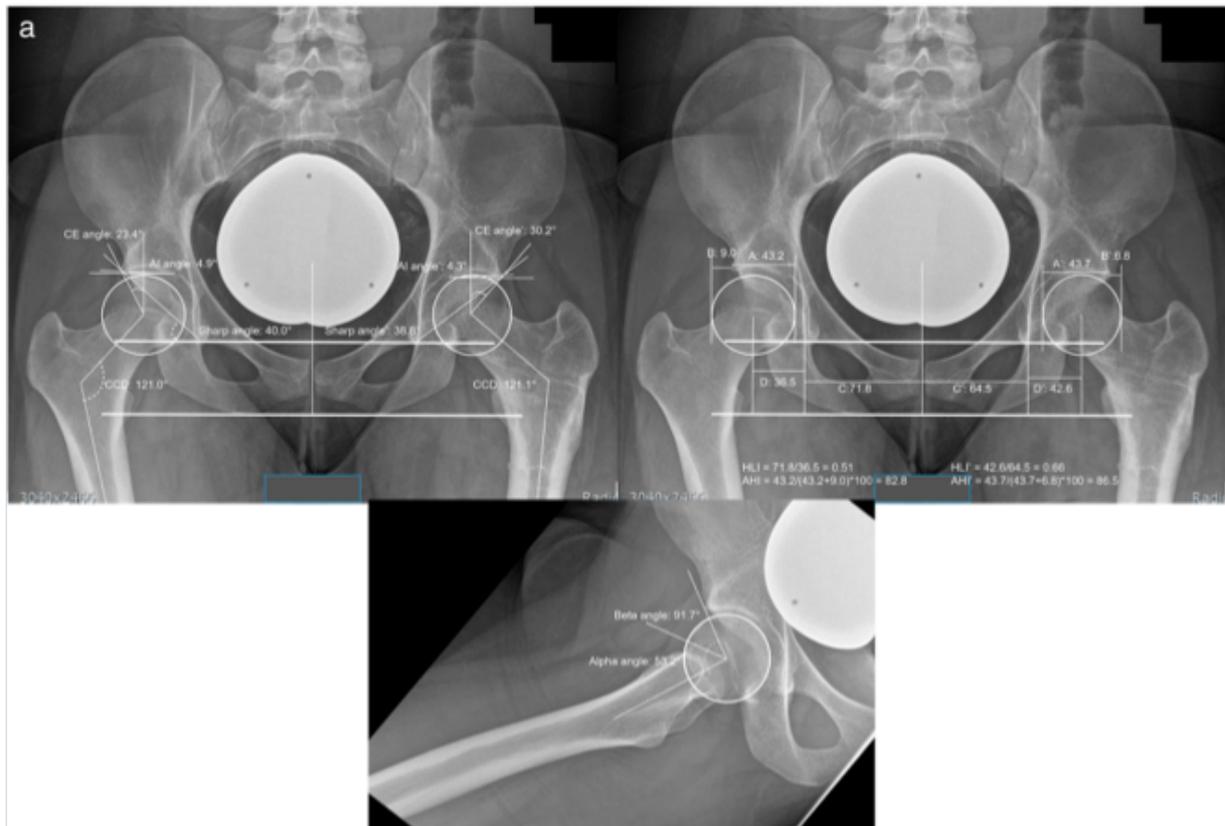
Dysplastic hips	CE angle	Acetabular index angle	Hip lateralization index	Sharp angle	Acetabular hip index	Alpha angle	Beta angle	CCD-angle
Torsion of the acetabulum	0.598	<b>0.74</b>	<b>-35.137</b>	0.054	0.021	-0.265	-0.082	-0.073
	<i>p</i> = 0.122 CI [-0.173, 1.369]	<i>p</i> = <b>0.007</b> CI [ <b>0.217, 1.262</b> ]	<i>p</i> = <b>0.013</b> CI [ <b>-62.418, -7.856</b> ]	<i>p</i> = 0.861 CI [-0.565, 0.673]	<i>p</i> = 0.943 CI [-0.579, 0.622]	<i>p</i> = 0.070 CI [-0.554, 0.023]	<i>p</i> = 0.470 CI [-0.312, 0.148]	<i>p</i> = 0.585 CI [-0.343, 0.197]
Femoral torsion	0.005	-0.634	-10.281	-0.685	0.728	0.179	0.289	0.604
	<i>p</i> = 0.996 CI [-1.953, 1.964]	<i>p</i> = 0.319 CI [-1.906, 0.638]	<i>p</i> = 0.767 CI [-80.1, 59.537]	<i>p</i> = 0.394 CI [-2.296, 0.926]	<i>p</i> = 0.341 CI [-0.802, 2.258]	<i>p</i> = 0.574 CI [-0.47, 0.828]	<i>p</i> = 0.214 CI [-0.179, 0.757]	<i>p</i> = 0.089 CI [-0.096, 1.304]
Femoral neck torsion	-0.683	0.332	23.935	-0.328	-0.588	-0.053	0.286	<b>0.597</b>
	<i>p</i> = 0.391 CI [-2.299, 0.934]	<i>p</i> = 0.524 CI [-0.714, 1.378]	<i>p</i> = 0.403 CI [-33.479, 81.349]	<i>p</i> = 0.619 CI [-1.652, 0.997]	<i>p</i> = 0.350 CI [-1.846, 0.671]	<i>p</i> = 0.812 CI [-0.508, 0.402]	<i>p</i> = 0.086 CI [-0.044, 0.617]	<i>p</i> = <b>0.043</b> CI [ <b>0.020, 1.173</b> ]
Torsion of the femoral condyles	-0.656	0.487	11.538	-0.127	-0.878	-0.163	0.043	0.151
	<i>p</i> = 0.235 CI [-1.781, 0.47]	<i>p</i> = 0.267 CI [-0.389, 1.362]	<i>p</i> = 0.623 CI [-35.798, 58.873]	<i>p</i> = 0.812 CI [-1.206, 0.952]	<i>p</i> = 0.085 CI [-1.884, 0.127]	<i>p</i> = 0.549 CI [-0.715, 0.389]	<i>p</i> = 0.829 CI [-0.363, 0.45]	<i>p</i> = 0.489 CI [-0.292, 0.593]
Tibial torsion	-0.705	0.189	11.074	-0.005	-0.489	-0.307	0.092	0.046
