



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Sportorthopädie am Klinikum rechts der ISAR
(Direktor: Prof. Dr. R. von Eisenhart-Rothe)

**Femoroacetabuläres Impingement:
Analyse klinischer und radiologischer Parameter als Risikofaktoren für
Knorpelschäden**

Daniel Pinkas

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. H. Gollwitzer
2. Prof. Dr. A. Imhoff

Die Dissertation wurde am 07.04.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 14.06.2017 angenommen.

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abbildungsverzeichnis.....	III
III. Tabellenverzeichnis.....	V
IV. Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1. Abstract.....	1
2. Einleitung.....	3
2.1 Femoroacetabuläres Impingement.....	3
2.2 FAI als Auslöser der Koxarthrose: die geschichtliche Entwicklung.....	4
2.3 Formen und Mechanismus des FAI: Cam und Pincer.....	7
2.3.1 Cam-Impingement – femorale Deformität.....	8
2.3.2 Pincer-Impingement – acetabuläre Deformität.....	10
2.4 Anamnese und klinische Untersuchung bei FAI.....	11
2.5 Bildgebung bei FAI.....	15
2.5.1 Konventionelles Röntgen.....	15
2.5.2 Erweiterte Bildgebung: Computertomographie, Magnetresonanztomographie und MR Arthrographie.....	16
2.5.3 Bildgebende Diagnostik von Knorpelschäden am Hüftgelenk: eingeschränkte Sensitivität.....	18
2.6 Behandlung des FAI: die Rolle der Hüftarthroskopie bei FAI.....	20
2.6.1 Die chirurgische Hüftluxation: der „Goldstandard“.....	20
2.6.2 Die Arthroskopie der Hüfte.....	24
2.6.3 Therapie von Knorpelschäden im Hüftgelenk.....	26
2.7 Fragestellung der Arbeit: Welche Risikofaktoren beeinflussen den Knorpelschaden?	28
3. Material und Methoden.....	29
3.1 Studiendesign und Patientenselektion.....	29
3.2 Untersuchte Risikofaktoren für höhergradige Knorpelschäden.....	32
3.2.1 Allgemeine Anamnesedaten.....	33
3.2.2 Klinische Tests.....	33
3.2.3 Cam-Pincer Einteilung.....	33
3.3 Bildgebung – konventionelle Röntgenaufnahmen.....	34
3.3.1 Technische Ausführung Beckenübersichtaufnahme.....	34
3.3.2 Technische Ausführung Hüftgelenk axial nach Lauenstein.....	36
3.3.3 Quantitative Messwerte.....	37
3.3.4 Qualitative Messwerte.....	44

3.4	Bildgebung – Magnetresonanztomographie und MR Arthrographie	53
3.4.1	Technische Ausführung MR Arthrographie	53
3.4.2	Quantitative Messkriterien	54
3.5	Auswertung der Arthroskopiebilder und der OP-Berichte	58
3.5.1	Datenerhebung aus Arthroskopiebildern und OP-Berichten	58
3.5.2	Beurteilung des Knorpelschadens am Acetabulum	58
3.5.3	Beurteilung des Knorpelschadens am Femur	61
3.5.4	Beurteilung des Labrums	62
3.6	Statistische Methoden	63
3.7	Benutzte Software	63
4.	Ergebnisse	64
4.1	Ergebnisse der einzelnen Risikofaktoren	64
4.1.1	Auswertung der quantitativen Daten	64
4.1.2	Auswertung der qualitativen Daten	68
4.1.3	Auswertung der Intraoperativen Gelenksbefunde	70
4.2	Uni- und Multivariate Regressionsanalyse auf Risikofaktoren	75
4.2.1	Univariate Regressionsanalyse	76
4.2.2	Multivariate Regressionsanalyse mit vorgegebenen Messparametern	83
5.	Diskussion	87
5.1	Vergleich der Uni- und Multivariaten Analyse mit Publikationsdaten	88
5.1.1	Johnston et al. 2008	88
5.1.2	Anderson et al. 2009	89
5.2	Reliabilität, Inter- und Intra-Rater Correlation der erhobenen Daten	92
5.3	Limitationen der Arbeit und offene Fragestellungen	95
6.	Zusammenfassung	97
7.	Publikationen, Vorträge	99
8.	Danksagung	99
9.	Literaturverzeichnis	100
10.	Anhang	113

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flowchart - Einteilung des Femoroacetabulären Impingements.....	8
Abbildung 2: Mechanismus Cam-Impingement.....	9
Abbildung 3: Mechanismus Pincer Impingement	11
Abbildung 4: Intraoperativer Befund	22
Abbildung 5: Flowchart der Studienpatienten	30
Abbildung 6: Beurteilung einer neutralen Beckenstellung.	36
Abbildung 7: Vermessung Coxa vara/Coxa valga linke Hüfte	38
Abbildung 8: Alpha-Winkel Messung rechte Hüfte.....	39
Abbildung 9: ½-RHR Messung rechte Hüfte	40
Abbildung 10: Offset-Messung linke Hüfte	41
Abbildung 11: AC- und LCE-Winkelmessung linke Hüfte	42
Abbildung 12: Pistol-Grip Zeichen und Horizontal Growth Plate Sign	44
Abbildung 13: Qualitative Cam-Beschreibung	45
Abbildung 14: Cross-Over Sign einer linken Hüfte	46
Abbildung 15: Prominente Pfannenhinterwand einer rechten Hüfte	47
Abbildung 16: ISS und Cross-Over Sign einer linken Hüfte	48
Abbildung 17: Coxa profunda einer linken Hüfte.....	49
Abbildung 18: LIS einer rechten Hüfte	50
Abbildung 19: reaktive Kortikalisverdichtung ohne Einkerbung einer linken Hüfte.....	50
Abbildung 20: Herniation Pits einer rechten Hüfte.....	51
Abbildung 21: Os acetabuli einer linken Hüfte.....	51
Abbildung 22: Arthrosegrade nach Tönnis.....	52
Abbildung 23: Alpha-Winkel, Ausschnitt MRT-Aufnahme - koronare Schnittführung	55
Abbildung 24: Alpha-Winkel, Ausschnitt MRT-Aufnahme – axiale Schnittführung	55
Abbildung 25: Alpha-Winkel, Ausschnitt MRT-Aufnahme - radiäre Rekonstruktion.....	56
Abbildung 26: Epiphysialer Torsionswinkel.....	56
Abbildung 27: Acetabuläre Tiefe	57
Abbildung 28: Arthroscopiefotos Gelenkfläche Acetabulum	60
Abbildung 29: Box Blot Alpha-Winkel Röntgen a.-p., Vergleich zw. Frauen u. Männer	66
Abbildung 30: Qualitative Beschreibung Cam-Pincer Vergleich Frauen/Männer.....	69

Abbildung 31: Gesamtdatenauswertung Knorpelschaden; Beck-Score Acetabulum	70
Abbildung 32: Gesamtdatenauswertung Knorpelschaden; Größe	71
Abbildung 33: Gesamtdatenauswertung Labrumschaden; Beck-Score Labrum	71

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Charakteristiken der Impingementformen.....	12
Tabelle 2: Radiologische Hinweise auf Impingement	18
Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien.....	30
Tabelle 4: Patientenaufschlüsselung.....	31
Tabelle 5: Patientendemographie, Alter	31
Tabelle 6: Auflistung der Vollständigkeit der Bilddokumentation in Fällen/Operationen	31
Tabelle 7: Erhobene Parameter, Messwerte der Arbeit	32
Tabelle 8: Auflistung der Röntgenaufnahmen nach Institut (Intern/Extern) in Fällen	34
Tabelle 9: Arthrosegrade nach Tönnis.....	52
Tabelle 10: Auflistung der MRT- und MRA-Aufnahmen.....	53
Tabelle 11: Verwendete Scores zur Beurteilung des Knorpel- bzw. Labrumschadens.....	58
Tabelle 12: Outerbridge-Score	58
Tabelle 13: Beck-Score Knorpelschaden am Acetabulum.....	59
Tabelle 14: Sampson-Score Knorpelschaden am Acetabulum.....	61
Tabelle 15: Ausdehnung bzw. Größe des Knorpelschadens	61
Tabelle 16: Beck-Score Labrumschaden.....	62
Tabelle 17: Verwendete Software	63
Tabelle 18: Durchschnittswerte der quantitativen Daten des Gesamtkollektivs	65
Tabelle 19: Vergleich zw. Frauen u. Männern.....	66
Tabelle 20: Vergleich zw. den Gruppen Cam-, Pincer- und Mixed-FAI	68
Tabelle 21: Gesamtwerte intraartikuläre Knorpel- und Labrumbefunde.....	72
Tabelle 22: Intraoperative Befunde, Vergleich Frauen vs. Männer	73
Tabelle 23: Intraoperative Befunde.....	74
Tabelle 24: Univariate Regressionsanalyse	82
Tabelle 25: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Beck-Score;.....	84
Tabelle 26: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Outerbridge-Score.....	85
Tabelle 27: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Schadensgröße	85
Tabelle 28: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Delamination	85
Tabelle 29: Multivariate Analyse Labrumschaden Beck-Score	86
Tabelle 30: Interrater Reliabilität Literaturrecherche	94

Tabelle 31: Intrarater Reliabilität Literaturrecherche	94
Tabelle 32: Qualitative Datenauswertung	113
Tabelle 33: Qualitative Datenauswertung	115
Tabelle 34: Qualitative Beurteilung: Vergleich Cam vs. Pincer.....	116

IV. Abkürzungsverzeichnis

½ RHR-Ratio:.....	½ Radial height /Radius-Ratio ½ RHRR
a.-p.:	anterior-posterior (Strahlengang)
ACT:	Autologe Chondrozyten Transplantation
ca.:	circa, ungefähr
cor.:.....	coronal (Ebene MR)
CT:	Computer Tomographie
dt.:	zu deutsch
engl.:	auf Englisch
ETW:	epiphysealer Torsionswinkel
evtl.:	eventuell
f.:	für
FAI:	Femoro-acetabuläres Impingement
HGPS:	Horizontal growth plate sign
HHS:	Harris Hip Score
HK:.....	Hüftkopf
HKZ:	Hüftkopfbereich
HN:	Head-neck
Inst.:	Institut
K.S.:	Knorpelschaden
lb:	Pfund
max.:	maximal
MCFA:	medial femoral circumflex artery
mm:.....	Millimeter
MR:	Magnet Resonanz
MRA:	Magnet Resonanz Arthrographie
MRT:	Magnet Resonanz Tomographie
MV:	Multivariate (Analyse)
MW:	Mittelwert
O.S.:	Outerbridge-Score
OATS:	Osteochondrale Autograft Transplantation

OR: Odds-Ratio
PAO:periacetabuläre Osteotomie
PGS: Pistol Grip Sign
PWC: posterior wall configuration
RCT:reactive cortical thickening
resp.:..... respektive
ROM: range of motion
STABW: Standardabweichung
TUM: Technische Universität München
u.: und
u.a.:..... unter anderem
U.S.A.: United States of America
v.: von
vs.: versus
z.B.: zum Beispiel
zw.:zwischen

1. Abstract

Das *Femoroacetabuläre Impingement* (FAI) stellt einen Hauptrisikofaktor für die Entwicklung der Koxarthrose dar. Vor allem junge, sportliche Patienten erleiden durch das FAI häufig Schäden im Gelenk. Nicht-invasive Untersuchungsmethoden wie MRT und Röntgen zeigen nur eine limitierte Genauigkeit bezüglich der Diagnose des acetabulären Knorpelschadens. Daher ist es umso wichtiger jene Messparameter zu finden, mit denen Patienten mit erhöhtem Risiko für höhergradige Knorpelschäden und Arthrose identifiziert werden können. Die Aufgabe dieser Dissertation war es die Assoziationen zwischen verschiedenen klinischen und radiologischen Parametern und dem Schweregrad des acetabulären Knorpelschadens zu untersuchen. Hierfür wurden über 320 Hüftarthroskopien eines einzelnen Operateurs retrospektiv analysiert. Es wurden sowohl klinische Angaben als auch radiologische Messparameter untersucht. Es konnten insgesamt 186 Hüften von 168 Patienten mit FAI identifiziert werden. Von den 186 operierten Hüften zeigten jeweils 85 Hüften (46%) ein reines Cam-Impingement bzw. einen Mixed-Typ und nur 16 Hüften (8%) wiesen ein reines Pincer-Impingement auf. Die univariate Regressionsanalyse zeigte folgende Risikofaktoren mit einer signifikanten Assoziation auf einen stärkeren und auch größeren Knorpelschaden ($p < 0,05$): höheres Alter, männliches Geschlecht, reduzierte Innen- und Gesamtrationsfähigkeit der Hüfte, Cam-Impingement und dessen Messparameter (Alpha-Winkel, $\frac{1}{2}$ RHR-Ratio, HN-Offset, Pistol grip sign etc.). Auch die multivariate Regressionsanalyse zeigte eine signifikante Assoziation zwischen Cam-Deformität und Knorpelschaden, während eine Pincerdeformität nicht als wesentlicher Risikofaktor identifiziert werden konnte. Diese Ergebnisse stellen eine wichtige Information über die Risikofaktoren für einen höhergradigen Knorpelschaden dar und können somit helfen, Patienten mit einem erhöhten Risiko für Knorpelschädigung und Koxarthrose frühzeitig zu identifizieren und therapieren und Patienten mit einem geringen Risiko entsprechend zu beraten.

The *Femoroacetabular Impingement Syndrome* (FAI) is one of the main risk factors for the development of osteoarthritis of the hip. Deformities suggestive of FAI are common in young and active adults. Since non-invasive measures like MRI and X-ray provide only limited accuracy to appropriately predict acetabular cartilage damage; valid parameters indicating patients at risk to develop significant chondral defects and osteoarthritis are urgently warranted. The objective of this dissertation was to investigate the association between various clinical and radiographic parameters and the severity of acetabular cartilage damage. A total of 320 consecutive hip arthroscopies performed by a single surgeon were retrospectively reviewed. Clinical data as well as X-ray and MRI parameters were recorded. A total of 186 hips belonging to 168 patients met the inclusion criteria. Of the 186 hips 85 (46%) showed signs of cam-type impingement, another 85 (46%) showed signs of mixed-type impingement and only 16 hips (8%) were associated with isolated pincer-type impingement. Univariate proportional odds logistic regression analysis revealed the following risk factors to be significantly associated with both a higher degree as well as a larger size ($p < 0.05$) of acetabular chondral damage: higher age at the time of surgery, male gender, reduced (internal) rotation, cam-type deformity with its distinctive radiologic parameters (larger alpha angle, larger $\frac{1}{2}$ radial height/radius ratio, positive pistol grip sign, etc.). Multivariate proportional odds regression analysis also revealed an association between cam-type deformity and cartilage damage. These results provide important information on risk factors predicting more severe cartilage injury in FAI and might help to early identify those patients at higher risk to develop severe chondral damage and osteoarthritis.

2. Einleitung

2.1 Femoroacetabuläres Impingement

Das *Femoroacetabuläre Impingement (FAI)* beschreibt einen pathologischen, intrakapsulären Kontakt zwischen Acetabulum und proximalem Femur, der bei Bewegung aufgrund einer anormalen Morphologie des proximalen Femurs beziehungsweise des Acetabulums auftritt. Dabei führt dieser Anschlag (engl. Impingement) nach und nach zu Knorpel- und Labrumschäden und somit zur Entstehung einer Koxarthrose (Leunig et al. 2005b).

Auch bei Patienten mit normalen bis grenzwertig normalen anatomischen Verhältnissen des Hüftgelenks können exzessive und supraphysiologische Bewegungsumfänge zu einem Impingement führen. Dazu zählen vor allem speziell belastende Sportarten wie Ballett, diverse Kampfsportstile, aber auch „Impact-Sportarten“ wie zum Beispiel Basketball. Meistens führt eine Kombination der oben erwähnten Faktoren, also eine abnorme Morphologie und eine übermäßige Beanspruchung, zu einem symptomatischen Impingement. Je stärker die Anatomie vom Normalen abweicht, umso mehr wird die freie Beweglichkeit des Hüftgelenks eingeschränkt (Leunig et al. 2005b).

Das natürliche Hüftgelenk ist durch die Kapsel und die führenden Bänder ein eng eingespanntes Kugelgelenk, sodass es bei unnatürlichem Kontakt von Acetabulum und Femur keine Möglichkeit gibt den Scherkräften zu entkommen. Die Kraft entfaltet sich dabei am Rand der Gelenkspfanne, wobei sowohl das Labrum als auch der Knorpel geschädigt werden können. Somit stellt das FAI mit seiner frühzeitigen Knorpelschädigung einen Hauptauslöser der bisher häufig als primär idiopathisch angesehenen Koxarthrose dar (Ganz et al. 2003).

2.2 FAI als Auslöser der Koxarthrose: die geschichtliche Entwicklung

Heutzutage findet der größte Teil der Forschung zum Thema Pathophysiologie und Krankheitsentstehung auf molekularem und zellulärem Niveau statt. Die Mechanismen, die zur Entstehung der Gelenksarthrosen beitragen, werden ebenfalls intensiv beforscht. Auch wenn der Forschungsschwerpunkt meist auf biologischen, genetischen und immunologischen Auslösern liegt, tragen vor allem auch biomechanische Faktoren zur Entstehung einer Arthrose bei. Es sammeln sich immer mehr Beweise, die jene Hypothese unterstützen, dass der primäre Grund für die Entstehung vieler Hüftarthrosen nicht auf molekularer sondern hauptsächlich auf mechanischer Ebene zu finden ist (Ganz et al. 2008).

Wie bei allen Gelenken wird die Arthrose der Hüfte in die *primäre, idiopathische Arthrose* und in die sekundären Arthrosen eingeteilt. Der Begriff *sekundäre Arthrose* beschreibt eine degenerative fortschreitende Zerstörung des Gelenks durch einen feststellbaren und bekannten Auslöser, seien es ein vorrangegangenes Trauma, Gelenksinfektionen oder bekannte angeborene oder erworbene Fehlstellungen (sogenannte präarthrotische Deformitäten). Im Falle der Hüfte stand seit jeher die Hüftdysplasie als Fehlentwicklung mit Reifungsstörung der Pfanne und auch femoraler Fehlstellung im Mittelpunkt der sekundären Arthrosen. Gerade sie eignet sich als gutes Beispiel für einen biomechanischen Auslöser der Hüftgelenksarthrose: Durch eine verminderte Überdachung des Femurkopfes und einer somit verminderten Kraftübertragungsfläche kommt es zu einer überhöhten axialen Belastung, die zu einer frühen Entwicklung der Koxarthrose führt (Murray 1965).

Allerdings präsentierte ein erheblicher Anteil an Patienten keinen derart klaren Auslöser. Bei diesem großen Anteil an Patienten wurde seit jeher meist eine primäre oder auch idiopathische Hüftarthrose angenommen. Es bedurfte mehrerer Jahrzehnte bis viele einzelne Beobachtungen zum Konzept des FAI zusammengeschnürt und das FAI als ein Auslöser der *idiopathischen Hüftarthrose* postuliert werden konnte.

Bereits 1911 beschrieb Georg Preiser die Einschränkung der Innenrotationsfähigkeit als eines der ersten Symptome der *Arthroris deformans coxae* (Preiser 1911). Im Jahr 1936 erwähnte Smith-Peterson in Fallbeispielen zum ersten Mal das Erkrankungsbild FAI und seine damalige Behandlungstechnik. Er gab dem Krankheitsbild keinen eigenen Namen, sondern stellte die

Diagnosen *slipped old upper epiphysis* (zu Deutsch: alter, oberer Epiphysenabrutsch) und *Protrusio acetabuli* (Smith-Petersen 2009).

Viele weitere Einzelbeobachtungen wurden im Laufe der Jahre aufgestellt und sehr oft als sekundär zur Arthrose gehörig deklariert. Dabei wurden insbesondere in a.-p. Röntgenaufnahmen abnorme Morphologien des proximalen Femurendes beobachtet, die häufig als präarthrotische Deformitäten angesehen wurden (Hackenbroch et al. 1979, Leunig et al. 2005b).

Erst 1965 stellte Murray das Konzept der *idiopathischen Arthrose* der Hüfte in Frage und postulierte, dass die meisten primären Koxarthrosefälle in Wahrheit durch minimale anatomische Variationen verursacht werden. Er beschrieb die sogenannte *Tilt deformity* des Hüftkopfes, bei der dieser eine varische Verkippung gegenüber der Schenkelhalsachse mit einer zusätzlichen Verkürzung des Schenkelhalses aufweist. In seiner Studie von 200 a.-p. Beckenübersichtsaufnahmen fand er, dass 65% der Fälle als sekundäre OA einzustufen waren, davon entfielen 25,5% auf eine übersehene Hüft dysplasie und 39,5% auf die *Tilt deformity* (Murray 1965).

Schließlich beschrieb Stulberg 1975 die sogenannte *Pistol-Grip Deformität*. Diese ähnelt der von Murray beschriebenen *Tilt deformity* und ist charakterisiert durch eine Abflachung des lateralen Hüftkopf-Schenkelhalsüberganges (Stulberg et al. 1975).

Kurz darauf stellte Solomon 1976 die Hypothese auf, dass sich eine Hüftarthrose stets sekundär aufgrund einer abnormen Anatomie des Hüftgelenks entwickelt: „Die Osteoarthrose entsteht in jenen Gelenken, in denen zuerst etwas anderes passiert“ - „OA occurs in joints to which other things happen first.“ (Solomon 1976)

Spätestens mit der Veröffentlichung von Harris' „*Etiology of Osteoarthritis of the Hip*“ im Jahre 1986 konnte gezeigt werden, dass höchst wahrscheinlich meist ein mechanischer Konflikt als Hauptauslöser für die Entwicklung der Arthrose der Hüfte (mit-) verantwortlich ist. Harris fand in seiner Studie, dass in 90% aller als idiopathisch und primär eingestuften Hüftarthrosen ein sekundärer Grund, am häufigsten die Hüft dysplasie und die Pistol-Grip Deformität, zu finden waren (Harris 1986).

Dennoch war die genaue Beziehung zwischen den neu beschriebenen Deformitäten und der Entstehung der Hüftarthrose noch weitgehend unbekannt. Erst in den letzten 15 Jahren, bedingt durch die Entwicklung von leistungsfähiger Technik für Bildgebung wie beispielsweise der Magnetresonanztomographie und durch die Etablierung der chirurgischen Dislokation der Hüfte als sicheres und übersichtliches Therapieverfahren, wurde es ermöglicht, Hüftgelenke in Frühstadien der Hüftarthrose zu untersuchen und zu behandeln und damit dem genauen Pathomechanismus auf die Spur zu kommen (Ganz et al. 2001b).

Der Begriff *anteriores Femoroacetabuläres Impingement* als solches wurde erstmals 1999 von Myers geprägt, nachdem er postoperativ bei Patienten nach Behandlung mittels peri-acetabulärer Osteotomie (PAO) ein Impingement feststellen konnte (Myers et al. 1999).