	<i>p</i> = 0.406 CI [-2.431, 1.021]	<i>p</i> = 0.654 CI [-0.672, 1.051]	<i>p</i> = 0.654 CI [-39.941, 62.089]	<i>p</i> = 0.993 CI [-1.226, 1.215]	<i>p</i> = 0.375 CI [-1.596, 0.619]	<i>p</i> = 0.184 CI [-0.771, 0.157]	<i>p</i> = 0.555 CI [-0.226, 0.411]	<i>p</i> = 0.859 CI [-0.482, 0.575]
Torsion of the tibial plateau	-1.185	0.396	-1.032	0.086	<b>-1.261</b>	0.149	-0.197	0.151
	<i>p</i> = 0.128 CI [-2.741, 0.370]	<i>p</i> = 0.452 CI [-0.66, 1.452]	<i>p</i> = 0.971 CI [-58.814, 56.751]	<i>p</i> = 0.896 CI [-1.24, 1.412]	<i>p</i> = 0.049 CI [ <b>-2.516, -0.007</b> ]	<i>p</i> = 0.603 CI [-0.434, 0.733]	<i>p</i> = 0.339 CI [-0.613, 0.220]	<i>p</i> = 0.594 CI [-0.42, 0.721]
Torsion of the upper ankle	-0.685	0.297	-17.376	-0.09	-0.452	-0.39	-0.147	0.247
	<i>p</i> = 0.347 CI [-2.178, 0.808]	<i>p</i> = 0.553 CI [-0.713, 1.307]	<i>p</i> = 0.561 CI [-77.674, 42.923]	<i>p</i> = 0.891 CI [-1.41, 1.231]	<i>p</i> = 0.452 CI [-1.663, 0.759]	<i>p</i> = 0.156 CI [-0.939, 0.159]	<i>p</i> = 0.460 CI [-0.551, 0.258]	<i>p</i> = 0.365 CI [-0.305, 0.798]
Femoral-tibial torsion difference	0.055	-0.358	-17.671	-0.14	0.197	<b>0.312</b>	-0.194	0.062
	<i>p</i> = 0.921 CI [-1.059, 1.169]	<i>p</i> = 0.200 CI [-0.918, 0.202]	<i>p</i> = 0.236 CI [-47.859, 12.516]	<i>p</i> = 0.710 CI [-0.9, 0.620]	<i>p</i> = 0.584 CI [-0.53, 0.924]	<i>p</i> = <b>0.034</b> CI [ <b>0.026, 0.599</b> ]	<i>p</i> = 0.055 CI [-0.393, 0.005]	<i>p</i> = 0.691 CI [-0.260, 0.384]
CE angle	-0.146	-0.146	-1.406	<b>-0.446</b>	<b>-0.514</b>	-0.032	<b>-0.339</b>	0.024
	<i>p</i> = 0.065 CI [-0.301, 0.01]	<i>p</i> = 0.742 CI [-10.000, 7.188]	<i>p</i> = 0.001 CI [ <b>-0.614, -0.277</b> ]	<i>p</i> = 0.001 CI [ <b>-0.642, -0.385</b> ]	<i>p</i> = 0.001 CI [ <b>-0.642, -0.216</b> ]	<i>p</i> = 0.792 CI [-0.280, 0.216]	<i>p</i> = <b>0.001</b> CI [ <b>-0.516, -0.163</b> ]	<i>p</i> = 0.592 CI [-0.067, 0.115]

**Table 5** Correlations between the different computed tomography findings, CE angle and the radiographic measurements among all borderline-dysplastic hips. All values are presented with the regression coefficient, *p* value, and confidence interval. Significant correlations were defined as *p* < 0.05 (in bold)

Borderline hips	CE angle	Acetabular index angle	Hip lateralization index	Sharp angle	Acetabular hip index	Alpha angle	Beta angle	CCD-angle
Torsion of the acetabulum	<i>p</i> = 0.593	-0.879	-39.539	-0.985	0.084	-0.523	-0.005	0.008
	<i>p</i> = 0.433 CI [-2.320; 1.134]	<i>p</i> = 0.220 CI [-2.449; 0.690]	<i>p</i> = 0.207 CI [-107.917; 28.84]	<i>p</i> = 0.349 CI [-3.359; 1.388]	<i>p</i> = 0.903 CI [-1.518; 1.685]	<i>p</i> = 0.068 CI [-1.102; 0.057]	<i>p</i> = 0.977 CI [-0.414; 0.404]	<i>p</i> = 0.979 CI [-0.719; 0.735]
Femoral torsion	-4.477	0.2	16.845	-2.197	-3.088	-1.061	0.332	0.908
	<i>p</i> = 0.051 CI [-8.981; 0.026]	<i>p</i> = 0.899 CI [-3.507; 3.907]	<i>p</i> = 0.798 CI [-136.993; 170.683]	<i>p</i> = 0.357 CI [-7.589; 3.194]	<i>p</i> = 0.078 CI [-6.653; 0.477]	<i>p</i> = 0.123 CI [-2.531; 0.409]	<i>p</i> = 0.449 CI [-0.706; 1.368]	<i>p</i> = 0.337 CI [-1.219; 3.034]
Femoral neck torsion	-3.297	-2.432	113.94	0.014	-2.134	-0.956	0.48	0.351
	<i>p</i> = 0.115 CI [-7.670; 1.075]	<i>p</i> = 0.149 CI [-6.031; 1.168]	<i>p</i> = 0.111 CI [-35.435; 263.314]	<i>p</i> = 0.995 CI [-5.222; 5.251]	<i>p</i> = 0.182 CI [-5.596; 1.327]	<i>p</i> = 0.135 CI [-2.334; 0.422]	<i>p</i> = 0.261 CI [-0.492; 1.452]	<i>p</i> = 0.692 CI [-1.717; 2.419]
Torsion of the femoral condyles	-0.104	-0.452	57.659	1.034	-0.246	0.105	0.149	-0.197
	<i>p</i> = 0.911 CI [-2.290; 2.081]	<i>p</i> = 0.591 CI [-2.400; 1.497]	<i>p</i> = 0.176 CI [-35.750; 151.069]	<i>p</i> = 0.431 CI [-1.976; 4.045]	<i>p</i> = 0.770 CI [-2.221; 1.729]	<i>p</i> = 0.815 CI [-0.992; 1.203]	<i>p</i> = 0.643 CI [-0.626; 0.923]	<i>p</i> = 0.630 CI [-1.169; 0.776]
Tibial torsion	-1.739	0.226	-38.185	-1.713	-0.641	-0.121	0.244	1.136
	<i>p</i> = 0.239 CI [-5.287; 1.809]	<i>p</i> = 0.824 CI [-2.429; 2.881]	<i>p</i> = 0.506 CI [-184.477; 108.107]	<i>p</i> = 0.314 CI [-5.913; 2.488]	<i>p</i> = 0.603 CI [-3.796; 2.514]	<i>p</i> = 0.852 CI [-2.018; 1.776]	<i>p</i> = 0.518 CI [-0.817; 1.305]	<i>p</i> = 0.075 CI [-0.197; 2.469]
Torsion of the tibial plateau	0.173	-1.049	33.884	0.05	0.134	-0.374	0.208	-0.348
	<i>p</i> = 0.876 CI [-2.423; 2.768]	<i>p</i> = 0.275 CI [-3.185; 1.088]	<i>p</i> = 0.386 CI [-54.776; 122.544]	<i>p</i> = 0.970 CI [-3.058; 3.157]	<i>p</i> = 0.878 CI [-1.920; 2.189]	<i>p</i> = 0.449 CI [-1.545; 0.797]	<i>p</i> = 0.546 CI [-0.618; 1.034]	<i>p</i> = 0.514 CI [-1.573; 0.878]
Torsion of the upper ankle	-3.277	-1.420	77.762	-1.661	-2.339	-1.414	<b>0.912</b>	1.070
	<i>p</i> = 0.242 CI [-10.122; 3.568]	<i>p</i> = 0.473 CI [-6.431; 3.591]	<i>p</i> = 0.474 CI [-200.668; 356.193]	<i>p</i> = 0.585 CI [-9.744; 6.422]	<i>p</i> = 0.335 CI [-8.277; 3.599]	<i>p</i> = 0.066 CI [-3.001; 0.174]	<i>p</i> = <b>0.047</b> CI [ <b>0.024</b> ; <b>1.800</b> ]	<i>p</i> = 0.291 CI [-1.641; 3.782]
Femoral-tibial torsion difference	-0.007	-0.362	-11.453	-0.618	-0.009	<b>-0.434</b>	0.03	-0.066
	<i>p</i> = 0.990 CI [-1.483; 1.468]	<i>p</i> = 0.521 CI [-1.687; 0.963]	<i>p</i> = 0.657 CI [-88.767; 65.861]	<i>p</i> = 0.470 CI [-2.603; 1.367]	<i>p</i> = 0.987 CI [-1.336; 1.318]	<i>p</i> = <b>0.009</b> CI [ <b>-0.701</b> ; <b>-0.167</b> ]	<i>p</i> = 0.701 CI [-0.158; 0.218]	<i>p</i> = 0.799 CI [-0.724; 0.591]
CE angle	-0.007	-0.344	18.674	-0.324	<b>-0.69</b>	0.051	-0.073	0.179
	<i>p</i> = 0.990 CI [-1.483; 1.468]	<i>p</i> = 0.315 CI [-1.096; 0.408]	<i>p</i> = 0.200 CI [-12.523; 49.871]	<i>p</i> = 0.542 CI [-1.518; 0.87]	<i>p</i> = <b>0.022</b> CI [ <b>-1.243</b> ; <b>-0.136</b> ]	<i>p</i> = 0.826 CI [-0.512; 0.613]	<i>p</i> = 0.658 CI [-0.469; 0.324]	<i>p</i> = 0.254 CI [-0.162; 0.519]