Vor allem die Untersuchungen und Arbeiten von Prof. Ganz und seinen Mitarbeitern (Ganz et al. 2001b, Ito et al. 2001, Ganz et al. 2003) führten zur detaillierten Beschreibung des Konzepts des femoroacetabulären Impingements. Ihre Beobachtungen stützten die Annahme, dass kleine bis milde Deformitäten des proximalen Femurs oder des Acetabulums durch den Mechanismus des intraartikulären Anstoßens von Schenkelhals und Acetabulum letztendlich ein Impingement herbeiführen, welches für die eingeschränkte Beweglichkeit der Hüfte verantwortlich ist, und den Auslöser für Schmerzen und Schäden an Knorpel und Labrum darstellt. Dieser abnorme intraartikuläre Knochenkontakt trägt schlussendlich zur Entwicklung der Arthrose der Hüfte bei (Wagner et al. 2003, Ganz et al. 2008).

Das FAI ist einer der derzeit von der Fachwelt akzeptierten Hauptgründe für die Entwicklung der ehemals primären, *idiopathischen Hüftarthrose*. Es wird durch eine abnorme Morphologie des Hüftgelenks charakterisiert, bei der es bei Bewegung zu einem Anstoßen des proximalen Femurs mit der Hüftpfanne kommt (Ganz et al. 2003, Siebenrock et al. 2004, Ganz et al. 2008).

2.3 Formen und Konzept des FAI: Cam und Pincer

Das Hüftgelenk ist ein von Bändern und Knochen eng geführtes Gelenk und erlaubt durch seinen sphärischen Kopf eine gute Beweglichkeit. Eingeschränkt wird diese hauptsächlich durch den relativ dicken Schenkelhals, dessen Breite vor allem der Stabilität und Bruchsicherheit dient, und von der Konfiguration der Hüftpfanne. Für eine gut durchzuführende Hüftbeugung muss die Pfanne nach ventral geöffnet sein. Dabei spricht man von der Anteversion des Acetabulums, welche normalerweise ca. 10°-15° bei Erwachsenen beträgt. Auch die Tiefe der Pfanne und die damit resultierende Überdachung des Femurkopfes stellt einen Kompromiss zwischen Kraftübertragung und Beweglichkeit des Gelenkes dar (Leunig et al. 2006).

Daher können selbst moderate Abweichungen von der knöchernen Norm die Kräfteverteilung im Gelenk verändern und potentiell Schäden am Labrum und am Knorpel verursachen (Philippon et al. 2006). Selbst kleine Deviationen von der normalen Anatomie des proximalen Femurs beziehungsweise der Pfanne können zum intraartikulären Anschlag beider Knochen führen. Vor allem bei hohen Geschwindigkeiten und damit begleitender großer Kraftübertragung führt dies bedingt durch die enge Führung des Hüftgelenks zu einer Zerstörung des lokalen Pfannenknorpels und des Labrums. Der Großteil der acetabulären Labrum- und Knorpelschäden ist dabei im anterioren und superioren Pfannenbereich zu finden (McCarthy et al. 2004).

Je nachdem ob die abnorme Morphologie am proximalen Femur oder beim Acetabulum liegt, wird zwischen zwei distinkten Typen des Femoroacetabulären Impingements mit jeweils eigenen Schadensbildern unterschieden: das femoral induzierte Cam-Impingement und das acetabuläre Pincer-Impingement. Auch eine Mischform der beiden Impingementformen kommt vor. In Abbildung 1 werden die verschiedenen Typen des FAI und deren Untergruppen dargestellt, die im nachfolgenden Kapitel dann im Detail beschrieben werden.

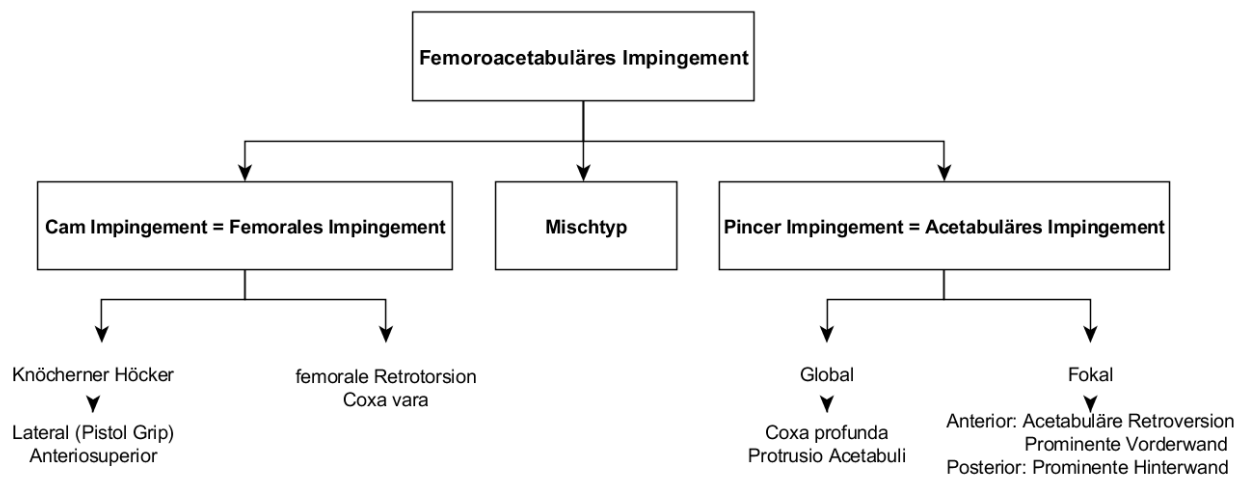


Abbildung 1: Flowchart - Einteilung des Femoroacetabulären Impingements

2.3.1 Cam-Impingement – femorale Deformität

Das *Cam-Impingement*, auf Deutsch auch *Nockenwellen-Impingement*, stellt die erste, femorale Variante des Femoroacetabulären Impingements dar und wird durch eine veränderte, abnorme ossäre Morphologie des Femurkopfes bzw. des proximalen Schenkelhalses definiert. Beim Cam-Impingement kommt es bei Bewegung, vor allem bei Flexion und Innenrotation, durch einen asphärischen Hüftkopf zu einem Anschlag des asphärischen Teils des Femurs am Acetabulum und zu dessen Einpressen in das Acetabulum. Die dabei entstehenden Scherkräfte verursachen von außen nach innen verlaufende acetabuläre Knorpelschäden in Form von Abrasionen beziehungsweise kompletter *Delamination* des randständigen Knorpels vom Labrum und vom subchondralen Knochen. Das Labrum selbst wird beim Einpressen der Asphärität nur zur Seite geschoben und degeneriert erst sekundär (Ganz et al. 2003). Dieser Mechanismus wird in Abbildung 2 dargestellt.

Die Asphärität kann entweder in Form einer Abflachung, das heißt Verminderung des normalerweise konkaven anterioren und anterio-lateralen Hüftkopf-Schenkelhals-Überganges, als komplettes Fehlen dieser Taillierung des Kopf-Hals-Überganges, oder als separater und über das Niveau einer aufgehobenen Taillierung herausstehender, knöcherner „*Buckel*“ (engl.: *Bump*) imponieren. In allen Fällen kommt es durch die periphere Zunahme des Hüftkopfradius zu einer Asphärität. Dies führt zu einer Verminderung des sog. *Head-Neck Offset* (Eijer H. et al. 2001), des Höhenunterschiedes zwischen Kopf und Schenkelhals. Dies bedeutet, dass je größer die Asphärität ist, das heißt je kleiner der Head-Neck Offset ist,

desto früher kommt es zum Zusammenstoß zwischen Hüfte und Pfanne und umso eher wird der Bewegungsumfang eingeschränkt.

Zwar kann ein Cam Impingement auch sekundär durch Trauma oder auch Morbus Perthes entstehen, oft stellt es allerdings eine Wachstumsabnormalität der Hüftkopfeiphyse dar (Leunig et al. 2000). Die Ergebnisse aus der Studie von Murgier et al. (2014) lassen darauf schließen, dass die subklinische Epiphysiolyse ein Hauptauslöser für ein Cam-Impingement ist (Murgier et al. 2014). Bereits 1975 benannte Stulberg die laterale Abflachung des Hüftkopf-Schenkelhalsüberganges als die sog. *Pistol-Grip Deformität* (Stulberg et al. 1975, Resnick 1976), die aufgrund einer abnormen, mehr horizontal orientierten Epiphyse zu Stande kommt.

Die Cam-Deformität kann unter anderem mittels des Alpha-Winkels (Nötzli et al. 2002), des Head-Neck-Offsets (Eijer H. et al. 2001) und vielen anderen Messmethoden in Röntgen- und Schnittbildaufnahmen ermittelt und vermessen werden. Diese werden in Kapitel 3 „Material und Methoden“ vorgestellt.

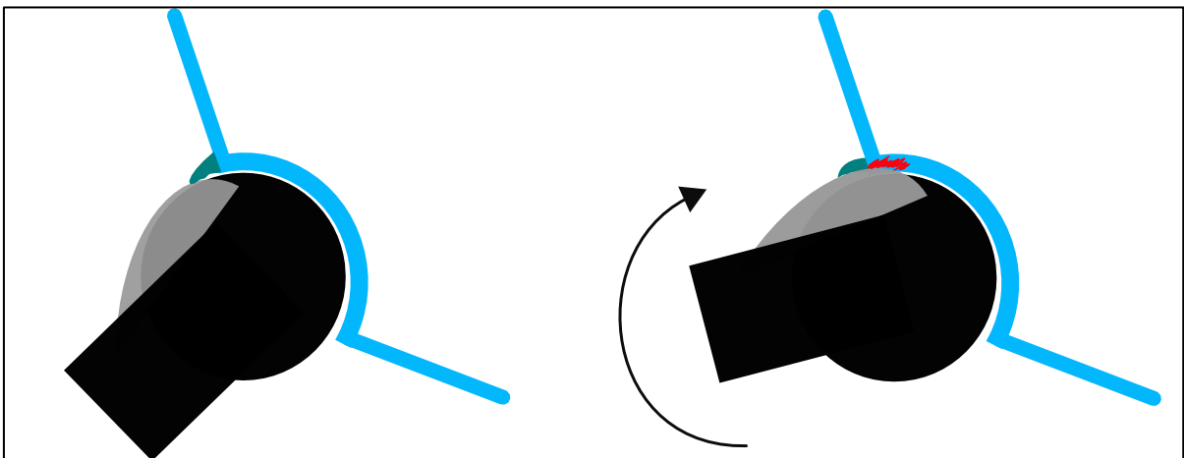


Abbildung 2: Mechanismus Cam-Impingement: Bei Flexion schiebt sich der asphärische Teil (grau) des Kopfes in das Acetabulum hinein, das Labrum (grün) wird zur Seite gedrängt, es kommt zur Delamination des Pfannenknorpels (rot). Eigene Abbildung modifiziert nach (Ganz et al. 2003).

2.3.2 Pincer-Impingement – acetabuläre Deformität

Die zweite, acetabuläre Variante des Femoroacetabulären Impingements ist das sogenannte *Pincer-Impingement*, auf Deutsch *Beißzangen Impingement*. Bei diesem weisen der Femurkopf und Schenkelhals eine normale Morphologie auf, dagegen ist die knöcherne Deformität am Acetabulum zu finden. In diesem Fall ist die Pfanne entweder fehlorientiert und überdeckt den Femurkopf stellenweise mehr als gewöhnlich oder sie überdeckt den Femurkopf zur Gänze zu viel, wie dies bei einer tiefen Pfanne der Fall sein kann (Ganz et al. 2003). Diese generelle „Über-Überdachung“ tritt häufig bei einer Coxa profunda oder Protrusio acetabuli auf. Die lokale exzessive Überdachung findet sich meist anterior, durch eine Malkonfiguration der Pfanne, vor allem bei einer verminderten Anteversion oder einer Retroversion der Pfanne (Reynolds et al. 1999, Siebenrock et al. 2003b, Tannast et al. 2007, Tannast et al. 2008a).

Durch die vergrößerte, abnorme „Über-Überdachung“ des Hüftkopfes kommt es bei Flexion zu einem linearen Kontakt zwischen Hüftkopf-Schenkelhals-Übergang und Pfannenrand. Hierbei werden das Labrum und der randständige Knorpel gequetscht. Dabei kommt es nach und nach zu einem Hebeln des Kopfes, welches eine sogenannte *Contre-Coup Läsion* am gegenüberliegenden postero-inferioren Pfannenknorpel erzeugen kann (Leunig et al. 2005b). Durch dieses chronische Einklemmen kommt es zu Degeneration, Bildung von Ganglien und schlussendlich zu einer Ossifikation des Labrums, welche die Pathomorphologie des Pincer-Impingements noch verstärkt. Dabei entstehen am Anschlagrand Knochenappositionen die das Labrum immer weiter vor sich her schieben und ausdünnen, bis nur mehr Knochen vorhanden ist (Ganz et al. 2003, Leunig et al. 2006). Dieser Knochen kann anschließend vom Acetabulum abbrechen und als *Os acetabulum* in Röntgenbildern imponieren. In Abbildung 3 wird der Mechanismus des Pincer-Impingements bildlich dargestellt.

Eine generelle exzessive Überdachung kann in Röntgenaufnahmen und Schnittbildaufnahmen unter anderem durch den lateralen Zentrum-Erker-Winkel nach Wiberg (kurz LCE Winkel), durch den AC Winkel und andere Methoden vermessen werden. Zeichen für eine Retroversion der Pfanne sind das Cross-over Sign, Ischial Spine Sign und ein negatives Posterior Wall sign. Diese werden im Kapitel 3 „Material und Methoden“ näher beschrieben.

Im allgemein akzeptierten Schadensmodell wird angenommen, dass Cam-Impingement rasch zu großen, in die Tiefe der Pfanne reichenden Knorpelschäden führen kann, während sich der Hauptschaden beim Pincer-Impingement auf den labrumständigen Knorpelrand und das Labrum selbst begrenzt.

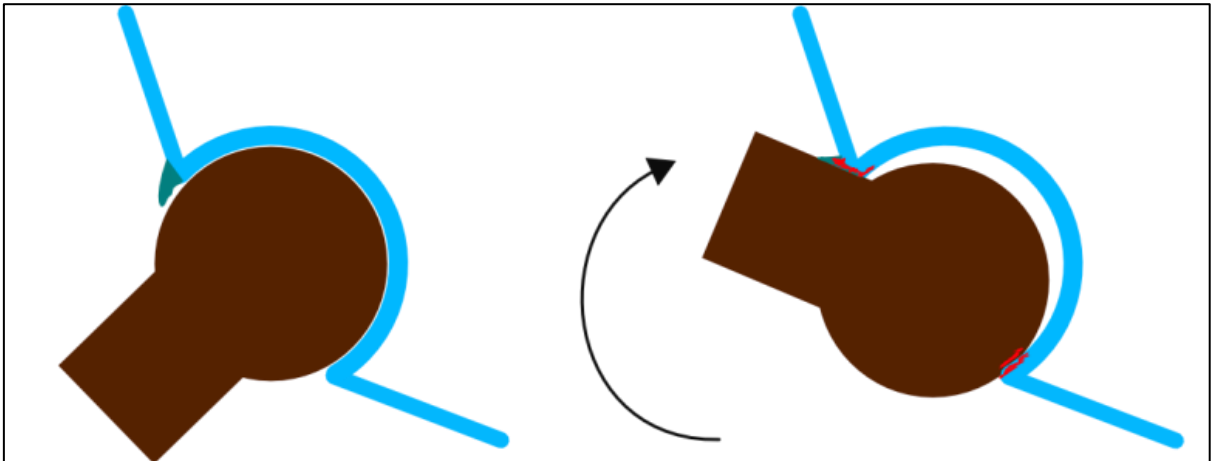


Abbildung 3: Mechanismus Pincer Impingement: Durch die vergrößerte Überdeckung des Hüftkopfes kommt es bei Flexion zur Quetschung des Labrums (grün) und dem randständigen Knorpel, gegenüberliegend kommt es aufgrund der Aushebelung des Kopfes zu einer „Contre-Coup“ Läsion am gegenüberliegenden Pfannenknorpel. Eigene Abbildung modifiziert nach (Ganz et al. 2008).

2.4 Anamnese und klinische Untersuchung bei FAI

Die typischen Patienten mit FAI sind zwischen 20 und 50 Jahre alt, männlich und sportlich. Es wird geschätzt, dass die globale Prävalenz der Erkrankung mindestens zwischen 10% und 15%, wahrscheinlich jedoch sogar noch höher liegt (Leunig et al. 2005b, Ganz et al. 2008, Hack et al. 2010). Das männliche Geschlecht ist häufiger vom Cam-Typ betroffen, beim weiblichen zeigt sich eine Neigung zum Pincer-Typ. Bei den meisten Betroffenen findet man jedoch am häufigsten eine Mischform beider FAI-Varianten (Gosvig et al. 2008).

2008 fanden Gosvig et. al. in ihrer Arbeit, bei der über 4151 Patienten im Rahmen der „Copenhagen Osteoarthritis Study“ auf Cam Anomalien untersucht wurden, eine Prävalenz für ein Cam-FAI von 17% bei Männern und 4% bei Frauen (Gosvig et al. 2008). Auch Hack et al. konnten 2010, wenn auch nur mit kleinerer Fallzahl von 200 Patienten, zeigen, dass die Cam-Morphologie bei Männern häufiger auftritt als bei Frauen: 24,7% der Männer und 5,4% der Frauen hatten ein Cam-Impingement (Hack et al. 2010). Reichenbach et. al konnten in ihrer

Studie eine Prävalenz für ein Cam-Impingement bei Männern von ca. 24% zeigen (Reichenbach et al. 2010).

Diese Feststellung entspricht dem Faktum, dass das Cam-FAI eine Erkrankung junger, sportlicher Männer darstellt (Beck et al. 2005, Hack et al. 2010). Meist treten die Symptome bereits in früheren Lebensabschnitten, im Alter zwischen 20 und 30 Jahren auf. Im Gegensatz dazu kommt es bei Frauen meist später, zwischen dem 30ten und 50ten Lebensjahr, zu Beschwerden (Philippon et al. 2007a, Clohisy et al. 2009b). Auch leiden Frauen häufiger an Pincer-Impingement und seltener an Cam-Impingement (Leunig et al. 2013). In Tabelle 1 werden die Charakteristiken der verschiedenen FAI Varianten dargestellt.

	Cam-Impingement	Pincer-Impingement
Geschlechtsverteilung (Männl.:Weibl.)	14:1	1:3
Durchschnittsalter in Jahren (Range)	32 (21–51)	40 (30–57)
Typischer Knorpelschadensort	Anterio-superiores Acetabulum	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zirkumferent mit/ohne Contre-Coup bei globalen Pincer ▪ Anteriores Acetabulum mit Contre-Coup bei Retroversion des Acetabulums
Assoziierte Erkrankungen (Auszug)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Epiphysiolyse ▪ Subklinische Epiphysiolyse ▪ Morbus Perthes ▪ Trauma mit Retrotorsion des Hüftkopfes ▪ Femorale Retroversion ▪ Wachstumsabnormalität der Hüftkopfepiphyse 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Idiopathische Retroversion ▪ Morbus Perthes ▪ Blasenexstrophie ▪ Iatrogen nach acetabulären Reorientationsoperationen (z.B.: PAO bei Dysplasie)

Tabelle 1: Charakteristiken der Impingementformen: Geschlechtsverteilung, Alter, assoziierte Erkrankungen; modifiziert aus (Tannast et al. 2007).

Die Symptome des FAI sind anfangs eher unspezifisch. Die Patienten berichten meist von belastungs- und bewegungsabhängigen Schmerzen in der Hüfte, die in die Leiste aber auch von der Trochanter-Region bis ins Knie ausstrahlen können. Bei Fortschreiten der Knorpelschädigung kann es zu Beschwerden während längeren Sitzens oder auch zu Dauerschmerzen kommen, sodass sportliche als auch alltägliche Aktivitäten stark

eingeschränkt werden (Clohisy et al. 2009b). Nicht selten werden diese Schmerzen anfangs als Muskelschmerzen, vor allem der Adduktoren oder auch als „*weiche Leiste*“ fehlinterpretiert (Leunig et al. 2005b). Deshalb weisen diese Patienten meist eine lange Krankengeschichte auf, teilweise gefüllt mit unnötigen und falschen physiotherapeutischen Behandlungen, Muskelaufbautraining und nicht indizierten Operationen (Leistenhernienoperationen, Laparoskopien, Laparotomien, Kniearthroskopien, etc.). Umso wichtiger ist die gründliche klinische Untersuchung der betroffenen Patienten, damit im Zusammenspiel mit bildgebenden Maßnahmen die Diagnose FAI korrekt gestellt werden kann.

Am ehesten weisen die Patienten einen limitierten Bewegungsumfang (engl.: *range of motion*, kurz *ROM*) des betroffenen Gelenks auf (Philippon et al. 2007a, Clohisy et al. 2009b). Anfangs ist vor allem die Flexion und Innenrotation im Vergleich mit der gesunden Hüfte eingeschränkt (Klaue et al. 1991). Bei längerem Krankheitsverlauf und Entwicklung einer Koxarthrose kann es zur Bewegungseinschränkung in allen Bewegungsrichtungen kommen.

Während die allgemeine manuelle Hüftuntersuchung bis auf die limitierte ROM meist unauffällig ist und daher auch klassische Hüft-Scores, wie der *Harris-Hip-Score (HHS)*, zur Diagnose FAI ungeeignet sind, kann mit ein paar einfachen klinischen Tests auf eine FAI Symptomatik geschlossen werden (Leunig et al. 2005a, Leunig et al. 2006).

Wichtige Tests zur Evaluation eines FAI schließen den *Impingementtest* und den *FABER-Test* mit ein (Philippon et al. 2007a, Clohisy et al. 2009b):

a.) Impingementtest

Klaue et al. beschrieben diesen Test zum ersten Mal im Jahre 1991 (Klaue et al. 1991). Der Patient liegt hierbei entspannt am Rücken, das betroffene Bein wird in der Hüfte passiv bis 90° Flexion gebeugt, danach forciert nach innen rotiert und evtl. zusätzlich adduziert. Dabei wird der anteriore Schenkelhals dem kranial-medialen Rand des Acetabulums angenähert, bei einem anterioren FAI stößt somit der Schenkelhals an das Acetabulum und das Labrum. Kann bei dieser Bewegung ein Schmerz ausgelöst werden, wird der Impingementtest als positiv gewertet.

Zur Überprüfung des selteneren dorsalen FAI lässt der Patient seine Beine vom Untersuchungstisch herunterhängen. Durch maximale Flexion des gesunden Beines in der

Hüfte sowie im Knie bringt er das zu untersuchende Bein in eine (Hyper-)Extension. Kann nun ein glutealer oder seitlicher Schmerz bei forcierter Außenrotation ausgelöst werden, spricht dies für ein dorso-kaudales Impingement (z.B.: bei Pincer-FAI).