**Fig. 2** Radiographic Findings in a *dysplastic hip patient* (a) one of the pelvis, in anteroposterior and axial views (b) rotational alignment of the lower extremity; when applying our formula, the estimated acetabular torsion based on the plain radiographies is the following: Right hip:  $34.72 + 0.479 \times 7.7$  (CE-angle) +  $0.544 \times 20.2$  (AIA) +  $(-0.298) \times 0.56$  (HLI) +  $(-0.298) \times 54.2$  (alpha-angle) =  $15.1^\circ$ . Left hip:  $34.72 + 0.479 \times 18.8$  (CE-angle) +  $0.544 \times 12.3$  (AIA) +  $(-0.298) \times 0.54$  (HLI) +  $(-0.298) \times 52.9$  (alpha-angle) =  $17.2^\circ$





**Fig. 3** Radiographic findings in a borderline dysplastic hip patient (a) one of the pelvis, in anteroposterior and one axial view (b) rotational alignment of the lower extremity

(acetabular, femoral, and tibial torsion) and plain radiography of the pelvis is not well understood or described in the literature.

Until today, for rotational measurements of the lower limb, CT is the best diagnostic instrument according to Wissing et al [9]. It allows detailed examination of acetabular, femoral, and tibial torsion. Physical examination showed little correlation between external tibial torsion (57%) and hip rotation (14%) in comparison with the standard of CT [23].

In the diagnosis of hip dysplasia, an AP of the pelvis and an axial view of the affected hip are performed routinely and, in many cases, solely [6; 7]. For the center edge angle, the AIA, Sharp angle, and the beta angle measurements have shown significant correlations on plain radiography; only the alpha angle showed a poor correlation in one rater between the two diagnostic instruments. Therefore, the AIA, Sharp angle, and beta angle are as reliable and important as the center edge angle for the diagnosis of hip dysplasia. However, the correlation to rotational alignment remains unclear [14].

In the literature, rotational measurements of the lower extremity—femoral and tibial torsions—are described primarily in healthy patients [23–26]. Hereby, good validity has been reported between CT and EOS scans [27].

In children, the femoral torsion measurements on 3D models based on biplanar radiographs (BPR) were comparable to MR images, although tibial torsion was not reliable [24].

These studies have not routinely assessed the acetabular version (normal range from  $17^\circ \pm 6^\circ$ ) [28] or the correlation to plain radiography of the pelvis, especially in dysplastic hips. However, if a periacetabular osteotomy is indicated, not only the femoral head coverage but also the torsional abnormality need to be addressed and therefore be understood in detail [28].

In borderline-dysplastic hips, treatment is less uniform; it is possible that a better understanding of the rotational variation in these deformities may clarify the optimal treatment [29, 30]. A huge variation for the femoral antetorsion can be found in the literature ranging from  $10$  to  $15^\circ$  [25] with a mean of  $12.7^\circ \pm 10^\circ$  [31], including a [32] significant difference between the left and right femur (approx.  $4^\circ$  larger) and a gender difference with  $17.8$  and  $22.7^\circ$  for female and  $15.3$  and  $21.4^\circ$  for male healthy femurs [33]. As patients age, femoral antetorsion decreases from a toddler to skeletal maturity from  $31.1^\circ \pm 8.9$  at age of 1 to  $15.4^\circ \pm 7.6$  at the age of 16 years. In our cohort, the mean age was  $28.9 \pm 7.8$  years, and so the influence of age was likely not a factor [34].

In femoroacetabular impingement, a high prevalence of combined femoral and tibial torsional abnormalities has been

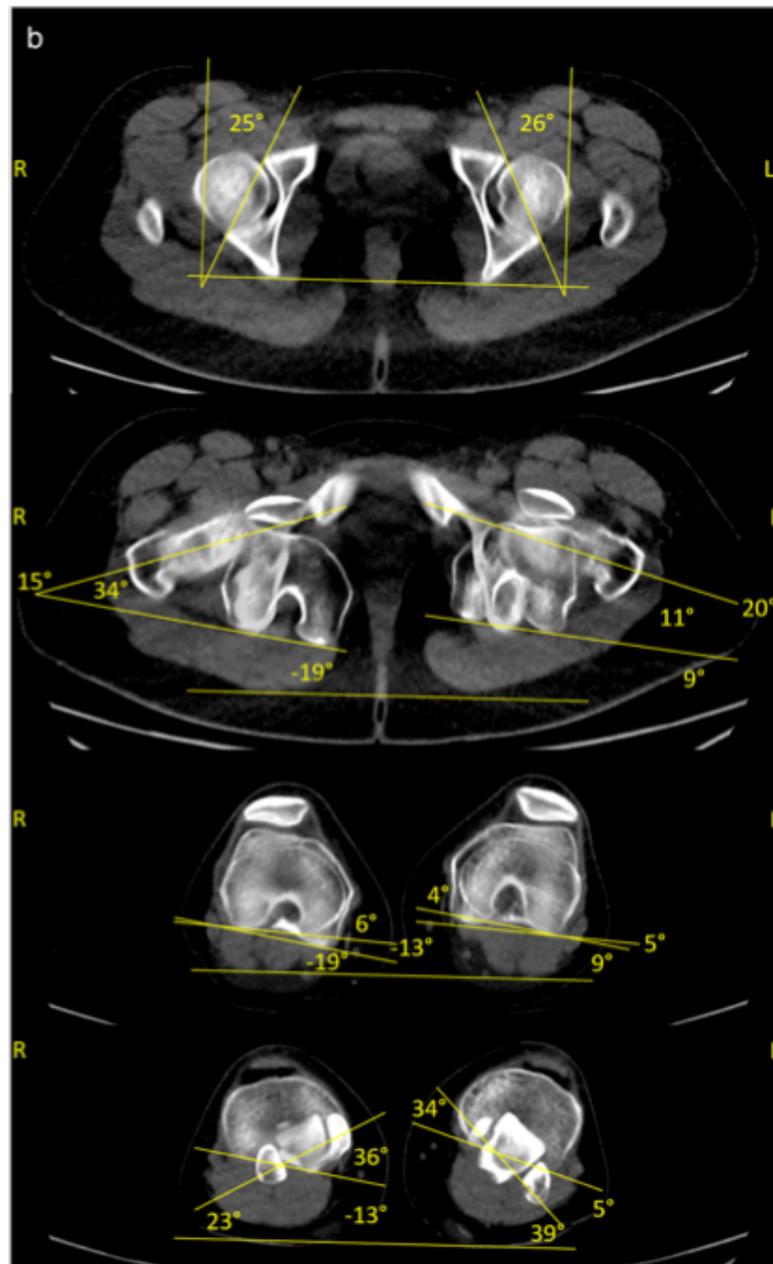


Fig. 3 continued.

already reported with a mean femoral torsion of  $23^\circ$  and tibial torsion of  $29^\circ$  [32, 35]. Furthermore, decreased femoral torsion showed less flexion and internal rotation in  $90^\circ$  flexion [36].

Even higher values for femoral torsions were observed in our study at  $29.65^\circ \pm 13.44$  compared to the reference values in healthy and FAI patients as reported in the literature [31, 32, 34, 35]. For tibial torsion, the mean was  $37.18^\circ \pm 7.4$  in our cohort. As with femoral torsion, this value was significantly higher compared with normal tibial torsion at  $21.6^\circ \pm 7.6$  (range 4.8 to 39.5) [37, 38]. In addition, a correlation between

the femoral neck torsion and the beta angle was observed in all hips. This relates to its configuration, where a greater anteversion results in a higher CCD angle on radiography, causing an increasing beta angle. In contrast, the alpha angle, which expresses the angle of the anterior head-neck congruency between the head center and the acetabular rim, correlated significantly to the acetabular torsion. This correlation may result from an increased anteversion of the acetabulum in borderline- and dysplastic hips [39] and subsequent greater cartilage coverage.