Ein positiver Impingement Test weist dabei stark auf eine Pfannenrandschädigung hin (Leunig et al. 2005b). Obwohl der Test nicht spezifisch für FAI ist, sollte dieser für die korrekte Diagnose FAI auf jeden Fall positiv auszulösen sein (Ganz et al. 2003).

b.) FABER Test

FABER steht für *Flexion, Abduktion* und *externe Rotation* der Hüfte. In Rückenlage wird das betroffene Bein in eine 4-er Position gebracht. Dabei wird im Knie und der Hüfte flektiert und zusätzlich die Hüfte abduziert und nach außen rotiert. Der Außenknöchel des betroffenen Beines sollte hierbei auf dem Knie des gesunden Beines zu liegen kommen. Der Untersucher drückt nun das Knie des kranken Beines mit einer Hand vorsichtig Richtung Tischplatte, während er mit der anderen Hand das Becken auf der gegenüberliegenden Seite stabilisiert. Die Distanz zwischen dem Knie und dem Untersuchungstisch wird vermessen. Der Test gilt als positiv, wenn eine Seitendifferenz festgestellt wird, bei der die betroffene Seite einen längeren Knie-Tisch-Abstand als die gesunde Seite aufweist (Philippon et al. 2007a).

Selbstverständlich sollten diese Tests, falls sie positiv ausfallen und dennoch Zweifel an einem intraartikulären Problem bestehen, nach Injektion von Lokalanästhetikum in das Hüftgelenk wiederholt werden um die intraartikuläre Quelle des Schmerzes zu bestätigen. Zur weiteren Abklärung sollte nach der klinischen Untersuchung eine Bildgebung in Form von konventionellen Röntgenaufnahmen veranlasst werden. (Siehe Kapitel 2.5 Bildgebung bei FAI)

2.5 Bildgebung bei FAI

2.5.1 Konventionelles Röntgen

Die Rolle der Bildgebung liegt vor allem in der Evaluation der Hüfte auf mit FAI assoziierten anormalen Morphologien und im Ausschluss fortgeschrittener Arthrose und anderen Erkrankungen des Gelenks. Dazu zählen zum Beispiel Hüftdysplasie, avaskuläre Nekrose oder Chondromatose und viele andere (Tannast et al. 2007).

Konventionelle Röntgenaufnahmen des knöchernen Beckens und der Hüfte sind in den meisten Fällen die einfachste und am ehesten lokal verfügbare Bildgebungsmethode zur Bestimmung von knöchernen Pathologien im Hüftgelenk.

Der Standard für eine konventionelle, aufschlussreiche Bildgebung der Hüfte sind mindestens zwei Aufnahmen: eine a.-p. Beckenübersichtsaufnahme zur Beurteilung der Pfannenkonfiguration und des lateralen Schenkelhalses sowie eine seitliche Aufnahme des proximalen Femurs zur Beurteilung des anterioren Hüftkopf-Schenkelhalsüberganges (Tannast et al. 2007). Diese seitliche Aufnahme kann entweder als axiale Cross-Table Aufnahme mit Innenrotation des Oberschenkels, als Aufnahme nach Dunn-Rippstein in 45° Flexion oder als Aufnahme nach Lauenstein, auf Englisch auch *frog leg lateral* Aufnahme genannt, angefertigt werden (Clohisy et al. 2007, Clohisy et al. 2008b). Zusätzlich kann eine *Faux profil*-Aufnahme nach Lequesne angefertigt werden, wenn spezielles Interesse am vorderen und posterior-inferioren Teil des Hüftgelenks besteht und dieser beurteilt werden soll.

Es ist wichtig eine a.-p. Beckenübersichtsaufnahme der reinen a.-p. Hüftgelenksaufnahme vorzuziehen, da anders als bei der Beckenübersicht bei dieser die Pfannenkonfiguration und die Pfannenorientierung nicht eindeutig beurteilt werden können (Tannast et al. 2007).

Die Röntgenbilder sollten systematisch auf die Konfiguration der Pfanne (vermehrte/verminderte, globale/lokale Überdachung) und auf eine pathognomische knöcherne Morphologie des proximalen Femurs hin untersucht werden. Ebenfalls wichtig hinsichtlich der Therapieplanung ist festzuhalten, ob eventuell bereits eine Arthrose im Röntgenbild zu erkennen ist oder das Gelenk noch keinen sichtbaren Schaden davongetragen hat. Die einzelnen radiologisch-diagnostischen Zeichen eines FAI und deren Messmethoden

sowie die Beurteilung über die Qualität der Durchführung einer a.-p. Beckenübersichtsaufnahme werden im Kapitel 3.3 näher erläutert.

Während die konventionelle Röntgenaufnahme durchaus geeignet ist die knöcherne Morphologie des Hüftgelenks darzustellen, muss, um eventuelle Weichteilschäden noch vor einem invasiven Eingriff beurteilen zu können, eine weitere Bildgebung in Auftrag geben werden. Dafür hat sich im Laufe der Jahre die Magnetresonanztomographie, vor allem in Kombination mit Kontrastmittelverfahren, als ideales Hilfsmittel erwiesen. Genauer ist in Kapitel 2.5.2 nachzulesen.

2.5.2 Erweiterte Bildgebung: Computertomographie, Magnetresonanztomographie und MR Arthrographie

Neben dem konventionellem Röntgen sind auch die Computertomographie (CT) (Beaule et al. 2005) und die Magnetresonanztomographie (MRT) (Ito et al. 2001, Nötzli et al. 2002, Pfirrmann et al. 2006) validierte und zuverlässige bildgebende Methoden um das Hüftgelenk bei Verdacht auf FAI zu untersuchen.

Während konventionelle Röntgenaufnahmen gut zur Darstellung grober anatomisch-morphologischer Veränderungen des Knochens und des Gelenks geeignet sind, können mit dieser Methode dennoch einfache und minimal abnorme Veränderungen übersehen werden. Die dreidimensionale Untersuchung mittels Computer- oder Magnetresonanztomographen hilft dabei, diese minimalen Pathologien deutlicher sichtbar zu machen.

Die Stärke einer CT-gestützten Untersuchung liegt in der besseren Knochenstrukturdarstellung sowie in der einfacheren Möglichkeit dreidimensionale Rekonstruktionen zu erstellen. Diese ermöglichen eine bessere Veranschaulichung der räumlichen Beziehung zwischen Femur und Acetabulum und erlaubt zusätzlich eine Bewegungssimulation (Beaule et al. 2005). Dennoch wird eine MRT bzw. eine MR-Arthrographie (MRA) aufgrund der besseren Beurteilbarkeit der Weichteile, vor allem des Labrums und Knorpels, und einer fehlenden Strahlenbelastung der CT vorgezogen. Die CT bleibt somit nur eine Alternative zweiter Wahl für Patienten mit Kontraindikationen gegen eine MRT-Untersuchung. Dazu zählen unter anderem Klaustrophobie, Schrittmacherimplantate und MR-inkompatible Implantate.

Die MRT- und MRA-Untersuchung steht heutzutage routinemäßig an der zweiten Stelle im bildgebenden Untersuchungsablauf bei Verdacht auf FAI. Zunächst werden konventionelle Röntgenaufnahmen angefertigt, anschließend wird dann eine MRT oder MR-Arthrographie durchgeführt um die Weichteile besser beurteilen zu können und um sich ein dreidimensionales Bild des betroffenen Gelenks zu verschaffen (Tannast et al. 2007).

Eine gewöhnliche, native MRT-Aufnahme des gesamten Beckens ist leider kaum zur Darstellung subtiler Veränderungen der Labrum- und Knorpelstrukturen der Hüfte geeignet. Zu diesem Zwecke, sprich zur Verbesserung der räumlichen Kontrastauflösung, hat sich die Verwendung von Oberflächenspulen mit modernen Scannern mit höheren Feldstärken durchgesetzt (Leunig et al. 1997, Leunig et al. 2005b). Eine moderne MRT oder MR-Arthrographie kann daher durchaus genutzt werden um Labrumrisse zu bestätigen oder auszuschließen und um den Schaden am Knorpel bis zu einem gewissen Grad (Siehe nächstes Kapitel 2.5.3) nachzuprüfen. Sie eignen sich aber auch um das Hüftgelenk auf andere pathologische Zeichen eines FAI hin zu untersuchen, wie zum Beispiel auf eine abnorme knöcherne Morphologie. Ein großer Vorteil der MRT ist die Möglichkeit der multi-planaren Bildgebung, die Schichtbilder können in allen möglichen gewünschten Ebenen gemessen oder nach der Untersuchung errechnet und dargestellt werden. Standardschnittbilder schließen Aufnahmen in der Koronar-, Sagittal- und einer axial-schrägen Ebene mit ein. Zusätzlich ermöglichen speziell rekonstruierte, radiäre Aufnahmen um die Schenkelhalsachse eine umfassendere und sensitivere Beurteilung des Schenkelhalses sowie des kompletten Pfannenrandes (Locher et al. 2002, Rakhra et al. 2009).

Der direkten MR-Arthrographie, also einer MRT-Untersuchung mit zusätzlicher intraartikulärer Injektion von Kontrastmitteln auf Gadolinium-Basis, sollte gegenüber der normalen, nativen MRT-Untersuchung bei Fehlen von Kontraindikationen aufgrund der besseren Darstellung von kleineren Weichteilstrukturen der Vorzug gegeben werden (Hodler et al. 1995, Leunig et al. 1997, Beaulé et al. 2004). Erst vor kurzem, 2014, konnten Sutter et al. in einer aktuellen Arbeit erneut zeigen, dass eine MRA im Vergleich mit einer normalen MRT-Untersuchung eine bedeutend höhere Sensitivität bei der Diagnose von Labrumschäden aufweist: die Sensitivität einer MRA betrug 69%-81%, die der gewöhnlichen MRT 50% (Sutter et al. 2014).

Die genauen radiologischen Zeichen eines FAI und Messmethoden bei MRT- und MRA-Schnittbildaufnahmen werden in Tabelle 2 dargestellt und in Kapitel 3.4 näher erläutert.

	Cam Impingement	Pincer Impingement
a.-p. Beckenübersichtsaufnahme	<ul style="list-style-type: none"> • Pistol-Grip Deformität • Horizontal Growth Plate sign • Steigender α-Winkel • $\frac{1}{2}$ radial height/radius ratio • Coxa vara 	<ul style="list-style-type: none"> • Coxa profunda • Protrusio acetabuli • Crossover sign • Ischial spine sign • Posterior wall sign • LCE Winkel $\geq 40^\circ$ • AC Winkel $< 0^\circ$ • Ossifikation des Labrums • Os acetabuli
Seitliche Schenkelhalsaufnahme	<ul style="list-style-type: none"> • α-Winkel $> 55^\circ$ • Head-Neck offset $< 8\text{mm}$ • Offset-Ratio < 0.18 	<ul style="list-style-type: none"> • Linear Indentation sign
MRT / MRA Schnittbilder	<ul style="list-style-type: none"> • α-Winkel $> 55^\circ$ 	Verminderte acetabuläre Tiefe
Generelle Hinweise	<ul style="list-style-type: none"> • Herniation pits • Arthrose-Zeichen 	

Tabelle 2: Radiologische Hinweise auf Impingement; modifiziert aus (Tannast et al. 2007).

2.5.3 Bildgebende Diagnostik von Knorpelschäden am Hüftgelenk: eingeschränkte Sensitivität

Eine MRA Untersuchung der betroffenen Hüfte gehört heutzutage beinahe zum Standard für die Diagnose FAI. Neben der Möglichkeit die knöcherne Morphologie der Pfanne zu vermessen und das Ausmaß einer evtl. vorhandenen Asphärizität des Hüftkopfes zu ermitteln, hilft die intraartikuläre Injektion von Kontrastmittel vor allem bei der Erkennung von Labrumläsionen. Labrumrisse weisen eine hohe Signalintensität zwischen Labrum und Pfannenknorpel auf, wenn das Kontrastmittel in die Läsion eindringt (Leunig et al. 2005b). Etwaige Ossifikationen des Labrums, sowie Ganglien im Labrum sind in der MRT/MRA ebenso erkennbar, wie ein degeneriertes Labrum, welches sich durch Signal- und Größenalterationen und eine irreguläre Oberfläche darstellen kann (Werlen et al. 2005).

Was die Untersuchung des Labrums angeht, hat sich die MRA vor der nativen MRT als die Untersuchung erster Wahl etabliert. Mehrere Studien konnten zeigen, dass die Sensitivität bei der Beurteilbarkeit von Labrumrisse im MRA im Abgleich mittels Arthroskopie bei sehr

guten 71% bis 100% liegt (Chan et al. 2005, Freedman et al. 2006, Toomayan et al. 2006, Reurink et al. 2012, Aprato et al. 2013, Sutter et al. 2014).

Smith et al. zeigten 2011 in einer Metaanalyse von 18 Publikationen, dass die Sensitivität zur Diagnose von Labrumrissen bei der MRA bei 87% und die Spezifität bei 64% liegen. Die normale native MRT Untersuchung zeigt im Vergleich eine niedrigere Sensitivität (66%), aber eine moderat höhere Spezifität (79%) (Smith et al. 2011).

Knorpelläsionen am Acetabulum sind im Vergleich mit Labrumdefekten im MRT/MRA noch schwieriger korrekt zu beurteilen. Während eine inhomogene Struktur oder eindeutige Defekte für einen großen, weit fortgeschrittenen Knorpelschaden sprechen, sind die anfänglichen subchondralen Ablösungen des Knorpels, vor allem wenn dieser in seiner Struktur noch weitestgehend intakt ist, sehr schwer zu erkennen (Leunig et al. 2006). Wenn sich Gadolinium zwischen Knorpellappen und subchondralen Knochen ausbreiten kann, kann man das sehr spezifische *inverted Oreo cookie sign* erkennen (Beaule et al. 2003). Dies ist jedoch ein eher seltener Fund, oft wird eine Knorpeldelamination auch in der MRA übersehen (Pfirrmann et al. 2006). Die Sensitivität, Spezifität und Präzision von MRA Untersuchungen hinsichtlich der Detektion von Knorpelschäden liegen zwischen 22%–97% (Sensitivität), 57%–100% (Spezifität) und 57%–81% (Präzision) (Hodler et al. 1995, Leunig et al. 1997, Schmid et al. 2003, Keeney et al. 2004, Knuesel et al. 2004, Pfirrmann et al. 2008, Anderson et al. 2009, Zaragoza et al. 2009, Aprato et al. 2013, Sutter et al. 2014). Eine aktuelle Meta-Studie aus dem Jahr 2013 von Smith et al. schließt 18 Publikationen mit ein und vergleicht die Sensitivität und Spezifität von konventionellen MRT mit MRA hinsichtlich der Detektion von Knorpelschäden. Die dabei festgestellte gepoolte Sensitivität und Spezifität der MRA betragen nur knapp 62% bzw. 86% (Smith et al. 2013). Die Sensitivität für die Entdeckung von delaminierten Knorpel liegt bei mageren 22% (Anderson et al. 2009).

Wie anhand dieser Zahlen festgestellt werden kann, ist die Identifizierung acetabulärer Knorpelschäden auch im MRT/MRA schwierig und in weitem Maße von der Erfahrung des untersuchenden Radiologen abhängig. Schlussendlich ist es wichtig, dass der Chirurg während der Operation den Knorpel auf Schäden gewissenhaft überprüft um keinen in der Bildgebung übersehenen Schaden unbehandelt zu lassen. Basierend auf der limitierten Genauigkeit der aktuellen bildgebenden Diagnostik ist und bleibt die Hüftarthroskopie momentan noch der Goldstandard zur Überprüfung von Knorpelschäden in der Hüfte (Smith et al. 2013).

2.6 Behandlung des FAI: die Rolle der Hüftarthroskopie bei FAI

In Anbetracht der Tatsache, dass die Ursachen eines FAI rein morphologischer, anatomischer Natur sind, macht es Sinn, dass eine konservative Therapie nicht kausal sein kann und auch daher meistens nur temporär Abhilfe verschafft. Zu angewandten konservativen Therapiemodalitäten gehören unter anderem die Verschreibung von nichtsteroidalen Antirheumatika (NSAR, auf Englisch: NSAID, non-steroidal anti-inflammatory drugs), die Modifikation bzw. Reduktion der sportlichen Aktivität sowie die physiotherapeutische Stärkung der Rumpfmuskulatur. Das physiotherapeutische Ziel einer Verbesserung der Beweglichkeit und der Dehnbarkeit in der Hüfte ist kontraproduktiv und verschlimmert nur die Symptomatik (Leunig et al. 2005b). Nur die operative Entfernung beziehungsweise die Reduktion der abnormen Morphologie, das heißt das Beheben der Impingement-Ursache, und die damit verbundene Vergrößerung des impingementfreien Bewegungsausmaßes hilft kausal. Dies sollte am besten möglichst früh durchgeführt werden, möglichst noch bevor der Knorpel und das Labrum zu viel Schaden erlitten haben und damit der Grundstein zur Entwicklung der Hüftgelenksarthrose gelegt worden ist (Ganz et al. 2003, Lavigne et al. 2004, Leunig et al. 2006, Ganz et al. 2008). Die zwei etablierten Standardmethoden zur Operation des FAI Hüftgelenks sind die chirurgische Hüftluxation und die Hüftarthroskopie.

2.6.1 Die chirurgische Hüftluxation

Ohne genaue Kenntnisse über die Blutversorgung des Femurkopfes war das Risiko bei einer Hüftluxation eine Hüftkopfnekrose zu verursachen eine lange Zeit zu groß, als dass diese Operationsmethode für gelenkserhaltende Eingriffe sinnvoll gewesen wäre. Bereits in den 60er Jahren beschrieb Hipp gestützt mit der Technik der Angiographie die Blutversorgung des Femurkopfes und die Zusammenhänge mit der Hüftkopfnekrose (Hipp 1962, Hipp 1963). Auch Sevitt S. und Thompson R. G. hatten bereits 1965 ausführlich die Blutversorgung des Femurkopfes untersucht und festgestellt, dass die superioren, netzartigen Kollumgefäße für die Hauptversorgung des Kopfes verantwortlich sind (Sevitt et al. 1965). Im Jahr 2000 konnte in der Arbeit von Gautier E. bestätigt werden, dass der tiefe Ast der *Arteria circumflexa femoris medialis* (engl. *Medial femoral circumflex artery, MCFA*) und dessen Endäste die wichtigste Blutversorgung des Femurkopfes darstellen (Gautier et al. 2000). Dies bahnte den Weg zur „Nekroserisiko“-freien Operationsmethode. Gewappnet mit detailliertem Wissen um die

Wichtigkeit der A. circumflexa femoris medialis und deren genauen anatomischen Verlauf um den Schenkelhals entwickelte die Arbeitsgruppe um Ganz die Technik der modernen chirurgischen Hüftluxation und ermöglichte damit neue Einblicke in die Pathologien am Hüftgelenk (Ganz et al. 2001a).

Bei der chirurgischen Hüftluxation handelt es sich um eine ventrale Luxation des Femurkopfes nach digastrischer Trochanter-Flip-Osteotomie mit Z-förmiger Kapsulotomie. Diese Methode erlaubt eine freie Sicht auf die Pfanne und den Femurkopf und ermöglicht somit die effiziente Behebung von Impingement-Ursachen sowie reparative Maßnahmen an Knorpel und Labrum (Lavigne et al. 2004, Leunig et al. 2006, Clohisy et al. 2008a). Der Ort des Impingements kann ohne Probleme identifiziert werden, Labrum und Knorpeloberflächen des Kopfes sowie der Pfanne können eingesehen und auf Schäden kontrolliert werden.

Bei vorhandenem Cam-Impingement kann durch eine Resektions-Osteoplastik der asphärische Teil des Hüftkopfes unter Kontrolle und Erhalt der im Retinakulum verlaufenden Endäste der A. circumflexa femoris medialis weggetrimmt werden (Lavigne et al. 2004). Dafür wird zuerst der asphärische Teil des Hüftkopf-Schenkelhalsüberganges ausfindig gemacht. Die Grenze zwischen sphärischem und asphärischem Hüftkopf lässt sich durch die unterschiedliche makroskopische Morphologie gut erkennen: Während sich der hyaline Knorpel des sphärischen Anteils weiß und glatt darstellt, zeigt sich der Anteil des Kopfes, der beim Impingement an der Pfanne anschlägt, meist rau und rotbräunlich injiziert (Lavigne et al. 2004). (Siehe Abbildung 4)

Der asphärische Anteil wird dann mit Osteotomen und Meiseln nach und nach abgetragen und das Ausmaß der Resektion wird mittels Überprüfung der impingementfreien Beweglichkeit im Gelenk oder mittels Schablonen überprüft (Ganz et al. 2001a, Ganz et al. 2003, Leunig et al. 2005b).

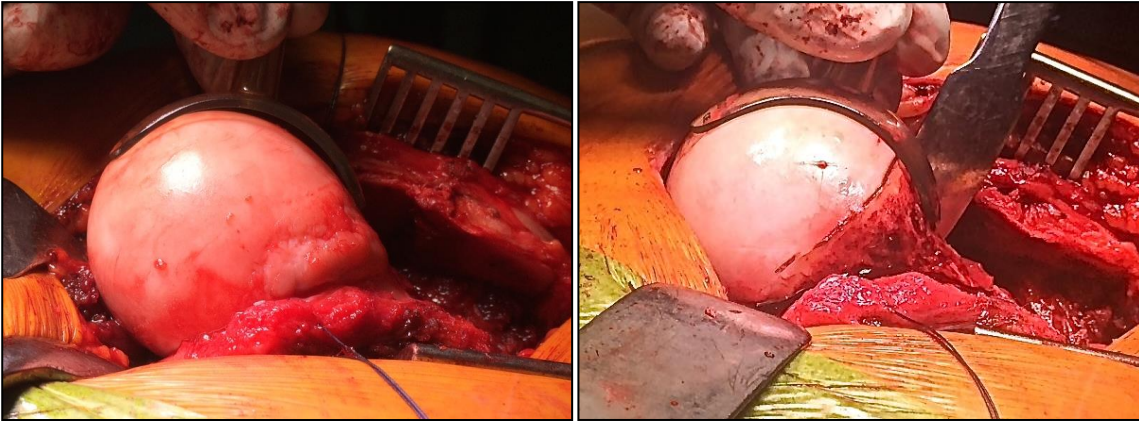


Abbildung 4: Intraoperativer Befund - Linkes Bild: Asphärizität des Femurkopfes wird mittels einer Schablone nachgewiesen – Rechtes Bild: Zustand nach Resektion der Asphärizität, Quelle: Prof Dr. Gollwitzer

Für jede operative Methode, sei es die Luxation oder die Arthroskopie, sollte das Ziel des Chirurgen eine Normalisierung der Anatomie von Pfanne und Hüftkopf-Schenkelhalsübergang sein. Momentan wird davon ausgegangen, dass dies einem Alpha-Winkel von ca. 43° und einer Resektion von ca. 20%–30% des Schenkelhalses entspricht (Mardones et al. 2005, Neumann et al. 2009).

Bei einem Pincer-Impingement kann man zur Behebung der globalen (Protrusio acetabuli) sowie der lokalen (Retroversion) „Über-Überdachung“ den exzessiven Pfannenrand möglichst unter Erhaltung des Labrums reseziieren (Lavigne et al. 2004, Leunig et al. 2005b). Bei acetabulärer Retroversion kann bei jungen Patienten ohne bereits vorhandenem Knorpelschaden eine „reversed“ Periazetabuläre Osteotomie (PAO) indiziert sein (Siebenrock et al. 2003b).

Wenn allerdings bereits ein Knorpelschaden vorliegt, ist eine reine Trimmung des Pfannenrandes der PAO vorzuziehen (Leunig et al. 2006). Aufgrund seiner wichtigen Aufgaben für die reibungslose Gelenkfunktion, unter anderem die Lubrikation des Gelenks sowie die Druckverteilung, sollte das Labrum bei der Pfannenrandtrimmung wenn möglich erhalten bleiben (Ferguson et al. 2000a, Ferguson et al. 2000b, Hlaváček 2002, Ferguson et al. 2003, Anderson et al. 2009). Dafür wird das Labrum vorsichtig vom zu resezierenden Pfannenrand mittels eines scharfen Skalpell abgelöst. Bei diesem Schritt muss darauf geachtet werden, dass die Kontinuität des Labrums erhalten bleibt. Anschließend wird der Pfannenrand mit Meiseln getrimmt und das Labrum dann mit Knochenankern refixiert (Lavigne et al. 2004).

Das Labrum sollte nur entfernt werden, wenn es zu gravierende Schäden aufweist, beispielsweise wenn es bereits komplett degeneriert oder ossifiziert ist. In mehreren Studien konnte ein besseres klinisches Ergebnis bei Labrumerhalt gegen Resektion gezeigt werden (Lavigne et al. 2004, Espinosa et al. 2006, Leunig et al. 2006, Peters et al. 2006, Philippon et al. 2009, Schilders et al. 2011). Die Arbeitsgruppe um Haddad B. versuchte die aktuelle Literatur einer Meta-Analyse zu unterziehen, dies scheiterte aber an der Heterogenität der Studien (Haddad et al. 2014). Obwohl die klinischen Ergebnisse für die Resektion des Labrums akzeptabel sind (Byrd et al. 2010), macht es allerdings Sinn einen instabilen Riss in einem sonst gesunden Labrum zum Erhalt seiner natürlichen physiologischen Funktion eher zu reparieren, als das Labrum zu reseziieren (Haddad et al. 2014).

Nachteile der chirurgischen Luxation im Vergleich zur arthroskopischen Behandlung des Impingements sind unter anderem die Invasivität des Eingriffes und die damit verbundenen höheren Risiken wie stärkerer Blutverlust, Wundheilungsstörungen, Infektionsgefahr mit septischer Arthritis, iatrogene Schädigung vom Knorpel und Weichteilen, tiefe Venenthrombose sowie die luxationsspezifische Möglichkeit einer Trochanterpseudoarthrose. Obwohl das Risiko einer avaskulären Nekrose immer besteht, kommt diese bei Erhalt der Kollumgefäße praktisch nicht vor (Ganz et al. 2001a, Lavigne et al. 2004, Peters et al. 2006).

Zusätzliche für Cam-Impingement spezifische aber von der Operationsmethode unabhängige Behandlungsrisiken sind die Unter- oder Überkorrektur des Höckers (engl. Cam) und eine Schenkelhalsfraktur. Zur Risikominderung einer Schenkelhalsfraktur sollte die Resektion 30% des Schenkelhalsdurchmessers nicht überschreiten (Mardones et al. 2005).

Ebenfalls muss die Konversation zu einer totalen Hüftprothese als potentiell negatives Outcome bzw. Versagen der Erstbehandlung gewertet werden. Dies tritt unabhängig von der Operationsmethode gehäuft bei Patienten mit starken Knorpelschäden und bereits vorhandener Gelenksarthrose größer als Grad 2 der Tönnis Skala auf (Beck et al. 2004, Murphy et al. 2004, Peters et al. 2006, Byrd et al. 2010, McCarthy et al. 2011).

2.6.2 Die Arthroskopie der Hüfte

Der erste klinische Report über die Anwendung der Arthroskopie bei der Hüfte wurde 1939 von vom Takagi Kenji, dem Erfinder der Arthroskopie und Vorreiter im Gebiet minimal invasiver Gelenkeingriffe, verfasst (Takagi 1982). Es dauerte aber bis in die späten 80er Jahre bis die Technik und Instrumente soweit fortgeschritten waren, dass mit der Entwicklung der Hüftarthroskopie in der lateralen Position die Arthroskopie der Hüfte ein sicherer und reproduzierbarer Eingriff wurde (Glick et al. 1987). Die 90er Jahre und das neue Jahrtausend brachten weitere effiziente Neuerungen im Gebiet der Technik, sodass die Hüftarthroskopie heutzutage als Standardinstrument in der Diagnose und Behandlung von Hüftleiden eingesetzt wird (McCarthy 1995, Ilizaliturri et al. 2005a, Byrd 2006a, Byrd 2006b).

Zu den Hauptindikationen für die Hüftarthroskopie gehören unter anderem freie Gelenkkörper, synoviale Erkrankungen, Labrum- sowie Knorpelschäden, Osteonekrose, Osteophyten, Instabilität und Risse im Ligamentum teres, adhäsive Kapsulitis, Gelenksinfektion und nicht zuletzt diagnostische Eingriffe bei unbekanntem Hüftschmerzen (Byrd 2006a, Byrd 2006b). Waren Reinhold Ganz und seine Arbeitskollegen 2004 noch der Meinung, dass aufgrund der Komplexität der Behandlung des FAI die Rolle der Arthroskopie vorerst nur eine supportive Rolle (im Sinne von einem Débridement) spielen wird und eine kausale Behandlung mittels Arthroskopie nicht nur technisch höchst anspruchsvoll sondern vielleicht sogar unmöglich ist (Lavigne et al. 2004), so stellt die Behandlung des FAI heute einen der Hauptgründe für einen arthroskopischen Eingriff an der Hüfte dar (Lynch et al. 2013). Die ersten arthroskopischen Behandlungsmethoden für das Cam-Impingement wurden bereits ein Jahr später (2005) von Thomas Sampson vorgestellt (Sampson 2005). Die Arbeitsgruppe rund um Marc Philippon stellte anschließend 2007 die arthroskopische Methodik zur Behandlung des Pincer-Impingements vor (Philippon et al. 2007b).

Die komplexe Anatomie des Hüftgelenkes sowie der technische Aufwand führen zu einer flachen Lernkurve für den Chirurgen. Aus diesem Grund sind vor allem die Patientenselektion, die richtige Patientenlagerung und Portalsetzung um Zugang zum Gelenk zu bekommen von großer Bedeutung (Ilizaliturri et al. 2005b, Byrd 2006a). Gerade die Lagerung des Patienten und die Platzierung der Portale sind je nach Operateur und seinen Erfahrungen sehr unterschiedlich. Die seitliche Lagerung, die ursprünglich von Glick und Sampson 1987

entwickelt wurde, kommt genauso häufig zum Einsatz wie die Rückenlagerung, die von Thomas Byrd 2001 publiziert wurde (Glick et al. 1987, Byrd 2001, Byrd 2005).

Beiden Lagerungen haben zwei Hauptarbeitsschritte gemeinsam. Unter Traktion wird zunächst das zentrale Kompartiment der Hüfte (Gelenkspalt, Acetabulum, Femurkopf) untersucht und eventuell vorhandene intraartikuläre Schäden sowie das Pincer-Impingement behandelt. Danach wird unter Reduktion der Traktion sowie partieller Synovektomie und ggf. einer Kapsulotomie das periphere Kompartiment der Hüfte und der antero-laterale Schenkelhals dargestellt um ein eventuell vorhandenes Cam-Impingement zu behandeln.

Obwohl es momentan nur Kurzzeitstudien zur Effizienz und Outcome bei der arthroskopischen Behandlung des FAI gibt, zeigt sich laut den Metaanalysen von Bedi et al. 2008 und Ng et al. 2010 kein signifikanter Unterschied im klinischen Ergebnis im Vergleich zur Behandlung mittels chirurgischer Dislokation (Bedi et al. 2008, Ng et al. 2010). Die offene sowie die arthroskopische Behandlung des FAI erzielen sehr gute Resultate (Ng et al. 2010). Somit ist die chirurgische Dislokation, der bisherige Goldstandard in der Behandlung von FAI, keineswegs der arthroskopischen Behandlung des FAI überlegen. Die Arbeitsgruppe um Bedi evaluierte neunzehn Studien, davon zwölf Arthroskopie-Studien und sieben mit chirurgischer Dislokation. Es zeigte sich, dass 93% aller auf Labrumrisse und FAI behandelten Patienten wieder anfangen Sport zu treiben. Insgesamt waren 67% bis 100% der Patienten mit dem Resultat der Operation zufrieden (Bedi et al. 2008). Damit steht die arthroskopische Behandlung der chirurgischen Dislokation, auch was die Patientenzufriedenheit angeht, nichts nach (Lynch et al. 2013). Beim Vergleich der direkten Behandlung des FAI mit der Implantation eines künstlichen Hüftgelenks zeigen sich für Patienten nach einer FAI Operation akzeptable postoperative Verhältnisse (Impellizzeri et al. 2013).

2.6.3 Therapie von Knorpelschäden im Hüftgelenk

Während es beim Knie bereits viele etablierte Methoden mit Langzeitstudien zur Behandlung von Knorpelschäden gibt, herrscht bei der Hüfte und der Behandlung von Knorpelschäden am Acetabulum in der Fachliteratur mangels Langzeitstudien noch kein Fachkonsensus.

Im Knie hat sich die Mikrofrakturierung zur Anreizung von Faserknorpelwachstum bei Knorpelschäden der Outerbridge Klasse III und IV als erfolgreich erwiesen und als Standardtherapie für Schäden größeren Ausmaßes durchgesetzt (Steadman et al. 2003). Wenn die Ergebnisse der Kniechirurgie auf die Hüfte extrapoliert werden, ist die Mikrofrakturierung sehr wahrscheinlich eine sichere und effektive Methode um höhergradige Knorpelschäden zu behandeln (Lienert et al. 2005). McCarthy et al., Byrd et al. sowie die Arbeitsgruppe um Philippon konnten beispielsweise in Kurzzeitstudien gute Ergebnisse nach Mikrofrakturierung höhergradiger, acetabulärer Knorpelschäden zeigen (McCarthy et al. 2003, Byrd et al. 2004, Philippon et al. 2008). Die Studie von Philippon et al. berichtet über die sichtbaren Ergebnisse bei Revisionsarthroskopie nach vorangegangener Behandlung mittels Mikrofrakturierung: Acht von neun Patienten zeigten eine 95%–100% Deckung des isolierten mikrofrakturierten Knorpeldefektes, nur bei einem Patienten mit diffuser Arthrose versagte die Therapie. Bei diesem zeigte sich eine Knorpeldefektdeckung von nur 25% des Defektes (Philippon et al. 2008). Auch Sampson empfiehlt in seinem neuesten Paper „*Arthroscopic treatment for chondral lesions of the hip*“ das Débridement von stärker geschädigtem Knorpel und die anschließende Mikrofrakturierung der freigelegten Stelle (Sampson 2011).

Was die FAI-spezifische Schadensform der Delamination des Knorpels betrifft, wird von Giles Stafford, Jonathan Bunn und Richard Villar die Unterspritzung des Knorpellappens mittels Fibrinkleber nach möglicher vorheriger Mikrofrakturierung des subchondralen Knorpels empfohlen. Nach drei Jahren Follow-Up hatten Sie nur drei Revisionen bei 102 behandelten Patienten (Stafford et al. 2011). Auch Thomas Sampson empfiehlt bei *full-thickness Delaminationen* und *Wave-Signs* ohne gerissenen Labrumknorpelübergang die Klebung mittels Fibrin. Bei zusätzlich gerissenem Labrumknorpelübergang betont er die erhöhte Wichtigkeit der Wiederherstellung des Labrumknorpelüberganges, sodass der geklebte Knorpel nicht anschließend bei Bewegung des Hüftgelenkes wieder abgeschoren wird (Sampson 2011).

Über modernere Methoden wie zum Beispiel die *autologe Chondrozytentransplantation (ACT)* gibt es noch wenige aufschlussreiche Studien. In einer Pilotstudie verglichen Fontana et al. 2012 zwei Patientengruppen zu je fünfzehn Patienten. Patienten der ersten Gruppe wurden mit der Einbringung von autologen Chondrozyten mittels BioSeed-C Zellträger auf die Knorpeldefekte behandelt, Patienten der zweiten Gruppe nur mittels Débridement des Knorpeldefektes. Zwar verbesserte sich bei beiden Gruppen postoperativ der Harris Hip Score, jedoch war eine stärkere Verbesserung des Scores bei der ACT-Gruppe zu beobachten. Der HHS der ACT-Gruppe betrug 86 Punkte, der der Débridement-Gruppe im Schnitt 65 Punkte (Fontana et al. 2012).

Auch über die *Osteochondrale Autograft Transplantation (OATS)* in der Hüfte gibt es nur wenige Erfahrungsberichte. Eine kleine Studie von Field et al. zeigte 2011, dass die OATS als Methode zur Behandlung von Knorpelschäden durchaus arthroskopisch in der Hüfte angewandt werden kann. CT-Kontrollen nach sechs Monaten zeigten gute Resultate mit entsprechendem Heilungsverlauf der eingebrachten Transplantate (Field et al. 2011).

Alles in allem sind weitere qualitativ hochwertige Studien notwendig, bis es einen auf Evidenz basierenden Konsens hinsichtlich der verschiedenen Behandlungsalternativen für acetabuläre Knorpelschäden geben wird. Deshalb ist es umso wichtiger Patienten mit FAI rechtzeitig zu behandeln, möglichst noch bevor sie schwere Knorpelschäden entwickeln. Es ist zu beachten, dass nur die reine Behandlung vom Knorpel- oder Labrumschaden ohne Behebung der Ursache (Cam, Pincer) nicht sinnvoll ist, sondern der Auslöser immer mitbehandelt werden muss.

2.7 Fragestellung der Arbeit: Welche Risikofaktoren beeinflussen den Knorpelschaden?

Das FAI stellt eine der Hauptursachen für die Entwicklung der *Koxarthrose* dar. Zusätzlich zeigen FAI-assoziierte Deformitäten des Schenkelhalses bzw. abnorme Pfannenkonfigurationen eine recht hohe globale Prävalenz, und bei weitem nicht alle Menschen mit einer Cam- oder Pincer-Deformität entwickeln eine Arthrose (Leunig et al. 2006). Nachdem nicht-invasive Untersuchungsmethoden wie eine MRT bzw. eine MRA nur eine sehr eingeschränkte Sensitivität für die Diagnose und Vorhersage auf etwaige Knorpelschäden aufweisen, ist es wichtig, dass geeignete Parameter zur Prognose und Risikoerstellung für die Entstehung schwerer acetabulärer Knorpelschäden und der damit verbundenen Entwicklung der Koxarthrose gefunden werden. Dies ist von enormer Wichtigkeit, um die Patienten zu identifizieren, die besonderes Risiko für höhergradige Knorpelschäden besitzen und damit von einer Operation besonders profitieren. Von klinischen Untersuchungsmethoden hin zu verschiedensten Röntgenparametern gibt es eine Vielzahl von Zeichen und Messmethoden, die mit dem FAI assoziiert werden bzw. die das FAI definieren. Viele dieser Einzelbeobachtungen sind im Laufe der Jahre in den Symptomkomplex FAI aufgenommen worden.

Das Ziel dieser Arbeit ist festzustellen, ob bestimmte klinische Parameter, radiologische Beobachtungen und Messwerte mit dem Ausmaß (Stärke und Größe) des acetabulären Knorpelschadens korrelieren und somit Risikofaktoren für eine Gelenksschädigung darstellen. Damit sollen in Zukunft Risikopatienten eher erkannt und dementsprechend frühzeitig behandelt werden können.

Zu diesem Thema gibt es bisher zwei Arbeiten, in denen gezeigt werden konnte, dass die Einschränkung der Innenrotation der Hüfte sowie der Alpha-Winkel mit dem Risiko auf acetabulären Knorpelschaden assoziiert sind (Johnston et al. 2008, Anderson et al. 2009). Die Parameter (Tabelle 7, Seite 32), die in dieser Arbeit zur Analyse auf Risikofaktoren erhoben wurden, sowie die genaue Methodik der Datenerhebung als auch die Beschreibung der Messmethoden werden in dem folgenden Kapitel 3 „Material und Methoden“ genau beschrieben.

3. Material und Methoden

3.1 Studiendesign und Patientenselektion

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine monozentrische retrospektive Studie, welche an der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie am Klinikum rechts der Isar der TU München durchgeführt wurde. Es wurde ein konsekutives Patientenkollektiv gewählt. Alle zwischen Juli 2008 und Mai 2013 am Klinikum rechts der Isar durchgeführten Hüftarthroskopien eines einzelnen Operateurs (Prof. Dr. H. Gollwitzer) wurden auf Erfüllung von Ein- und Ausschlusskriterien überprüft. Die Suche ergab 318 durchgeführte Arthroskopien für diesen Zeitraum.

Eine Datenbank wurde in dem Programm Excel® (Microsoft, Redmond, Washington USA) angelegt um alle Daten der Arbeit zusammenzutragen.

Eingeschlossen wurden alle Operationen, die aufgrund eines FAI durchgeführt wurden. Die Ausschlusskriterien umfassen unter anderem: Voroperationen an der Hüfte, Hüftkopfnekrose, Chondromatose, pigmentierte villonoduläre Synovialitis (PVNS), Dysplasie, rheumatoide Gelenkentzündungen und diagnostische Eingriffe ohne Hinweis auf FAI. Ausgeschlossen wurden auch Patienten, bei denen neben dem FAI eine weitere relevante präarthrotische Deformität bestand bzw. weitere wesentliche Risikofaktoren für die Entwicklung eines Knorpelschadens. Die Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 3 dargestellt.

Nach Anwendung von Ein- und Ausschlusskriterien blieben 188 Operationen zur Datenaufarbeitung übrig. Zusätzlich mussten nach Datenanalyse zwei Operation aus der Datenbank entfernt werden, da diese für eine OP nicht ausreichend extendierbar waren und keine Angaben über den Zustand des Knorpels oder Labrums vorlagen. Abbildung 5 schlüsselt auf, aus welchem Grund Operationen nicht in dieser Arbeit berücksichtigt wurden.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Arthroskopie Juli 2008 – Mai 2013	Hüftdysplasie
FAI	Voroperationen
	Andere Gründe für OP bzw. Risikofaktoren für Arthrose: HKNs, PVNS, Chondromatose, diagnostische Eingriffe

Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien

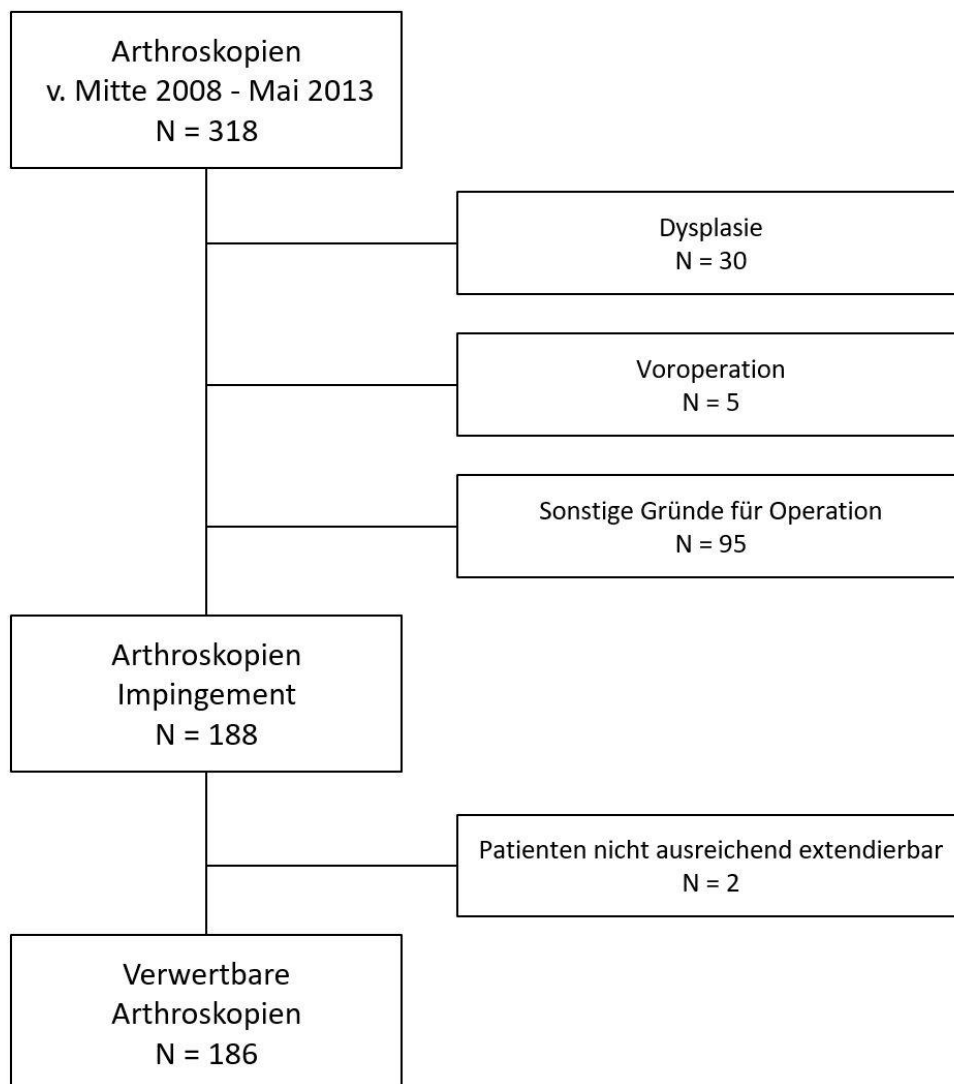


Abbildung 5: Flowchart der Studienpatienten

Insgesamt blieben 186 Operationen bzw. Hüften zur Datenanalyse übrig. Die 186 Hüften sind 168 Patienten/innen zuzuordnen, 18 Patienten/innen wurden zeitversetzt an beiden Hüften operiert, siehe auch Tabelle 4. Das Durchschnittsalter zum OP-Zeitpunkt lag bei 34 Jahren (17-63), eine detaillierte Analyse wird in Tabelle 5 dargestellt.