In dysplastic hips, significant differences were found especially for the torsion of the acetabulum in correlation to the AIA and the hip lateralization index which likely results from increased anteversion. As a result, a shorter distance of the lateral edge of the acetabulum to the inferior point of the weight-bearing area of the acetabular sourcil can be observed, which then leads to a steeper angle on plain x-ray. Likewise, the higher the acetabular torsion, the smaller the hip lateralization index gets which originates from a decreased distance between the center of the femoral head to the pelvic teardrop due to both increased anteversion and a relatively ovoid (as opposed to round) femoral head [40]. If the AIA from plain radiography is used to predict the acetabular anteversion, the x-ray must be taken very precisely. The AIA is easy to misinterpret when the hip is rotated or tilted [41]. Based on these findings, we were able to develop a formula to estimate rotation from plain radiography with high accuracy in DDH of 70%. Other findings, included the alpha-angle which was only significant in the overall cohort, not on subgroup analysis ( $p = 0.070$  in the dysplastic group,  $p = 0.068$  in the borderline-dysplastic group).

When comparing the results of the dysplasia and the borderline dysplasia group, the femoral-tibial rotation difference showed significant correlations to the alpha angle. In dysplastic hips, a positive coefficient of regression was observed (0.312,  $p = 0.034$ ), whereas for borderline-dysplastic hips, this was found to be negative ( $-0.434$ ,  $p = 0.009$ ).

Since periacetabular osteotomy remains an effective technique to treat symptomatic hip dysplasia with survival of up to 29% of hips 30 years postoperatively [42], a thorough examination is warranted to include the common standard measurements, as well as rotational alignment. An understanding of the correlations between the individual measurements to allow a 3-dimensional reorientation of the acetabulum can allow for more thorough deformity correction. For borderline-dysplastic hips, no significant correlations were found. When considering our results and the existing literature on the unclear indication for PAO or hip arthroscopy [29, 30], further diagnostics are essential including a computed tomography to assess the rotational alignment.

## Limitations

There are several limitations to this study. This retrospective study included 56 hips describing correlations between radiographic measurements and CT findings in dysplastic and borderline-dysplastic hips. Two different observers performed the measurements; the plain radiographs were analyzed by an orthopedic surgery-trained observer with a focus on hip preservation surgery (first author), whereas the computed tomography analysis was performed by a fellowship-trained musculoskeletal radiologist. No consensus reading was performed

why we are unable to present the inter-/intraobserver reliability. To further validate the developed formula to estimate the torsion of the acetabulum based on the plain radiography, a larger cohort study is required.

## Conclusion

To our knowledge, this study is the first to analyze the correlations between all torsions of the lower limb with rotational CT and plain radiography in patients with dysplastic and borderline-dysplastic hips. Significant correlations were found especially for the AIA and the hip lateralization index in relation to the rotation of the acetabulum. Based on our findings and the developed formula, this may help to estimate acetabular torsion. As the borderline-dysplastic hips had mostly normal standard measurements on plain radiography with no major differences in rotational CT, further diagnostics to assess the rotational alignment should be performed.

**Funding** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

## Declarations

**Guarantor** The scientific guarantor is Henrik C. Bäcker.

**Conflict of interest** The authors of this manuscript declare no relationships with any companies, whose products or services may be related to the subject matter of the article.