186 Hüften	Männer	Frauen
Bei 168 Patienten	120	48
Davon beidseits operiert:	16	2

Tabelle 4: Patientenaufschlüsselung

Alter bei OP	Durchschnittsalter	Min	Max
Gesamt	33,50	17	63
Männer	33,26	17	63
Frauen	34,14	17	56

Tabelle 5: Patientendemographie, Alter

Nach Identifizierung der 168 Patienten wurden die stationären und die ambulanten Akten, die zugehörigen OP-Berichte sowie Arthroskopiebilder, als auch die Röntgen- und Magnetresonanzaufnahmen aus den entsprechenden Archiven geholt und ausgewertet. Bei eventuell unvollständiger Dokumentation wurden die Patienten kontaktiert und gebeten fehlende Bilder und Aufnahmen nachzusenden.

Dennoch war es nicht möglich für jeden Patienten und für jede Operation sämtliche Daten aus Anamnese und Bildgebung zu erheben, entweder da Patienten nicht mehr zu erreichen waren, keine Angaben machten oder Bilder zuschicken wollten, oder aber die Bilder und Aufnahmen nicht vollständig zu erheben waren. In Tabelle 6 werden die fehlenden radiologischen Untersuchungen aufgelistet. Nur für eine Operation war überhaupt keine dokumentierte Bildgebung zu finden, bei sechs Operationen fehlten die konventionellen Röntgenaufnahmen, bei 12 anderen die Magnetresonanzaufnahmen.

	Vollständige	Teilw. fehlend	Fehlend
Konventionelle Röntgenaufnahmen	166	13	7
Magnetresonanzaufnahmen	168	5	13

Tabelle 6: Auflistung der Vollständigkeit der Bilddokumentation in Fällen/Operationen

3.2 Untersuchte Risikofaktoren für höhergradige Knorpelschäden

Die erhobenen Parameter werden zur Übersicht in der nachfolgenden Tabelle dargestellt und in den anschließenden Unterkapiteln erläutert. Die Einteilung beläuft sich auf klinische, radiologische sowie intraoperative Parameter. Die einzelnen Parameter sind nicht nach dem Alphabet sortiert, sondern in zugehörige „Analysegruppen“ (Cam, Pfanne, etc.) angeordnet.

Gemessene/erhobene Parameter	
Klinische Parameter	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alter ▪ Geschlecht ▪ Seite ▪ Impingementtest ▪ Bewegungsumfang der Gesamtrotation ▪ Bewegungsumfang der Innenrotation (in Bauchlage und in 90° Beugung) ▪ Dauer der Schmerzen/Beschwerdedauer vor OP
Radiologische Parameter	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cam & Pincer Klassifikation ▪ Qualitative Cam-Beschreibung ▪ Pistol Grip ▪ Horizontal Growth Plate Sign ▪ Schenkelhalsachse (Coxa Vara, valga) ▪ Alpha-Winkel (Röntgen und MRT) ▪ Head-neck offset und Offset-Ratio ▪ ½ radial height/radius ratio ▪ AC Winkel ▪ LCE Winkel ▪ Cross-over sign ▪ Ischial spine sign ▪ Posterior wall sign ▪ Coxa profunda + Protrusio acetabuli ▪ Linear indentation sign ▪ Kortikalisverdichtung ohne Einkerbung der Kortikalis ▪ Herniation pits ▪ Os acetabuli ▪ Arthrosegrade nach Tönnis ▪ Epiphysialer Torsions Winkel (MRT) ▪ Acetabuläre Tiefe (MRT)

Tabelle 7: Erhobene Parameter, Messwerte der Arbeit

3.2.1 Allgemeine Anamnesedaten

Aus den stationären und ambulanten Akten wurden folgende Angaben notiert: das Geschlecht, das Alter in Jahren zum Operationszeitpunkt, die Seite der operierten Hüfte, ein evtl. vorhandener Anlaufschmerz, sowie die Schmerzdauer beziehungsweise die Beschwerdedauer bis zur Operation in Monaten.

3.2.2 Klinische Tests

Ebenfalls wurden die Ergebnisse der klinischen Untersuchung festgehalten: Das Gesamtausmaß der Rotationsfähigkeit in der erkrankten Hüfte in Grad [°], das Ausmaß der Innenrotation in Grad [°] bei 90° Hüftbeugung und in Bauchlage. Es wurde ebenfalls notiert ob Schmerzen mittels des Impingementtest auszulösen waren.

3.2.3 Cam-Pincer Einteilung

Die Hüften wurden nach der OP jeweils durch den Operateur mittels radiologischer und intraoperativer Diagnostik in eine der drei folgenden Kategorien eingestuft:

- a.) Isoliertes Cam-Impingement
- b.) Isoliertes Pincer-Impingement
- c.) Mischform Cam- und Pincer-Impingement

Die jeweilige Einstufung wurde aus dem Operationsbericht übernommen.

3.3 Bildgebung – konventionelle Röntgenaufnahmen

Die nachfolgenden Beschreibungen entsprechen dem Standard mit welchem im Klinikum rechts der Isar die Röntgenaufnahmen gefertigt werden. Nicht bei allen Patienten wurden die Röntgen und MRT-Aufnahmen im Klinikum angefertigt, acht Patienten brachten Aufnahmen und Bilder von auswärtigen Instituten mit. Die genaue Anzahl der Fälle hausernter Aufnahmen im Verhältnis zu den im Klinikum rechts der Isar aufgenommenen Bildern wird in Tabelle 8 dargestellt. Die nachfolgenden Beschreibungen der technischen Ausführungen gelten exemplarisch für alle untersuchten Bilder, unabhängig ob diese im Klinikum rechts der Isar oder außerhalb angefertigt wurden.

Alle Aufnahmen wurden an PACS Arbeitsstationen mittels der Software EasyVision® (Version R11.4.1, Philips Medical Systems, PC Best, Niederlande) digital oder falls nur als Film bzw. Ausdruck vorhanden per Hand mit Hilfsmitteln (Goniometer, Geodreieck) ausgemessen.

Röntgenaufnahmen intern (digital)	171
Röntgenaufnahmen extern (digital)	4
Röntgenaufnahmen extern in Papierform (Handausmessung)	4
Fehlende Röntgenaufnahmen	7
Gesamt	186

Tabelle 8: Auflistung der Röntgenaufnahmen nach Institut (Intern/Extern) in Fällen

3.3.1 Technische Ausführung Beckenübersichtsaufnahme

Zur Darstellung der Hüfte und des Beckens wird klassischer Weise eine Beckenübersichtsaufnahme angefertigt.

Dafür liegt der Patient in Rückenlage auf dem Röntgentisch, beide Beine werden 15–20 Grad nach innen rotiert und der Strahl wird auf das Zentrum des Beckens zentriert.

Bei einer neutral aufgenommenen Beckenübersichtsaufnahme sollte das Becken weder verkippt noch verdreht sein, damit die Konfiguration des Acetabulums eindeutig beurteilt werden kann. Bei einem zu stark nach vorne verkippten Becken kann zum Beispiel ein Cross-Over Sign oder ein Ischial Spine Sign überschätzt werden, bei einem nach hinten gekippten Becken besteht die Gefahr diese zu unterschätzen. Bei einer Verdrehung des Beckens zur zu

untersuchenden Hüfte kann ebenfalls die Prominenz der Pfannenvorderwand überschätzt werden (Tannast et al. 2007).

Um zu beurteilen ob die Beckenübersichtsaufnahme standardisierten Kriterien für eine neutrale Beckenaufnahme (Siebenrock et al. 2003a) genügen, wurden die folgenden Kriterien bei den Beckenübersichtsbildern beurteilt.

Die Spitze des Os coccygis sollte direkt über der Mitte der Symphysis pubis projizieren um eine Rotation des Beckens auszuschließen. Ein weiterer Anhaltspunkt sind die Foramina obturatoria. Diese sollten beide die gleiche, nicht zu enge Form aufweisen. Wenn sich eines im Seitenvergleich eindeutig kleiner darstellt, weist dies auf eine ipsilaterale Rotation des Beckens hin (Siebenrock et al. 2003a, Tannast et al. 2006, Tannast et al. 2007, Kalberer et al. 2008).

Um die Kippung des Beckens zu beurteilen wird die Strecke zwischen Sacrococcygealen Gelenk und dem Oberrand der Symphysis pubis vermessen. Die Strecke beträgt für Männer durchschnittlich 32 mm und für Frauen 47 mm. Dies entspricht ungefähr einem Abstand von 0 mm bis 20 mm von der Spitze des Os coccygis bis zum Oberrand der Symphysis pubis (Siebenrock et al. 2003a, Tannast et al. 2006, Kalberer et al. 2008).

Für diese Arbeit wurden alle Beckenübersichtsaufnahmen auf die oben beschriebenen Kriterien hin untersucht, noch bevor andere Messungen unternommen wurden. Abbildung 6 stellt eine Beckenübersichtsaufnahme mit der Analyse auf Beckenkippung und Verdrehung dar.

Bei Beckenübersichtsaufnahmen die nicht einer auf Rotation (<15 mm) und Kippung (0–20 mm) standardisierten Aufnahme entsprachen, wurden folgende Vermessungen und Konfigurationen nicht beurteilt: Cross-Over Sign, Ischial Spine Sign und Posterior Wall Sign.

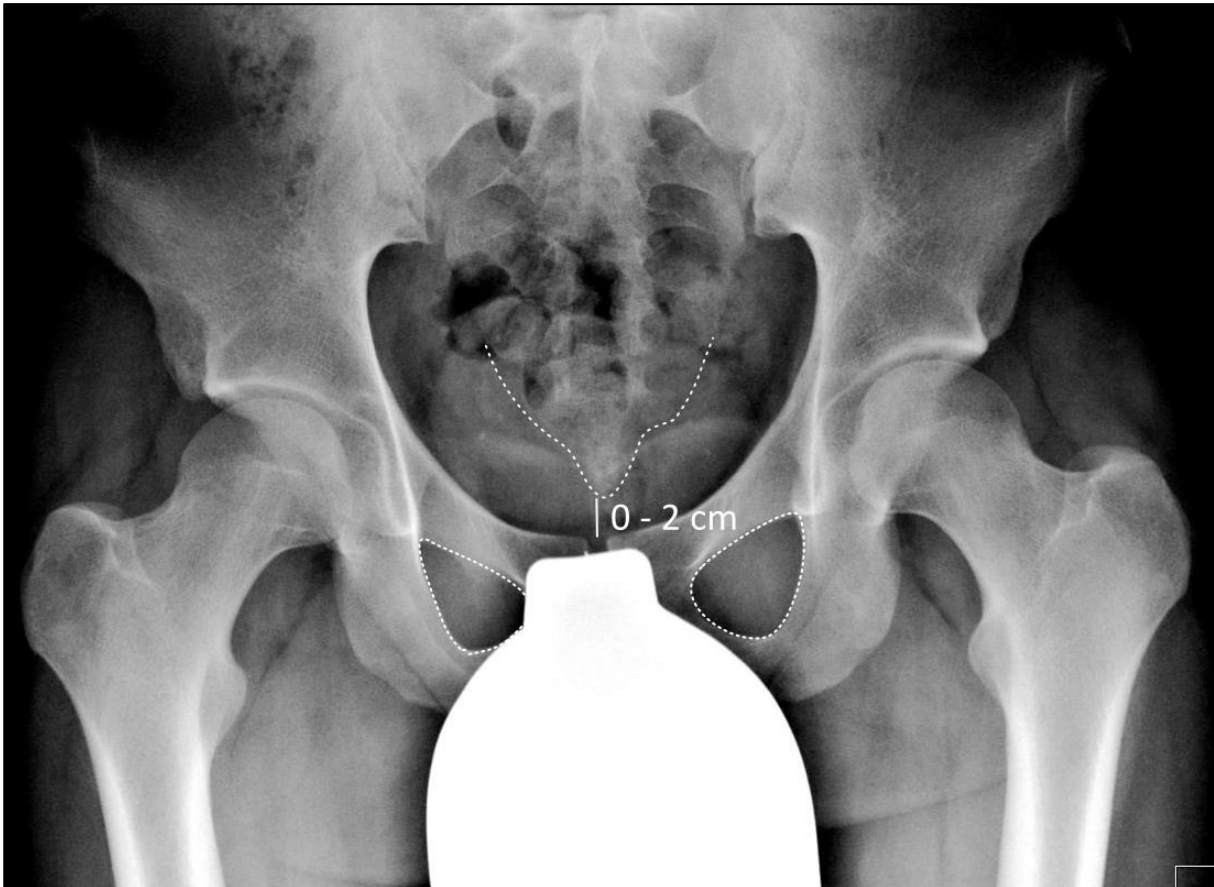


Abbildung 6: Beurteilung einer neutralen Beckenstellung; Beckenübersichtsaufnahme a.-p.: Der Abstand zw. Spitze des Os coccygis und Symphyse beträgt zw. 0 bis 2 cm und die Foramina obturatoria haben dieselbe Form und sind nicht verengt.

3.3.2 Technische Ausführung Hüftgelenk axial nach Lauenstein

Zum Zwecke der Darstellung des antero-lateralen Schenkelhalses wird eine seitliche Aufnahme notwendig und am Klinikum rechts der Isar standardisiert eine Röntgenaufnahme nach Lauenstein (engl. *frog leg lateral*) angefertigt.

Hierbei liegt der Patient in Rückenlage auf dem Tisch, seine Arme entspannt längs des Körpers. Das gesunde Bein wird gestreckt und das aufzunehmende Bein wird um 90° in der Hüfte und im Knie gebeugt. Zusätzlich wird dieses um 45° abduziert und 45° nach außen rotiert. Dabei kommt der Fuß des aufzunehmenden Beines am medialen Bereich des Knies des ausgestreckten, gesunden Beines zu liegen. Der Röntgenstrahl wird senkrecht auf die Mitte der Leistenbeuge mit einem Film-Fokus-Abstand von 115 cm zentriert.

3.3.3 Quantitative Messwerte

In den folgenden Unterkapiteln werden die quantitativen Messmethoden beschrieben, die verwendet wurden um die Röntgenaufnahmen zu untersuchen.

Zur Bestimmung des Hüftkopfmittelpunktes auf Röntgen- und Schnittbildern wird der dem Hüftkopf am besten passendste Kreis ermittelt. Dafür werden mindestens drei zufällig gewählte Punkte am sphärischen Rand des Hüftkopfes ausgewählt und ein optimaler Kreis, welcher diese Punkte umfasst, eingezeichnet.

3.3.3.1 Konfiguration der Schenkelhalsachse: Coxa vara oder Coxa valga?

Auf den Beckenübersichtsaufnahmen wurde bei der erkrankten Hüfte ermittelt, ob sie eine normale, eine varische oder valgische Konfiguration besitzt. Zu diesem Zweck wird die Achse des Femurschaftes, Linie (A), eingezeichnet und die Senkrechte dazu, Linie (B), auf die Spitze des Trochanter majores gelegt. (Siehe Abbildung 7) Anschließend wird der Abstand (C) vom Hüftkopfmittelpunkt und der Linie B vermessen.

Die Werte werden als positiv (+X mm) interpretiert, wenn Linie (B) kranial des Hüftkopfzentrums zu liegen kommt, und negativ (-X mm), wenn Linie (B) kaudal des Hüftkopfzentrums (HKZ) zu finden ist. Die Normalwerte wurden definiert als -5 mm bis +5 mm. Wenn der Abstand (C) über +5 mm oder unter -5 mm betrug, wurde die Konfiguration der Hüfte einer zumindest milden Coxa vara bzw. einer Coxa valga zugeordnet.

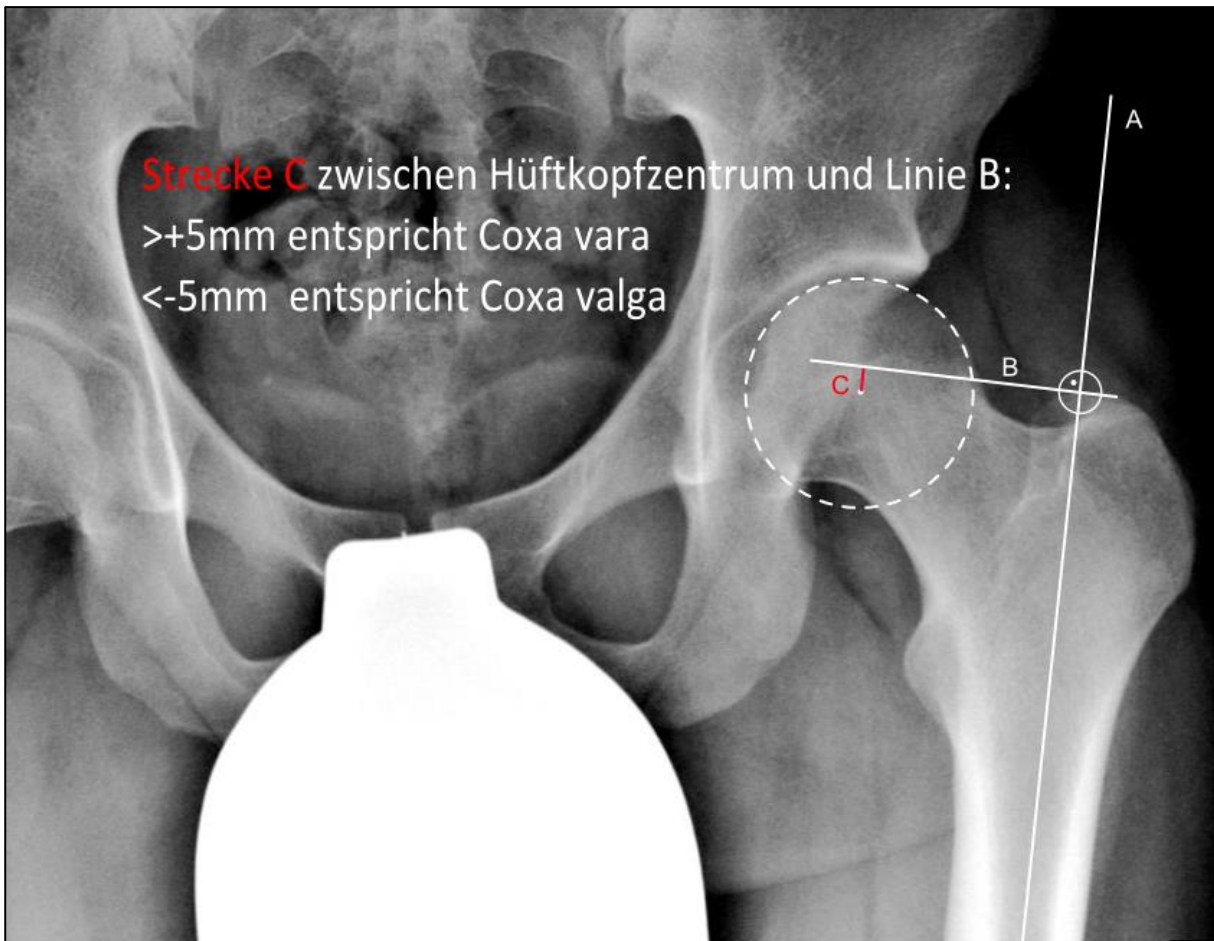


Abbildung 7: Vermessung Coxa vara/Coxa valga linke Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme

3.3.3.2 Alpha-Winkel

Der Alpha-Winkel als Messmethode zur quantitativen Erfassung einer Asphärizität des Femurkopfes wurde erstmals von Nötzli 2002 zur Verwendung bei radiären MRT-Schichtaufnahmen beschrieben (Nötzli et al. 2002).

Heutzutage kann die Messung des Alpha-Winkels zur Evaluation der Asphärizität in allen möglichen Röntgen- und MRT-Aufnahmen verwendet werden (Tannast et al. 2007, Clohisy et al. 2008b).

Der Alpha-Winkel ist definiert als der Winkel zwischen der Schenkelhalsachse Linie (a) und einer Linie (b), die das Zentrum des Hüftkopfes mit dem Punkt der beginnenden Asphärizität des Hüftkopfes verbindet. Die Schenkelhalsachse ist als die Gerade (a) definiert, die durch das Hüftkopffzentrum und die Mitte des Schenkelhalses an seinem engsten Durchmesser läuft. Linie (b) verbindet den Hüftkopfmittelpunkt mit dem Punkt, an dem der Hüftkopf bzw. der Schenkelhals einen Kreis um den Hüftkopf verlässt (Nötzli et al. 2002). (Siehe Abbildung 8)

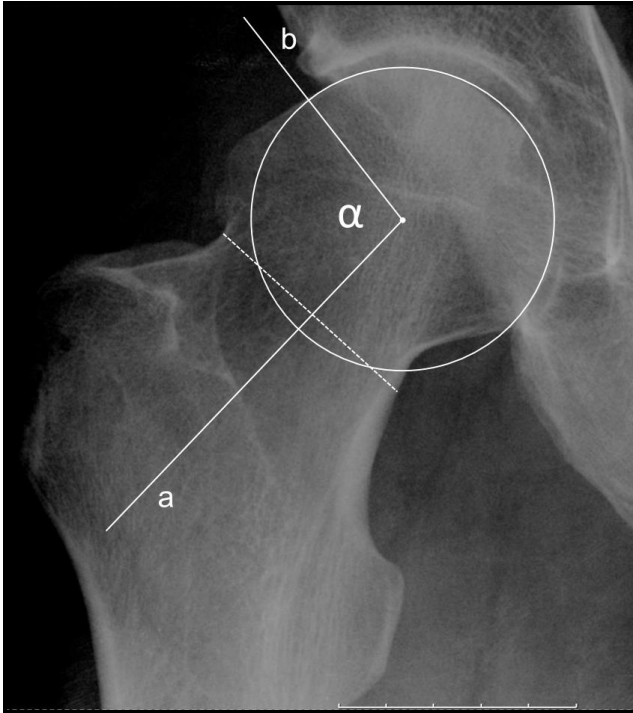


Abbildung 8: Alpha-Winkel Messung rechte Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme

Der Alpha-Winkel wurde für jede operierte Hüfte bei der Beckenübersicht- und bei der axialen Hüftaufnahme vermessen und notiert.

Die korrekten Normwerte für Alpha-Winkelmessungen werden noch immer kontrovers diskutiert. Nötzli et al. beobachteten in der Originalpublikation, dass beschwerdefreie Hüften häufiger einen Alpha-Winkel von unter 50° zeigten, während Hüften mit Cam-Deformität häufiger Werte über 50° zeigten (Nötzli et al. 2002).

Gosvig et al. konnten jedoch 2007 nachweisen, dass ein Cut-Off Wert von $<50^\circ$ nicht für alle radiologischen Aufnahmen geeignet ist. Ebenso schlagen Gosvig et. al nach Geschlecht getrennte Normwerte vor. In ihrer Studie wurde vorgeschlagen, dass bei Beckenübersichtsaufnahmen der Cut-Off für pathologische Werte für Frauen bei $>50^\circ$ und für Männer $>68^\circ$ liegen sollte (Gosvig et al. 2007). Ebenso zeigte eine Studie von Pollard et al., dass der durchschnittliche Alpha-Winkel bei asymptomatischen Freiwilligen im Durchschnitt bei 48° und somit sehr nahe am Cut-Off von 50° liegt (Pollard et al. 2010).

In dieser Arbeit wurde, wie dem bisherigen Stand der Literatur entsprechend, für alle Aufnahmen außer der Beckenübersichtsaufnahme der Cut-Off Wert für pathologische Hüften als $>50^\circ$ definiert. Bei Beckenübersichtsaufnahmen wurden entsprechend Gosvigs Studie die Cut-Off Werte als $>50^\circ$ für Frauen und $>68^\circ$ für Männer festgelegt.

3.3.3.3 Die Methode „ $\frac{1}{2}$ radial height/radius ratio“

Die von der Arbeitsgruppe um Chen G.X. 2011 beschriebene Methode stellt eine weitere Variante zur objektivierten Ausmessung einer möglichen Asphärizität des Femurkopfes dar (Chen et al. 2011).

Zuerst wird vom Hüftkopfbereich auf dieselbe Weise wie bei der Vermessung des Alpha-Winkels die Schenkelhalsachse bestimmt. Vom Hüftkopfbereich aus wird nun entlang der Schenkelhalsachse der Radius des Kopfes (r) ausgemessen. Anschließend wird die Hälfte des Radius ($\frac{1}{2} r$) ermittelt und die Senkrechte (h) zur Schenkelhalsachse an diesem Mittelpunkt des Radius eingezeichnet. Es wird die Länge der Strecke (h) von der Schenkelhalsachse bis zum projizierten Kortikalisrand vermessen. (Siehe Abbildung 9)

Anschließend wird die gemessene Länge (h) durch den Radius (r) geteilt und somit *die $\frac{1}{2}$ radial height /radius ratio ($\frac{1}{2}$ -RHR)* errechnet. Der Normwert entspricht einer Ratio $<0,9$ (Chen et al. 2011).

Diese Messmethode wurde ausschließlich bei Beckenübersichtsaufnahmen angewendet.

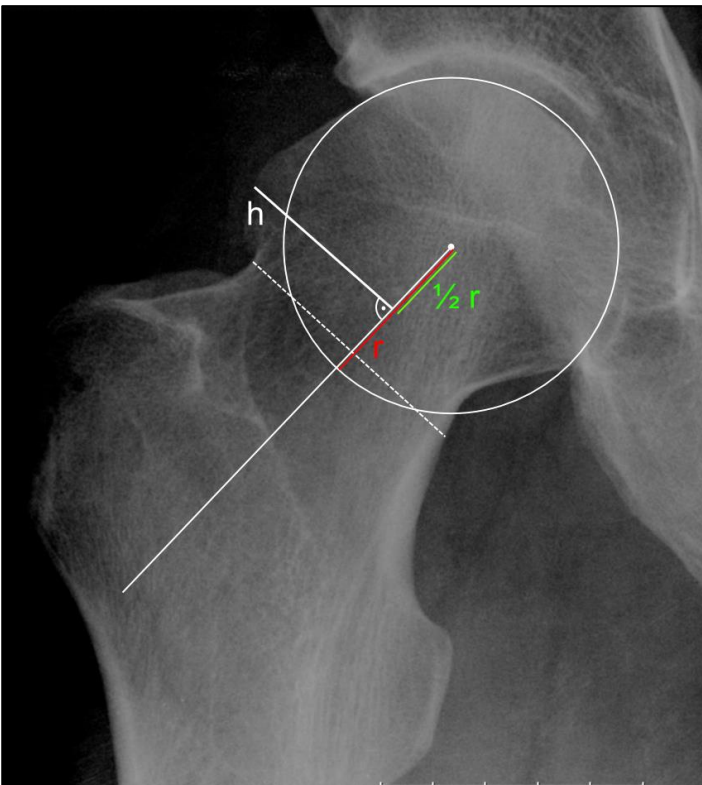


Abbildung 9: $\frac{1}{2}$ -RHR Messung rechte Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme

3.3.3.4 Femoral Head-Neck Offset & Offset-Ratio

2001 beschrieben Eijer et al. eine Messmethode für Cross-Table lateral Aufnahmen des Schenkelhalses zur Bestimmung des Offsets (dt. Versatz) des Halses im Verhältnis zum Femurkopf (Eijer H. et al. 2001).

In der vorliegenden Arbeit wurde diese Messmethode an den axialen Lauensteinaufnahmen umgesetzt.

Zur Ermittlung des Offsets werden zunächst der Hüftkopfmittelpunkt und die Schenkelhalsachse (a) vermessen. Danach wird eine zweite Linie (a') parallel zur Schenkelhalsachse an die anteriore Schenkelhalskortikalis angelegt. Eine dritte parallele Linie (a'') wird an der anteriorsten Stelle des Hüftkopfes gelegt. Nun wird der Offset (h) zwischen Linie (a') und (a'') vermessen. (Siehe Abbildung 10)

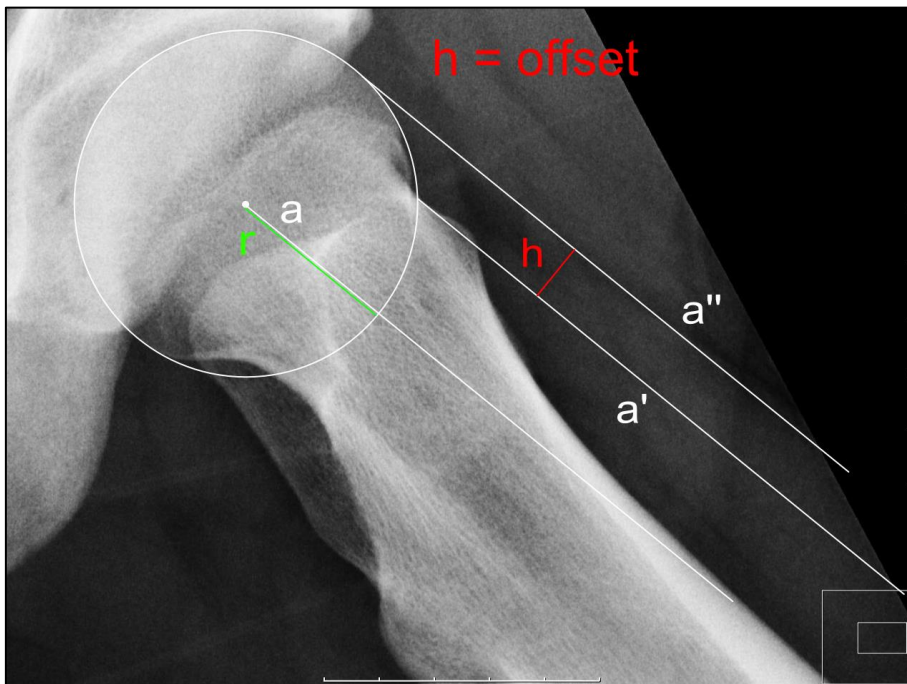


Abbildung 10: Offset-Messung linke Hüfte; Ausschnitt aus einer Lauensteinaufnahme

Der Offset (h) sollte bei gesunden Hüften mehr als +8 mm betragen. Die Offset-Ratio wird gebildet, indem der Offset (h) durch den Hüftkopfradius (r) dividiert wird. Die Offset-Ratio sollte bei gesunden Hüften $>0,18$ betragen (Eijer H. et al. 2001).

3.3.3.5 Acetabulum-Winkel

Der Acetabulum-Winkel (AC-Winkel), auch Tönnis-Winkel genannt, wird verwendet um die Konfiguration des Acetabulumdaches zu ermitteln (Tönnis 1987).

Um den AC-Winkel zu vermessen werden drei Linien auf der a.-p. Beckenübersichtsaufnahme eingezeichnet (Clohisy et al. 2008b).

Zunächst zeichnet man eine horizontale Linie (a), welche beide Köhler'sche Tränenfiguren verbindet. Die nächste Gerade (a') wird parallel zur Linie (a) platziert, wobei diese durch den am tiefsten und medialst gelegenen Punkt des sklerosierten Pfannendaches läuft. Eine dritte Linie (c) verbindet diesen Punkt und den obersten lateralen Pfannendachrand. Der Winkel zwischen Linie (a') und (c) ist der AC-Winkel. (Siehe Abbildung 11)

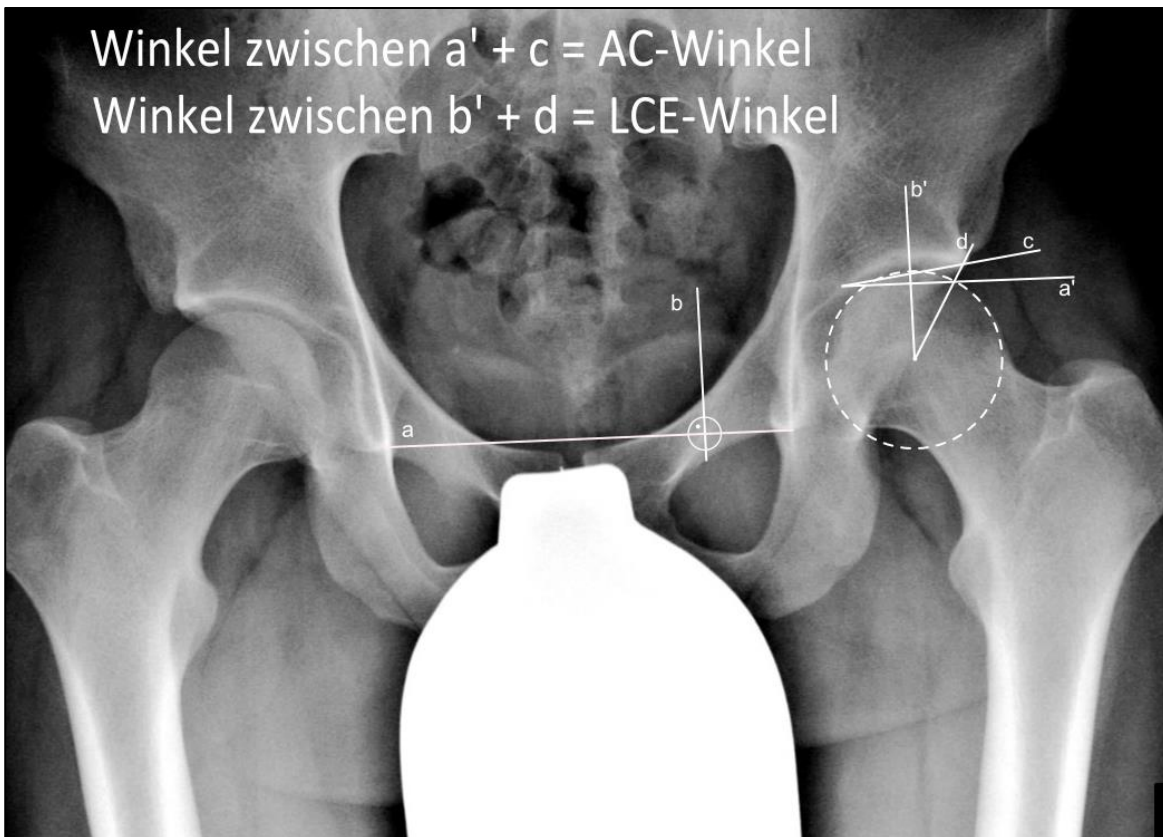


Abbildung 11: AC- und LCE-Winkelmessung linke Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme

Der AC-Winkel sollte beim gesunden Erwachsenen zw. 0° und 10° liegen. Bei Winkeln über 10° besteht der Verdacht auf eine Hüft dysplasie, unter 0° (negative Winkel) sprechen für eine „Über-Überdachung“ mit Verdacht auf ein Pincer-Impingement (Tannast et al. 2007).

3.3.3.6 LCE Winkel nach Wiberg

Der laterale Centrum-Erker Winkel (LCE-Winkel) oder auch Wiberg-Winkel dient zur Bestimmung der Tiefe des Acetabulums bzw. des Ausmaßes der Überdachung des Hüftkopfes durch die Pfanne.

Er ist der Winkel zwischen der Linie (d), die den obersten lateralen Pfannendachrand mit dem Zentrum des Hüftkopfes verbindet, und der Längsachse (b') des Körpers. (Siehe Abbildung 11)

Die Längsachse des Körpers wird ermittelt, indem die Senkrechte (b) zur horizontalen Linie (a), welche beide Tränenrüsenkonfigurationen verbindet, eingezeichnet wird, siehe auch Kapitel 3.3.3.5 Acetabulum-Winkel (Tönnis et al. 1999, Beck et al. 2005, Clohisy et al. 2008b).

Die Normwerte lassen sich ähnlich wie beim AC-Winkel in drei Gruppen einteilen:

Werte unter 20° sprechen für eine verminderte Überdachung und sind als Hinweis auf eine Hüft dysplasie zu werten. Winkel zw. 20° und 25° sind als grenzwertig anzusehen, Werte über 25° gelten als normal.

Für ein oberes Winkel-Limit gibt es keinen wissenschaftlich festgestellten Wert; Werte >39° werden aber als Hinweise für eine vermehrte Hüftkopfüberdachung und ein mögliches Pincer-Impingement interpretiert (Murphy et al. 1995, Tönnis et al. 1999, Tannast et al. 2007).

In dieser Arbeit wurde 39° als oberer Normwert festgelegt, >39° wurden als Pincer-Impingement definiert.

3.3.4 Qualitative Messwerte

3.3.4.1 Pistol-Grip Deformität und Horizontal Growth Plate Sign

Die *Pistol-Grip Deformität* wird auf klassischen Röntgen a.-p. Aufnahmen durch eine Abflachung bzw. konvexe Ausziehung des sonst normalerweise konkaven Überganges des lateralen Hüftkopfes zum Schenkelhals charakterisiert. (Siehe Abbildung 12) Der Begriff *Pistol-Grip Deformität* wurde 1975 erstmals von Stulberg et al. beschrieben (Stulberg et al. 1975).

Zusätzlich zur *Pistol-Grip Deformität* kann bei Beckenübersichtsaufnahmen ermittelt werden, ob die Epiphysennarbe lateral eines auf den Femurkopf angelegten optimalen Kreises endet. Dieses Zeichen wird *Horizontal Growth Plate Sign* (HGPS) genannt (Siebenrock et al. 2004). Das *Pistol-Grip* Zeichen und das HGPS sind Hinweise auf einen asphärischen Hüftkopf und ein daraus resultierendes Cam-Impingement.

Alle Beckenübersichtsaufnahmen wurden hinsichtlich Pistol-Grip und HGPS untersucht und, falls vorhanden, in der Datenbank notiert.



Abbildung 12: Pistol-Grip Zeichen und Horizontal Growth Plate Sign; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme

3.3.4.2 Qualitative Cam-Beschreibung der Hüfte

Ähnlich wie es bereits Harris 1986 in seiner Arbeit „*Etiology of osteoarthritis of the hip*“ (Harris 1986) festgestellt hat, wurden in dieser Arbeit beim Cam-Impingement verschiedene Formen von qualitativer Morphologie bemerkt, sodass entschieden wurde, diese Unterschiede zu notieren.

Es lässt sich nämlich differenzieren, ob die Deformität durch einen asphärischen Hüftkopf bzw. einem Höcker oder Osteophyten am lateralen Femurkopf, durch eine reine Abflachung bzw. ein Fehlen der Taillierung des Hüftkopf-Schenkelhalsüberganges oder durch einen Höcker am Schenkelhals bedingt ist. Harris unterschied in seiner Arbeit zwischen einem „flattening“ (dt. Abflachung) des Schenkelhalses und einem „bump“ (dt. Höcker) am Hüftkopf-Schenkelhals-Übergang (Harris 1986). Ein Höcker am Schenkelhals wurde in seiner Arbeit nicht erwähnt.

Cam-Hüften wurden in dieser Arbeit daher bei konventionellen a.-p. und axialen Röntgenaufnahmen in drei distinkte, verschiedene Formen eingeteilt (Abbildung 13):

- a.) Asphärischer Hüftkopf, Osteophyt oder Höcker am Hüftkopf oder Hüftkopf-Schenkelhalsübergang
- b.) Fehlende Taillierung des Schenkelhalses (ohne eine zusätzliche Asphärizität des Hüftkopfes)
- c.) Höcker am Schenkelhals (ohne eine zusätzlich fehlende Taillierung des Schenkelhalses oder einer Asphärizität des Hüftkopfes)

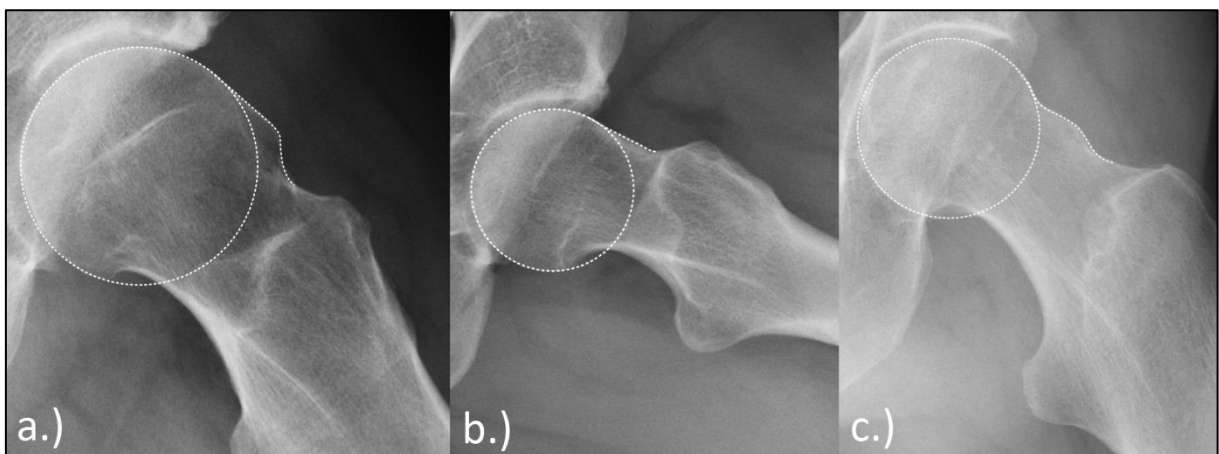


Abbildung 13: Qualitative Cam-Beschreibung; linke Hüften, Ausschnitte aus Lauensteinaufnahmen; von links nach rechts: a) Asphärischer Hüftkopf/Höcker am Hüftkopf, b.) fehlende Taillierung des Schenkelhalses, c.) Höcker am Schenkelhals

3.3.4.3 Cross-Over Sign / Figure-of-8-configuration

Bei gesunden Hüften verläuft in Beckenübersichtsaufnahmen der Rand der vorderen Pfannenwand medial des Randes der hinteren Wand.

Beim *Cross-Over Sign* bzw. der sogenannten *Figure-of-8-configuration* verläuft der Rand der vorderen Pfannenwand im kranialen Anteil der Pfanne zunächst lateral des hinteren Pfannenrandes und überkreuzt diesen dann erst weiter distal nach medial (Reynolds et al. 1999). Dies ist ein Hinweis auf entweder eine vermehrte vordere Überdachung, eine verminderte Anteversion oder gar eine partielle Retroversion der Pfanne. Dies kann eine Form des Pincer-Impingements darstellen. (Siehe Abbildung 14) Zur Unterscheidung zwischen vorderer Über-Überdachung und Retroversion der Pfanne wird der hintere Pfannenrand herangezogen. Bei defizientem hinteren Pfannenrand ist von einer Retroversion auszugehen, bei normalem oder prominentem hinteren Pfannenrand liegt bei positivem Cross-Over Sign eine echte ventrale Über-Überdachung vor.

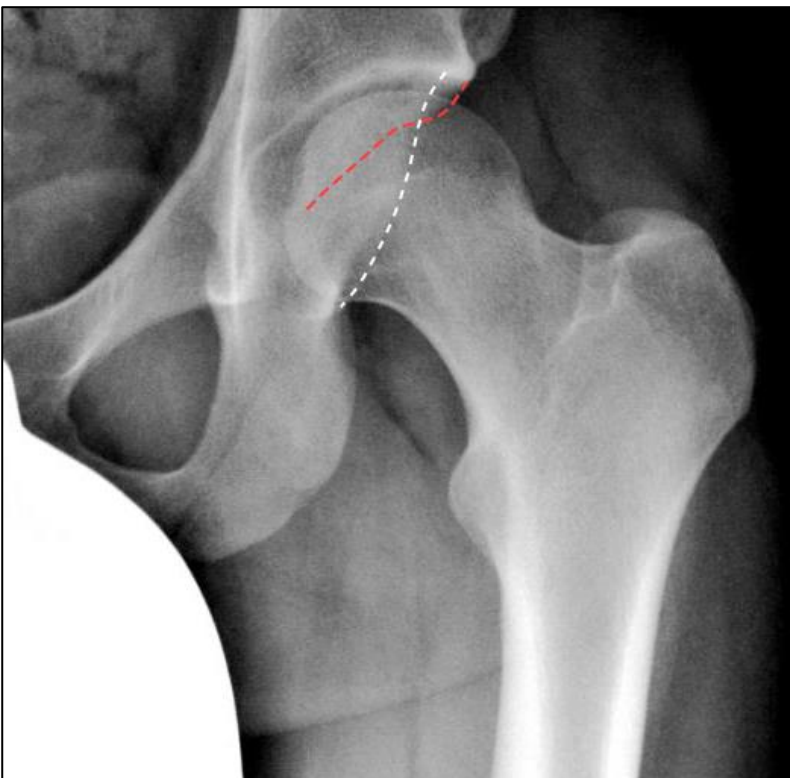


Abbildung 14: Cross-Over Sign einer linken Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme; rot = vorderer Pfannenrand, weiß = hinterer Pfannenrand

3.3.4.4 Posterior Wall Sign

Um beim Cross-Over-Sign zu unterscheiden, ob es sich um eine prominente Vorderwand des Acetabulums oder eine defiziente Hinterwand handelt, wird auf das sogenannte *Posterior Wall Sign* zurückgegriffen (Tannast et al. 2007).

Bei gesunden Hüften sollte der hintere Pfannenrand bei korrekter Aufnahmetechnik ungefähr auf die Mitte des Hüftkopfes zentriert sein.

Wenn der hintere Pfannenrand medial des Hüftkopfs zum Liegen kommt, spricht dies für eine defiziente Hinterwand. Dies ist mit einer Retroversion aber auch mit einer Dysplasie assoziiert (Reynolds et al. 1999).

Wenn der hintere Pfannenrand lateral des Hüftkopfs zum Liegen kommt, bedeutet dies eine prominente Hinterwand, welche oft bei einer Coxa profunda oder einer Protrusio acetabuli gefunden wird. Dies kann aber auch eine Variante des selteneren posterioren Impingements darstellen. (Siehe Abbildung 15)

In Zuge der vorliegenden Arbeit wurde notiert, ob der hintere Pfannenrand lateral (posteriores Impingement oder globales Pincer Impingement), medial (zusammen mit Cross-Over-Sign und Ischial Spine Sign Hinweis auf fokales anteriores Pincer Impingement bzw. Pfannenretroversion) oder auf den Hüftkopfmittelpunkt (normale Pfannenkonfiguration) projiziert.



Abbildung 15: Prominente Pfannenhinterwand einer rechten Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme; die hintere Acetabulumswand projiziert deutlich lateral des Hüftkopfszentrums.