**Statistics and biometry** One of the authors has significant statistical expertise.

**Informed consent** Written informed consent was waived by the Institutional Review Board.

**Ethical approval** Institutional Review Board approval was obtained.

## Methodology

- retrospective
- case-control study
- performed at one institution

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## References

- Loder RT, Skopelja EN (2011) The epidemiology and demographics of hip dysplasia. *ISRN Orthop* 2011:238607
- Partenheimer A, Scheler-Hofmann M, Lange J et al (2006) Correlation between sex, intrauterine position and familial predisposition and neonatal hip ultrasound results. *Ultraschall Med* 27:364–367
- Murphy SB, Ganz R, Muller ME (1995) The prognosis in untreated dysplasia of the hip. A study of radiographic factors that predict the outcome. *J Bone Joint Surg Am* 77:985–989
- Wyles CC, Heidenreich MJ, Jeng J, Larson DR, Trousdale RT, Sierra RJ (2017) The John Charnley Award: redefining the natural history of osteoarthritis in patients with hip dysplasia and impingement. *Clin Orthop Relat Res* 475:336–350
- Cooperman DR (2019) How good is the evidence linking acetabular dysplasia to osteoarthritis? *J Pediatr Orthop* 39:S20–S22
- Leunig M, Ganz R (1998) The Bernese method of periacetabular osteotomy. *Orthopade* 27:743–750
- Ganz R, Klaue K, Vinh TS, Mast JW (1988) A new periacetabular osteotomy for the treatment of hip dysplasias. Technique and preliminary results. *Clin Orthop Relat Res*:26–36
- Beltran LS, Rosenberg ZS, Mayo JD et al (2013) Imaging evaluation of developmental hip dysplasia in the young adult. *AJR Am J Roentgenol* 200:1077–1088
- Wissing H, Buddenbrock B (1993) Determining rotational errors of the femur by axial computerized tomography in comparison with clinical and conventional radiologic determination. *Unfallchirurgie* 19:145–157
- Hakimian D, Khoury A, Mosheiff R, Liebergall M, Weil YA (2018) Radiographic markers for measuring tibial rotation based on CT-reconstructed radiographs: an accuracy and feasibility study. *Skeletal Radiol* 47:483–490
- Solayar GN, Chinappa J, Harris IA, Chen DB, Macdessi SJ (2017) A comparison of plain radiography with computer tomography in determining coronal and sagittal alignments following total knee arthroplasty. *Malays Orthop J* 11:45–52
- Alzohiry MA, Abdelnasser MK, Moustafa M et al (2018) Accuracy of plain antero-posterior radiographic-based methods for measurement of acetabular cup version. *Int Orthop* 42:2777–2785
- Cadet ER, Babatunde OM, Gorroochurn P et al (2016) Inter- and intra-observer agreement of femoroacetabular impingement (FAI) parameters comparing plain radiographs and advanced, 3D computed tomographic (CT)-generated hip models in a surgical patient cohort. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:2324–2331
- Air ME, Harrison JR, Nguyen JT, Kelly BT, Bogner EA, Moley PJ (2019) Correlation of measurements of the prearthritic hip between plain radiography and computed tomography. *PM R* 11:158–166
- Worlicek MC, Wornier ML, Craiovan BS et al (2017) Lesser trochanter size on plain anteroposterior radiographs correlates with native femoral anteversion. *J Arthroplasty* 32:2892–2897
- Tonnis D, Behrens K, Tscharrani F (1981) A new technique of triple osteotomy for turning dysplastic acetabula in adolescents and adults (author's transl). *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 119:253–265
- Mannava S, Geeslin AG, Frangiamore SJ et al (2017) Comprehensive clinical evaluation of femoroacetabular impingement: Part 2, Plain Radiography. *Arthrosc Tech* 6:e2003–e2009
- Henle P, Tannast M, Siebenrock KA (2008) Imaging in developmental dysplasia of the hip. *Orthopade* 37:525–531
- Sharp IK (1961) Acetabular dysplasia - the acetabular angle. *J Bone Joint Surg Br Vol* 43:268–272
- Tannast M, Hanke MS, Zheng G, Steppacher SD, Siebenrock KA (2015) What are the radiographic reference values for acetabular under- and overcoverage? *Clin Orthop Relat Res* 473:1234–1246
- Tonnis D, Heinecke A (1999) Acetabular and femoral anteversion: relationship with osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 81:1747–1770
- Waidelich HA, Strecker W, Schneider E (1992) Computed tomographic torsion-angle and length measurement of the lower extremity. The methods, normal values and radiation load. *Rofo* 157:245–251
- Sangeux M, Mahy J, Graham HK (2014) Do physical examination and CT-scan measures of femoral neck anteversion and tibial torsion relate to each other? *Gait Posture* 39:12–16
- Roszkopf AB, Buck FM, Pfirrmann CW, Ramseier LE (2017) Femoral and tibial torsion measurements in children and adolescents: comparison of MRI and 3D models based on low-dose biplanar radiographs. *Skeletal Radiol* 46:469–476
- Buck FM, Guggenberger R, Koch PP, Pfirrmann CW (2012) Femoral and tibial torsion measurements with 3D models based on low-dose biplanar radiographs in comparison with standard CT measurements. *AJR Am J Roentgenol* 199:W607–W612
- Jend HH, Heller M, Dallek M, Schoettle H (1981) Measurement of tibial torsion by computer tomography. *Acta Radiol Diagn (Stockh)* 22:271–276
- Folinas D, Thelen P, Delin C, Radier C, Catonne Y, Lazennec JY (2013) Measuring femoral and rotational alignment: EOS system versus computed tomography. *Orthop Traumatol Surg Res* 99:509–516
- Reikeras O, Bjerkreim I, Kolbenstvedt A (1983) Anteversion of the acetabulum and femoral neck in normals and in patients with osteoarthritis of the hip. *Acta Orthop Scand* 54:18–23
- Zimmerer A, Schneider MM, Nietschke R, Miehke W, Sobau C (2020) Is hip arthroscopy an adequate therapy for the borderline dysplastic hip? Correlation between radiologic findings and clinical outcomes. *Orthop J Sports Med* 8:2325967120920851
- Grammatopoulos G, Pascual-Garrido C, Nepple JJ et al (2018) The borderline dysplastic hip: arthroscopy or PAO? *Orthop J Sports Med* 6
- Sutter R, Dietrich TJ, Zingg PO, Pfirrmann CW (2012) Femoral anteversion: comparing asymptomatic volunteers and patients with femoroacetabular impingement. *Radiology* 263:475–483
- Georgiadis AG, Siegal DS, Scher CE, Zaltz I (2015) Can femoral rotation be localized and quantified using standard CT measures? *Clin Orthop Relat Res* 473:1309–1314
- Jend HH (1986) Computed tomographic determination of the anteversion angle. Premises and possibilities. *Rofo* 144:447–452
- Dunlap K, Shands AR Jr, Hollister LC Jr, Gaul JS Jr, Streit HA (1953) A new method for determination of torsion of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 35-A:289–311
- Lerch TD, Liechti EF, Todorski IAS et al (2020) Prevalence of combined abnormalities of tibial and femoral torsion in patients with symptomatic hip dysplasia and femoroacetabular impingement. *Bone Joint J* 102-B:1636–1645
- Lerch TD, Boschung A, Todorski IAS et al (2019) Femoroacetabular impingement patients with decreased femoral version have different impingement locations and intra- and extraarticular anterior subspine FAI on 3D-CT-based impingement simulation: implications for hip arthroscopy. *Am J Sports Med* 47:3120–3132
- Mullaji AB, Sharma AK, Marawar SV, Kohli AF (2008) Tibial torsion in non-arthritis Indian adults: a computer tomography study of 100 limbs. *Indian J Orthop* 42:309–313
- Strecker W, Keppler P, Gebhard F, Kinzl L (1997) Length and torsion of the lower limb. *J Bone Joint Surg Br* 79:1019–1023
- Yang Y, Zuo J, Liu T, Xiao J, Liu S, Gao Z (2017) Morphological analysis of true acetabulum in hip dysplasia (Crowe Classes I-IV) Via 3-D Implantation Simulation. *J Bone Joint Surg Am* 99:e92
- Lopes DS, Neptune RR, Goncalves AA, Ambrosio JA, Silva MT (2015) Shape analysis of the femoral head: a comparative study between spherical, (super)ellipsoidal, and (super)ovoidal shapes. *J Biomech Eng* 137:114504