3.3.4.5 Ischial Spine Sign

Das Ischial Spine Sign (ISS) ist ein weiteres Zeichen für eine Retroversion des Acetabulums.

Beim ISS projiziert sich in der a.-p. Beckenübersichtsaufnahme die Spina ischiadica sichtbar medial der Linea ilioischiadica und ragt in das große Becken hinein (Kalberer et al. 2008). (Siehe Abbildung 16)



Abbildung 16: ISS und Cross-Over Sign einer linken Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme; die Spina ischiadica projiziert in das große Becken, ebenfalls ist ein Cross-Over Sign erkennbar.

3.3.4.6 Coxa profunda und Protrusio acetabuli

Bei gesunden Hüften projiziert sich die Fossa acetabuli lateral der Linea ilioischiadica in a.-p. Beckenübersichtsaufnahmen. Wenn die Fossa acetabuli die Linea ilioischiadica berührt oder überschreitet, entspricht dies einer Coxa profunda, wenn auch der Hüftkopf diese Linie nach medial überschreitet, wird von einer Protrusio acetabuli gesprochen (Ruelle et al. 1962, Ganz et al. 2003). (Siehe Abbildung 17)



Abbildung 17: Coxa profunda einer linken Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme; die Fossa acetabuli (rosa) berührt die ilio-ischiale Linie (weiß).

Während eine Protrusio acetabuli definitiv eine zu starke Überdachung des Hüftkopfes und damit ein Pincer-Impingement verursacht, ist sich die Fachwelt uneinig ob eine Coxa profunda als Merkmal für ein Pincer-Impingement gelten soll. Erst kürzlich postulierten Nepple et. al., dass eine Coxa profunda nicht als Zeichen für ein Pincer-FAI anzusehen ist, da nur der tiefste Punkt für die Definition herangezogen wird, jedoch die laterale und ventrale Überdachung prinzipiell sogar dysplastisch sein kann (Nepple et al. 2013).

3.3.4.7 Sekundäre Veränderungen: Linear Indentation Sign, reaktive Kortikalisverdickungen, Herniation Pits und Os acetabuli

Das *Linear Indentation Sign*, die *Herniation Pits* (auch Fibrozystische Läsionen genannt) und das *Os acetabuli* gehören zu den sekundären Veränderungen, die im Rahmen eines Impingement auf Röntgen- und MRT-Aufnahmen beobachtet werden können.

Das *Linear Indentation Sign* (LIS) kann vor allem auf axialen Röntgenaufnahmen beim Pincer-Impingement gefunden werden; am Übergang Femurkopf zum Schenkelhals ist dabei eine Einkerbung mit einer reaktiven Verdickung der Kortikalis zu erkennen (Tannast et al. 2007). (Siehe Abbildung 18)



Abbildung 18: LIS einer rechten Hüfte; Ausschnitt aus einer Lauensteinaufnahme; Pfeil markiert eine Einkerbung mit reaktiver Kortikalisverdichtung.

Ähnlich dem LIS kann beim Impingement eine reaktiv verdichtete Kortikalis an Stellen, wo der Kopf gegen die Pfanne schlägt, gefunden werden. Im Gegensatz zum LIS fehlt lediglich die Einkerbung der Kortikalis. (Siehe Abbildung 19)



Abbildung 19: reaktive Kortikalisverdichtung ohne Einkerbung einer linken Hüfte; Ausschnitt aus einer Lauensteinaufnahme; Pfeil markiert die verdickte Kortikalis.

Herniation Pits sind fibrozystische Formationen und können auf konventionellen Röntgenaufnahmen aber noch besser auf MRT-Schnittbildern entdeckt werden. Diese sind ebenfalls vor allem im antero-superioren Bereich des Schenkelhalses zu finden, entsprechend des Bereiches welcher beim Impingement in knöchernen Kontakt kommt (Pitt et al. 1982, Leunig et al. 2005a). (Siehe Abbildung 20)

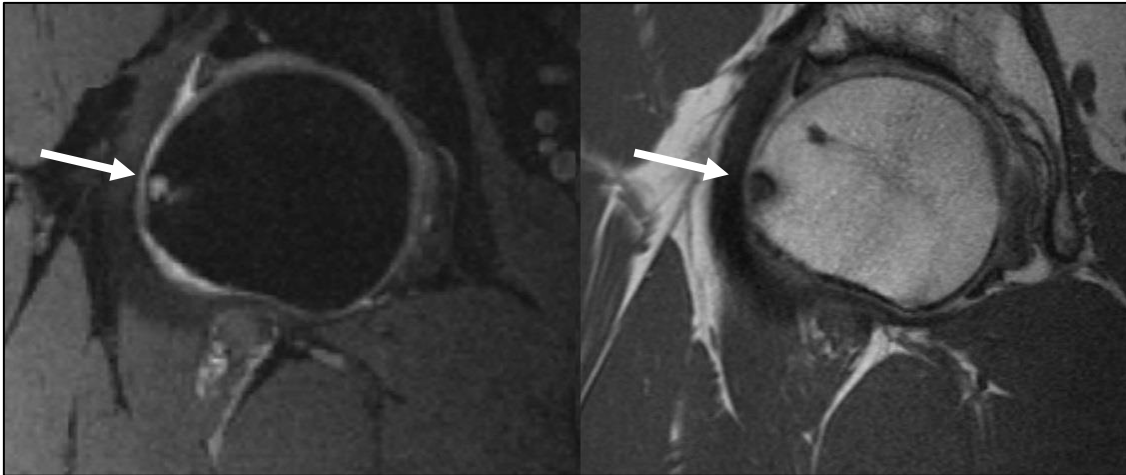


Abbildung 20: Herniation Pits einer rechten Hüfte; Ausschnitt MRT-Aufnahme, PD Wichtung links, T1 Wichtung rechts, koronare Schnittführung; Pfeil markiert eine Herniation Pit.

Durch andauerndes wiederholendes Einklemmen des Labrums beginnt dieses nach und nach zu verknöchern (Ito et al. 2004). Diese Verknöcherung kann im konventionellen Röntgenbild erkannt werden und wird als *Os acetabuli* bezeichnet. Das *Os acetabuli* kann auch eine Insuffizienzfraktur des lateralen Pfannenerkers bei FAI oder eine reaktive Knochenneubildung darstellen (Reynolds et al. 1999, Tannast et al. 2007). (Siehe Abbildung 21)

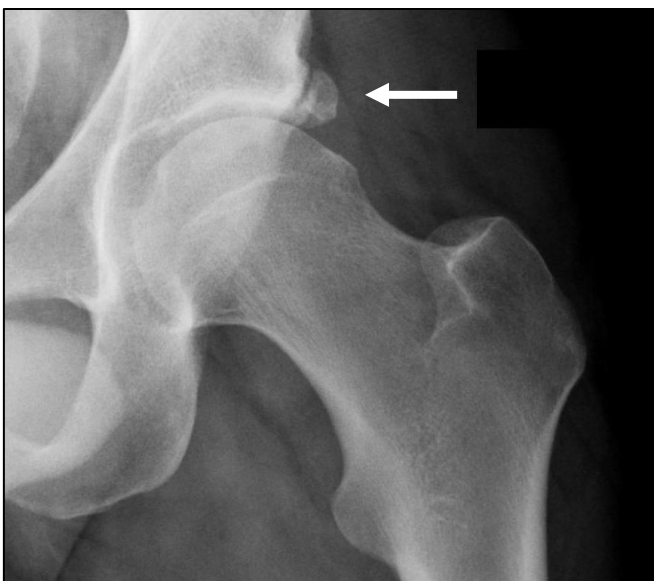


Abbildung 21: Os acetabuli einer linken Hüfte; Ausschnitt aus einer Beckenübersichtsaufnahme; Pfeil markiert ein prominentes Os acetabuli.

3.3.4.8 Arthrosegrad nach Tönnis

Der Grad einer eventuell bereits vorhandenen Arthrose des Gelenkes wurde mittels der Tönnis-Einteilung (Tönnis 1987) festgehalten. (Siehe Tabelle 9, Abbildung 22)

Tönnis Grad 0	Keine Arthrosezeichen
Tönnis Grad 1	Vermehrte Sklerosierung von Kopf und Pfanne, geringe Gelenkspaltverschmälerung, geringe Randwulstbildung
Tönnis Grad 2	Kleine Geröllzysten, zunehmende Gelenkspaltverschmälerung, mäßige Kopfentrundung
Tönnis Grad 3	Große Geröllzysten, starke Gelenkspaltverschmälerung, starke Kopfentrundung, Nekrosen

Tabelle 9: Arthrosegrade nach Tönnis, modifiziert aus (Tönnis 1987)

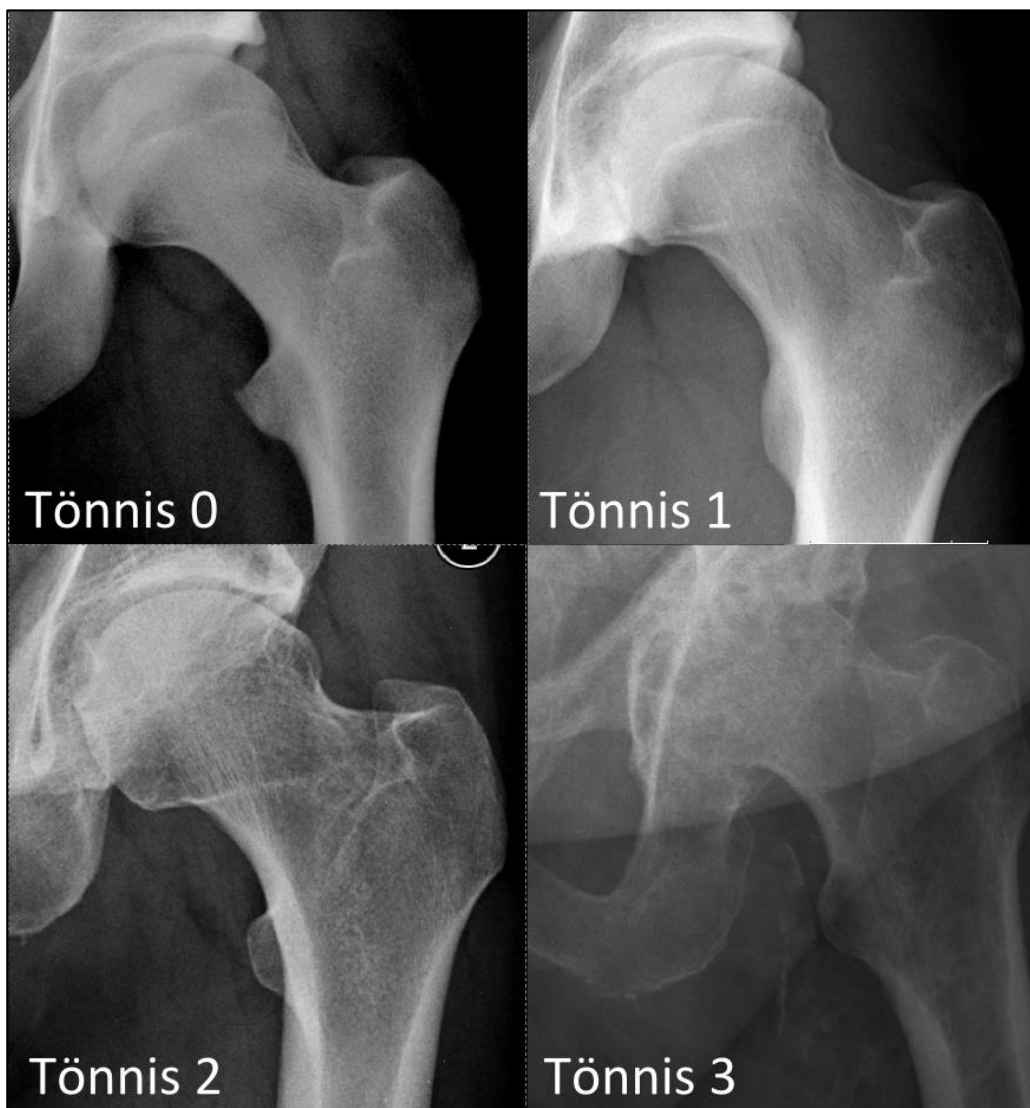


Abbildung 22: Arthrosegrade nach Tönnis, linke Hüften; Ausschnitte aus Beckenübersichtsaufnahmen

3.4 Bildgebung – Magnetresonanztomographie und MR Arthrographie

Die nachfolgenden Beschreibungen entsprechen dem Standard mit welchem im Klinikum rechts der Isar die MRT- und MRA-Aufnahmen gefertigt wurden. Nicht bei allen Patienten wurden die MRT-Aufnahmen im Klinikum angefertigt, einige haben Bilder von auswärtigen Instituten beigesteuert. Die genaue Anzahl der Fälle externer Aufnahmen im Verhältnis zu im Klinikum rechts der Isar aufgenommenen Bildern wird in Tabelle 10 dargestellt. Die Beschreibung der technischen Ausführungen gilt exemplarisch für alle untersuchten Bilder, unabhängig ob diese aus dem Klinikum rechts der Isar oder aus einem auswärtigen Institut stammen.

MRT-Aufnahmen intern	102	54,8%
MRT-Aufnahmen extern	59	31,7%
MRT-Aufnahmen extern in Papierform (Handausmessung)	12	6,5%
Fehlende MRT-Aufnahmen	13	7%
Gesamt	186	100%

Tabelle 10: Auflistung der MRT- und MRA-Aufnahmen nach Institut (intern/extern) in Fällen/Operationen und Prozentangabe

Alle Aufnahmen sind an PACS-Arbeitsstationen mittels der Software EasyVision digital oder falls nur physisch vorhanden per Hand mit Hilfsmitteln (Goniometer, Geodreieck) ausgemessen worden.

3.4.1 Technische Ausführung MR Arthrographie

Sämtliche MR Arthrographien wurden gemäß Klinikprotokoll für Hüftleiden ausgeführt, welches bereits 2012 in einer Publikation von Schäffeler et al. 2012 veröffentlicht wurde. Das hier dargestellte Protokoll wurde aus dieser Studie entnommen (Schäffeler et al. 2012).

Alle Aufnahmen wurden mit einem 1,5 oder 3 Tesla MR Scanner (Espree oder Avanto, Siemens Healthcare) und flexiblen Spulen durchgeführt. Die Untersuchung wird nach einer Injektion von 10 bis 12 mL Gadopentate Dimeglumine (Magnevist, Bayer Healthcare) in einer Konzentration von ca. 2,5 mmol/L über einen anterolateralen Zugang in das Hüftgelenk

durchgeführt. Die intraartikuläre Lage der Injektionsnadel wird bei allen Patienten mittels Fluoroskop und Injektion von ca. 1 bis 2 mL von iodiniertem Kontrastmittel (Iopromide, Ultravist Bayer Healthcare) kontrolliert.

Die MR Untersuchung wird 15 Minuten nach Injektion des Kontrastmittels gestartet, die Patienten werden in Rückenlage mit einer neutralen Position der Hüfte untersucht.

T1 gewichtete Spin-Echo Bilder (TR/TE, 653/11) werden in der Koronarebene, Sagittalebene und einer axial schrägen Ebene parallel zur Schenkelhalsachse aufgenommen. Zusätzlich werden auf Protonen Dichte (PD) gewichtete Bilder (TR/TE, 2600/41) mit Fett-Unterdrückung in der Koronarebene aufgezeichnet.

Die Schnittparameter für alle Sequenzen sind eine Schnittdicke von 3mm mit einer Schnittlücke von 0,3 mm, einem Field of View von 20 cm und eine In-plane-Auflösung von 0,7*0,5 mm (Schaeffeler et al. 2012).

Zusätzlich wurde bei 67 Fällen von 104 hausinternen Aufnahmen eine radiäre Rekonstruktion der Hüfte um die Schenkelhalsachse erstellt.

3.4.2 Quantitative Messkriterien

3.4.2.1 Alpha-Winkel in Koronar-, Axial-Ebene und radiären Rekonstruktionen

Der Alpha-Winkel wurde analog zur Ausmessung in konventionellen Röntgenbildern, wie in Kapitel 3.3.3.2 beschrieben, in den MRT-Schnittbildern ausgemessen.

In der koronaren und axialen Ebene wird als Messbild dafür jeweils das Schnittbild gewählt, welches der Mitte des Femurkopfes und somit dem größten zu messenden Kopfdurchmesser entspricht. (Siehe Abbildung 23, Abbildung 24, Abbildung 25)

Bei radiären Rekonstruktionsaufnahmen der Hüfte wurde der größte messbare Alpha-Winkel im anterior-lateralen Schenkelhals (Bereich von 12 bis 3 Uhr) ermittelt.



Abbildung 23: Alpha-Winkel, Ausschnitt MRT-Aufnahme - koronare Schnitfführung

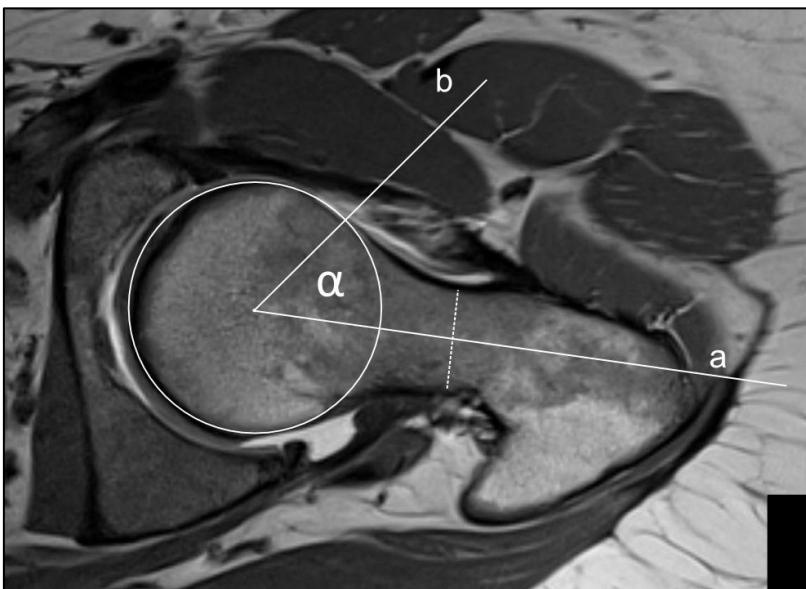


Abbildung 24: Alpha-Winkel, Ausschnitt MRT-Aufnahme – axiale Schnitfführung

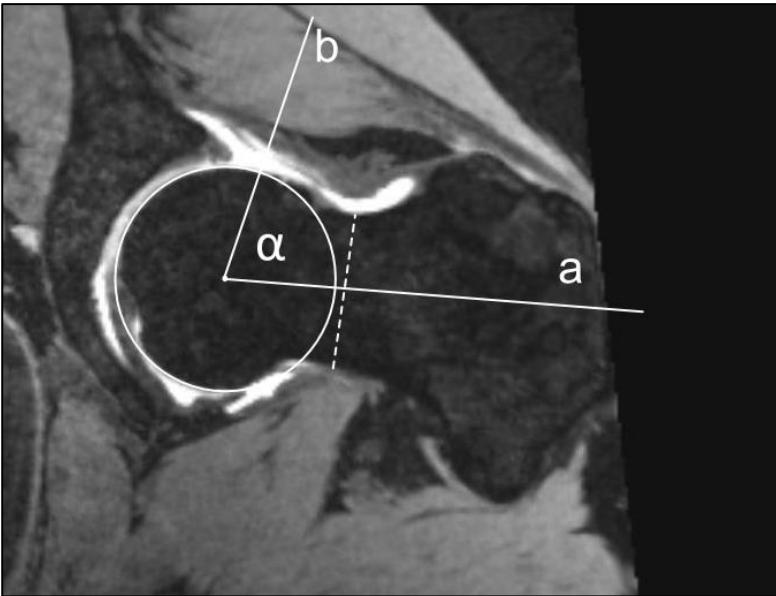


Abbildung 25: Alpha-Winkel, Ausschnitt MRT-Aufnahme - radiäre Rekonstruktion

3.4.2.2 Epiphysialer Torsionswinkel

Zusätzlich zum Alpha-Winkel kann auf axialen Schichtaufnahmen der *epiphysiale Torsionswinkel (ETW)* ausgemessen werden.

Er ist definiert als Winkel zwischen Schenkelhalsachse (a) und *epiphysialer Achse* (b, b'). Die epiphysiale Achse (b, b') ist die Senkrechte auf die Linie, welche die beiden Punkte, an denen die Epiphysennarbe den Kortikalisrand des Femurkopfes berührt, verbindet. (Abbildung 26) Werte unter 20° gelten als normal (Schaeffeler et al. 2012).

Analog zur Ausmessung des Alpha-Winkels wurde jenes Schnittbild ausgewählt, bei dem der Femurkopfdurchmesser am größten war.

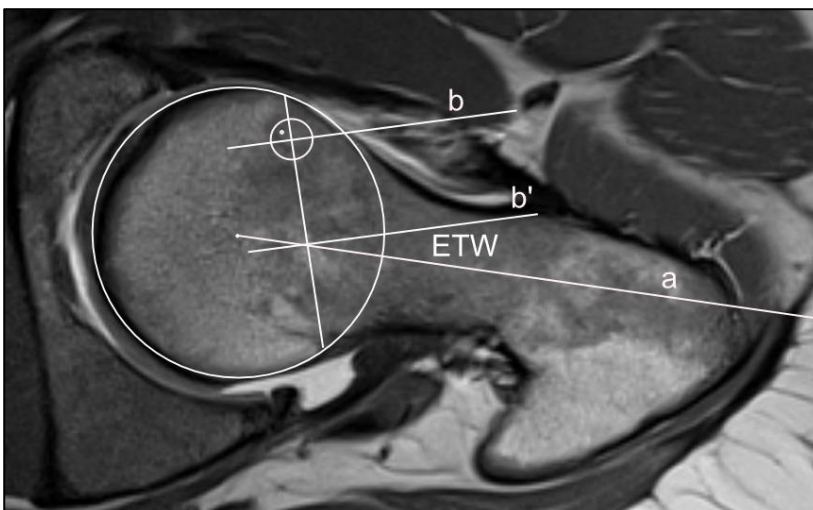


Abbildung 26: Epiphysialer Torsionswinkel; Ausschnitt MRT-Aufnahme – axiale Schnittführung

3.4.2.3 Acetabuläre Tiefe

Die Acetabuläre Tiefe wird auf den axialen MRT-Aufnahmen definiert als Abstand (b) zwischen dem Hüftkopfbereich und einer Linie (a), die den vorderen und hinteren Pfannenrand im axialen Schnittbild verbindet. Die Hilfslinie (a') ist parallel zur Linie (a) und geht durch die Hüftkopfmittle. (Siehe Abbildung 27)

Der Wert ist positiv, wenn das Hüftkopfbereich lateral der Linie, und negativ, wenn es medial (entspricht einer vermehrten Überdachung) zum Liegen kommt. Ab Werten von unter-5 mm wird von einem Pincer-Impingement ausgegangen (Pfirrmann et al. 2006).