41. van der Bom MJ, Groote ME, Vincken KL, Beek FJ, Bartels LW (2011) Pelvic rotation and tilt can cause misinterpretation of the acetabular index measured on radiographs. *Clin Orthop Relat Res* 469:1743–1749
42. Lerch TD, Steppacher SD, Liechti EF, Tannast M, Siebenrock KA (2017) One-third of hips after periacetabular osteotomy survive 30 years with good clinical results, no progression of arthritis, or conversion to THA. *Clin Orthop Relat Res* 475:1154–1168

**Publisher's note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## **Lebenslauf**

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

## Komplette Publikationsliste

Heimer, C. Y. W., Wu, C. H., Perka, C., Hardt, S., Göhler, F., Winkler, T., & Bäcker, H. C. The Impact of Hip Dysplasia on CAM Impingement. *Journal of personalized medicine*, 2022 July 12; 12(7), 1129. <https://doi.org/10.3390/jpm12071129>  
Journal Impact Factor 2021: 3,508

Heimer, C. Y. W., Wu, C. H., Perka, C., Hardt, S., Göhler, F., & Bäcker, H. C. The Impact of the Laterality on Radiographic Outcomes of the Bernese Periacetabular Osteotomy. *Journal of personalized medicine*, 2022 June 29; 12(7), 1072. <https://doi.org/10.3390/jpm12071072>  
Journal Impact Factor 2021: 3,508

Heimer, C. Y. W., Göhler, F., Vosseller, J. T., Hardt, S., Perka, C., & Bäcker, H. C. Rotational abnormalities in dysplastic hips and how to predict acetabular torsion. *European radiology*, Epub 2022 Jun 9; 32(12), 8350–8363. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08895-0>  
Journal Impact Factor 2020: 5,315

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich den Personen danken, die mir diese Dissertation durch unterschiedlichsten Beistand und diverse Hilfen ermöglicht haben.

Ich bedanke mich zuallererst bei Univ.-Prof. Dr. med. C. Perka, Dr. med. S. Hardt und insbesondere bei Dr. med. H. Bäcker, der für mich als erster Ansprechpartner stets erreichbar gewesen ist, für die Betreuung und die Ermöglichung der Promotion.

Zudem möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die diese Arbeit korrektur gelesen und mich während des Prozesses begleitet haben. Diese sind Johanna Schröder, Lisa Kuballa, Nicole Zilski, meine Schwester Victoria Heimer, meine Eltern Christine und Dietmar Heimer sowie meine Ehefrau Anna Elisabeth Schröder.