Ebenso wie beim Alpha-Winkel wurde jenes Schnittbild ausgewählt, bei dem der Femurkopfdurchmesser am größten war.

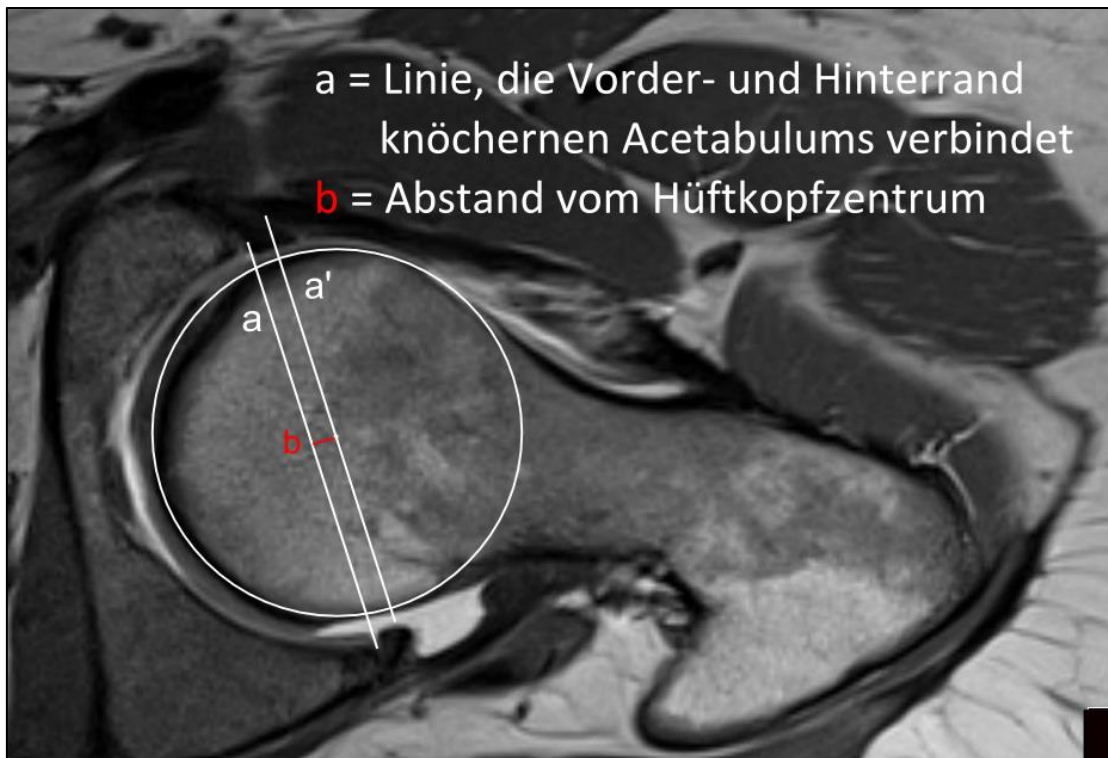


Abbildung 27: Acetabuläre Tiefe; Ausschnitt MRT-Aufnahme – axiale Schnittebene

3.5 Auswertung der Arthroskopiebilder und der OP-Berichte

3.5.1 Datenerhebung aus Arthroskopiebildern und OP-Berichten

Alle OP-Berichte wurden nach der Beurteilung eines evtl. vorhandenen Gelenkschadens durchsucht. In den meisten OP-Berichten wurde mittels dem *Beck-Score* die Qualität des Knorpelschadens und mit einer Größenangabe in mm der Ausmaß des Knorpelschadens dokumentiert.

Zusätzlich zum OP-Bericht wurden alle vorhandenen Arthroskopiefotos und Videos auf die Schadensqualität und das Schadensausmaß kontrolliert und gegebenenfalls die Schadensbeurteilung des OP-Berichtes angepasst bzw. ergänzt. In Tabelle 11 wird als Übersicht aufgelistet mit welchen Scores Labrum und Knorpel beurteilt, bzw. welche Parameter aus den intraoperativen Befunden erhoben wurden.

Operativ festgestellte Knorpel & Labrumschäden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beck-Score Pfannenknorpel ▪ Outerbridge-Score Pfannenknorpel ▪ Sampson-Score Pfannenknorpel ▪ Größe des Schadens am Pfannenknorpel ▪ Delamination Pfannenknorpel ▪ Knorpelschaden Femurkopf ▪ Beck-Score Labrum ▪ Labrumriss
---	---

Tabelle 11: Verwendete Scores zur Beurteilung des Knorpel- bzw. Labrumschadens

3.5.2 Beurteilung des Knorpelschadens am Acetabulum

3.5.2.1 Outerbridge-Score

Outerbridge R.E beschrieb 1961 eine makroskopische Einteilung für Knorpelschäden am Kniegelenk, siehe Tabelle 12. Diese Einteilung beurteilt sowohl die Qualität als auch die Ausdehnung des Schadens (Outerbridge 1961, Outerbridge et al. 1975).

OS Grad 0	Normaler, gesunder Knorpel
OS Grad 1	Erweichung und Knorpelschwellung
OS Grad 2	Defekte (Teildicke) und Fissuren an der Oberfläche die nicht den subchondralen Knochen erreichen oder einen Durchmesser größer als 1,5 cm haben
OS Grad 3	Defekte und Fissuren mit einem Durchmesser größer als 1,5 cm
OS Grad 4	Knorpelerosion bis auf den Knochen

Tabelle 12: Outerbridge-Score, aus (Outerbridge et al. 1975)

Für diese Arbeit wurde die vorliegende Einteilung zur Beurteilung des Schadens am Pfannenknorpel übernommen und damit die Schadensqualität dokumentiert.

3.5.2.2 Beck-Score

2004 beschrieben Beck et al. in ihrem Paper zum anterioren FAI erstmals die auffällige makroskopische Darstellung von Knorpelschäden am Acetabulum und unterteilten diese in fünf charakteristische Schadensbilder (Beck et al. 2004). Ein Jahr später wurde diese fünfstufige Einteilung von derselben Arbeitsgruppe auf eine vierstufige Gliederung vereinfacht. Die ursprüngliche, in *Malazie* und *Lochfraßmalazie* aufgegliederte Unterteilung eines aufgerauten, aufgefaserten Knorpels wurde zu einem Punkt *Malazie* zusammengefasst (Beck et al. 2005).

0: Normal	Normaler, gesunder Knorpel
1: Malazie	Aufrauen und Faserung der Oberfläche
2: Ablösung	Verlust der Fixierung des Knorpels zum subchondralen Knochen, Knorpel ansonsten makroskopisch unauffällig; <i>Teppich-Phänomen</i> (engl. <i>wave sign</i>)
3: Aufspaltung	Verlust der Fixierung zum subchondralen Knochen; ausgefrante Ränder, Ausdünnung des Knorpels
4: Defekt	Defekt über die gesamte Tiefe des Knorpels

Tabelle 13: Beck-Score Knorpelschaden am Acetabulum, aus (Beck et al. 2005)

Für diese Arbeit wurde diese 2005 aktualisierte Einteilung zur Beurteilung des Schadens, siehe Tabelle 13 und Abbildung 28, am Pfannenknorpel übernommen und die Schadensklasse dokumentiert.

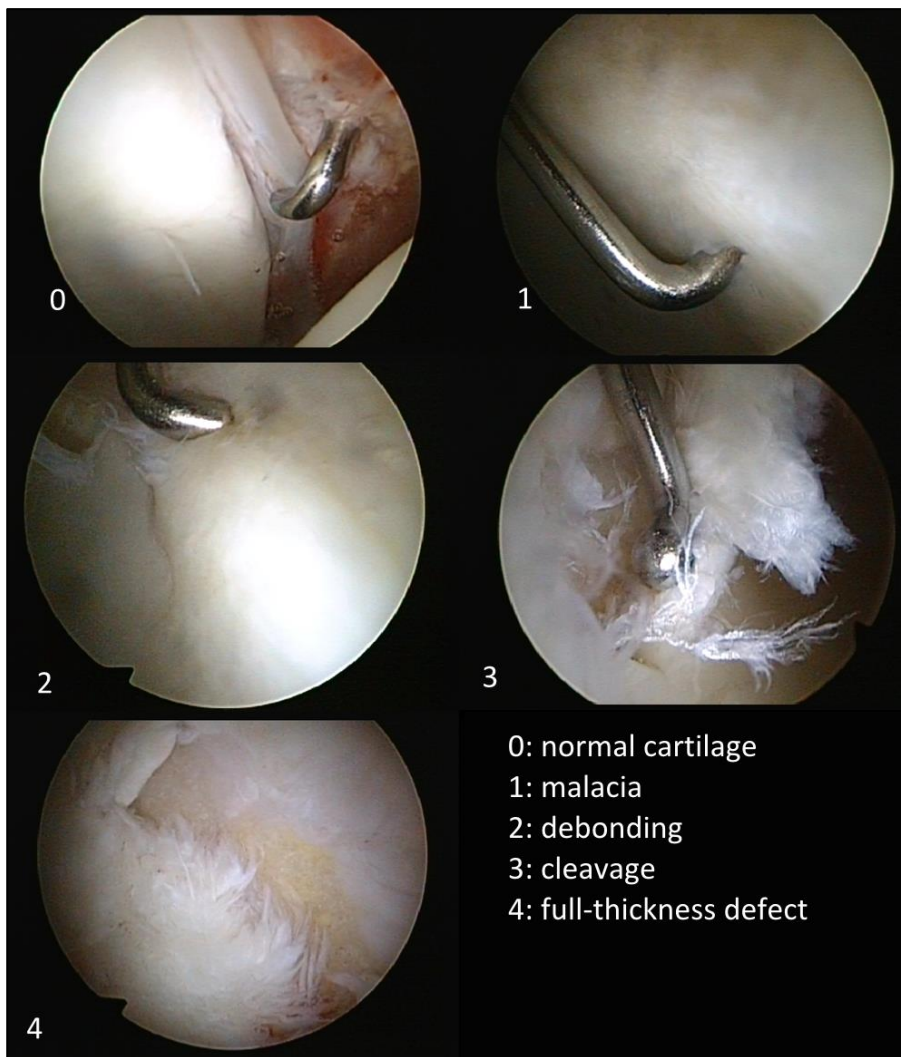


Abbildung 28: Arthroskopiefotos Gelenkfläche Acetabulum, Stadien des Beck-Scores

3.5.2.3 Delamination und Wave Sign

In der Datenbank wurde ebenfalls binär notiert, ob eine Knorpeldelamination oder ein *Wave Sign* am acetabulären Knorpel vorgefunden wurde.

3.5.2.4 Sampson-Score

Sampson T.G beschrieb 2011 eine detailliertere qualitative Einteilung für Knorpelschäden am Acetabulum, welche unter anderem durch die verschiedenen Therapiemöglichkeiten beeinflusst wird (Sampson 2011). Die ausführliche morphologische Einteilung ist in Tabelle 14 aufgelistet.

0: AC 0	Normaler, gesunder Knorpel
1: AC 1	Knorpelerweichung, kein Teppich-Phänomen
2: AC 1w	Knorpelerweichung mit Teppich-Phänomen, intakter Labrum-Knorpelübergang
3: AC 1wTj	Knorpelerweichung mit Teppich-Phänomen, gerissener Labrum-Knorpelübergang
4: AC 1wD	Knorpelerweichung mit Teppich-Phänomen, intakter Labrum-Knorpelübergang mit Delamination
5: AC 1wTjD	Knorpelerweichung mit Teppich-Phänomen, gerissener Labrum-Knorpelübergang mit Delamination
6: AC 2	Fissuren
7: AC 2Tj	Fissuren mit gerissenem Labrum-Knorpelübergang
8: AC 3	Sichtbarer Knochen <1cm ²
9: AC 4	Sichtbarer Knochen >1 cm ²

Tabelle 14: Sampson-Score Knorpelschaden am Acetabulum, aus (Sampson 2011)

3.5.2.5 Größenabschätzung des acetabulären Knorpelschadens

Zur einfachen Erweiterung des Beck-Scores und zur Beurteilung des Gesamtausmaßes des Knorpelschadens wurde die Ausdehnung des Knorpelschadens vom Pfannenrand zur Pfannenmitte mit Hilfe von Referenzen (Tasthacken) abgeschätzt. Folgende Einteilung wurde getroffen (Tabelle 15):

Grad 0	Kein Schaden, normaler, gesunder Knorpel
Grad 1	0 bis <5 mm Ausdehnung (randständig)
Grad 2	5 bis <10 mm
Grad 3	10 bis <15 mm
Grad 4	15 bis <20 mm
Grad 5	≥20 mm Ausdehnung

Tabelle 15: Ausdehnung bzw. Größe des Knorpelschadens

3.5.3 Beurteilung des Knorpelschadens am Femur

Es wurde ebenfalls in der Datenbank binär festgehalten, ob am Hüftkopfknochen ein Schaden vorgefunden werden konnte.

3.5.4 Beurteilung des Labrums

3.5.4.1 Beck-Score des Labrums

Ähnlich der Beurteilung des Knorpelschadens der Pfanne beschrieb die Arbeitsgruppe um Beck 2004 auch die verschiedenen makroskopisch beurteilbaren Schäden des Labrums (Beck et al. 2004, Beck et al. 2005). Diese makroskopische Einteilung wurde für diese Arbeit übernommen und dem Schweregrad nach sortiert. (Siehe Tabelle 16)

0: Normal	Makroskopisch normales, unauffälliges Labrum
1: Degeneration	Ausdünnung, lokalisierte Hypertrophie, Zerfransung, Verfärbung des Labrums
2: Ablösung	Separation zwischen acetabulären und labralen Knorpel, intakte Knochenfixierung
3: Riss (komplette Dicke)	Kompletter Abriss vom knöchernen Acetabulumsrand
4: Verknöcherung	Ossäre Metaplasie, lokalisiert oder global

Tabelle 16: Beck-Score Labrumschaden, modifiziert nach (Beck et al. 2005)

3.5.4.2 Binäre Auswertung Labrumriss

In der Datenbank wurde ebenfalls binär notiert, ob das Labrum eingerissen (Einriss oder kompletter Abriss) war.

3.6 Statistische Methoden

Für die Erstellung der Mittelwerte, Standardabweichungen sowie die zusammenfassenden allgemeinen statistischen Berechnungen wurden sowohl das Programm Excel® 2007 (Microsoft, Redmond, U.S.A.) als auch die Software Graphpad Prism® 5.01 (Graphpad, La Jolla, U.S.A.) verwendet. Student's T-Tests, one-way ANOVA Analysen, sowie Fisher's Exact Tests und Chi-Quadrat Tests wurden mit Hilfe des Programmes Prism® 5.01 (Graphpad, La Jolla, U.S.A.) durchgeführt.

Die uni- und multivariate Regressionsanalyse wurde mittels dem Program R (R Foundation for Statistical Computing) in Form einer *ordered logit regression* Analyse bzw. einer *proportional odds logistic regression* Analyse von Herrn Dr. Alexander Hapfelmeier (Institut für medizinische Statistik und Epidemiologie TU München) durchgeführt (Agresti 2002, Venables et al. 2002).

3.7 Benutzte Software

EasyVision®, Version R11.4.1, Philips Medical Systems, PC Best, Niederlande
EndNote® X7.1, Thomson Reuters, New York City, Vereinigte Staaten v. Amerika
Inkscape 0.48, Open Source
Office® 2007 Suite (Excel®, Powerpoint®, Word®), Microsoft, Redmond, U.S.A.
Prism® 5.01, Graphpad Software, La Jolla, Vereinigte Staaten v. Amerika
R 3.0.2, R Foundation for Statistical Computing, Open Source
yEd 3.11.1, yWorks, Tübingen, Deutschland

Tabelle 17: Verwendete Software

4. Ergebnisse

Aufgrund der Menge an gesammelten Daten wurde zum Zwecke einer besseren Übersicht die Datenauswertung in zwei Kategorien, konkret quantitative Daten (kontinuierliche Daten z.B.: Winkel, Jahreszahlen) und qualitative Daten (dichotome, kategoriale Daten) eingeteilt. Dabei ist zu beachten, dass diese Daten trotz der Aufteilung in Wechselwirkung zueinanderstehen. Kontinuierliche Variablen können, wie z.B. der Alpha-Winkel in a.-p. Beckenübersichtsaufnahmen mit einem *Pistol-Grip Sign*, mit qualitativen Merkmalen assoziiert sein. Es komplementieren sich daher die beiden Analysen. Wie die einzelnen Variablen zu interpretieren sind, ist im Kapitel 3 „Material und Methoden“ nachzulesen. Während im Kapitel 4.1 vor allem der Datensatz dargestellt und gezeigt wird, dass dieser mit dem aktuellen Stand der Literatur übereinstimmt, wird in Kapitel 4.2 auf die Korrelationsanalyse eingegangen, die die Grundfragestellung dieser Arbeit, nämlich ob es bestimmte Variablen gibt, die mit einem erhöhten Risiko auf ausgeprägten Knorpelschaden assoziiert sind, beantwortet.

Eine statistische Signifikanz ist in dieser Arbeit als ein p-Wert $<0,05$ festgelegt.

4.1 Ergebnisse der einzelnen Risikofaktoren

4.1.1 Auswertung der quantitativen Daten

Die quantitativen Mittelwerte der Patientenkohorte sind in der Tabelle 18 auf Seite 65 aufgelistet. Das Durchschnittsalter der Patienten zum OP-Termin betrug $33 \frac{1}{2}$ Jahre, die Patienten litten bis dahin im Mittel 27 Monate lang an Schmerzen im Hüftgelenk. Der durchschnittliche Alpha-Winkel der Röntgenaufnahmen sowie den MRT/MRA Bildgebungen zeigt sich mit meist über 60° pathologisch. Dies liegt daran, dass die gesamte Patientenkohorte nur aus symptomatischen Patienten besteht und diese Arbeit keine gesunden Patienten im Sinne einer Kontrollgruppe aufweist. Des Weiteren zeigten von den 186 operierten Hüften jeweils 85 Hüften (46%) ein reines Cam-Impingement oder einen Mixed- Typ, nur 16 Hüften (8%) wiesen ein reines Pincer-Impingement auf.

Die hohe Anzahl an Cam- und Mixed-Typ-Patienten in der Patientenkohorte treiben den durchschnittlichen Alpha-Winkel in die Höhe. Passend zu den erhöhten Alpha-Winkeln zeigen

sich eine hohe $\frac{1}{2}$ Radial-Height/Radius Ratio sowie ein mit 4,12 mm deutlich verminderter durchschnittlicher Head-Neck Offset. Die Messwerte für die Pfannenkonfiguration finden sich mit einem durchschnittlichen AC-Winkel von 4,44° und einem LCE-Winkel von 30,23° im Normbereich.

		Mittelwert (MW)	Standardabweichung (STABWN)	Anzahl (N)
Klinische Angaben				
Alter	[Jahre]	33,50	± 10,78	186
Gesamtrotation	[°]	54,14	± 17,27	180
Innenrotation (Bauchlage)	[°]	26,82	± 12,06	77
Innenrotation (90° Rückenlage)	[°]	17,35	± 11,90	172
Schmerzdauer	[Monate]	27,22	± 30,44	186
Röntgen				
Alpha-Winkel a.-p.	[°]	66,18	± 18,60	178
$\frac{1}{2}$ Radial height/radius ratio		0,89	± 0,11	175
AC-Winkel	[°]	4,44	± 4,80	176
LCE-Winkel	[°]	30,23	± 6,26	176
Alpha-Winkel lateral	[°]	60,58	± 12,35	167
HN-Offset	[mm]	4,12	± 3,26	162
Offset-ratio		0,15	± 0,12	162
MRT				
Alpha-Winkel MR koronar	[°]	62,74	± 14,04	174
Alpha-Winkel MR axial	[°]	53,68	± 10,53	169
Alpha-Winkel MR radial	[°]	67,24	± 9,47	65
Epiphysialer Torsionswinkel	[°]	14,16	± 5,76	87
Acetabuläre Tiefe	[mm]	3,95	± 2,78	159

Tabelle 18: Durchschnittswerte der quantitativen Daten des Gesamtkollektivs

Wenn man nun den Datensatz in zwei Gruppen, nämlich dem Geschlecht nach aufteilt, kann beobachtet werden, dass sich der Literatur entsprechend zwischen den männlichen und weiblichen Patienten Unterschiede zeigen, siehe Tabelle 19. Während die zwei Geschlechter sich im Altersdurchschnitt, sowie im durchschnittlichen Bewegungsumfang und der Schmerzdauer nicht unterscheiden, zeigt es sich, dass Männer höhere Alpha-Winkel aufweisen als Frauen (Alpha-Winkel a.-p. Frauen vs. Männer: 55,93° vs. 69,85°, $p < 0,0001$; siehe Abbildung 29). Dies deckt sich mit der Literatur, dass Männer eher ein Cam Impingement aufweisen als Frauen (Gosvig et al. 2008).

		Frauen			Männer			Signifikanz (p-Werte)
		MW	STABWN	N	MW	STABWN	N	
Klinische Angaben								
Alter	[Jahre]	34,14	± 11,07	50	33,26	± 10,71	136	0,5252
Gesamtrotation	[°]	57,86	± 17,88	49	52,75	± 16,90	131	0,0772
Innenrotation (Bauchlage)	[°]	30,58	± 13,66	26	24,9	± 10,79	51	0,0501
Innenrotation (90° Rückenlage)	[°]	19,79	± 12,07	47	16,44	± 11,76	125	0,1004
Schmerzdauer	[Monate]	22,54	± 21,72	50	28,93	± 32,98	136	0,2050
Röntgen								
Alpha-Winkel a.-p.	[°]	55,93	± 19,77	47	69,85	± 16,77	131	< 0,0001
½ Radial height/radius ratio		0,81	± 0,14	46	0,92	± 0,08	129	< 0,0001
AC-Winkel	[°]	3,89	± 5,66	47	4,65	± 4,45	129	0,3559
LCE-Winkel	[°]	30,49	± 6,86	47	30,13	± 6,06	129	0,7392
Alpha-Winkel lateral	[°]	55,35	± 11,36	46	62,57	± 12,17	121	0,0006
HN-Offset	[mm]	4,98	± 3,12	44	3,8	± 3,26	118	0,0408
Offset-ratio		0,19	± 0,12	44	0,13	± 0,11	118	0,0017
MRT								
Alpha-Winkel MR koronar	[°]	52,64	± 12,59	48	66,58	± 12,61	126	< 0,0001
Alpha-Winkel MR axial	[°]	49,73	± 10,10	47	55,21	± 10,33	122	0,0022
Alpha-Winkel MR radial	[°]	61,87	± 6,78	18	69,29	± 9,60	47	0,0637
Epiphysialer Torsionswinkel	[°]	14,64	± 5,71	23	13,99	± 5,81	64	0,6460
Acetabuläre Tiefe	[mm]	3,02	± 2,59	44	4,31	± 2,78	115	0,0086

Tabelle 19: Vergleich zw. Frauen u. Männern

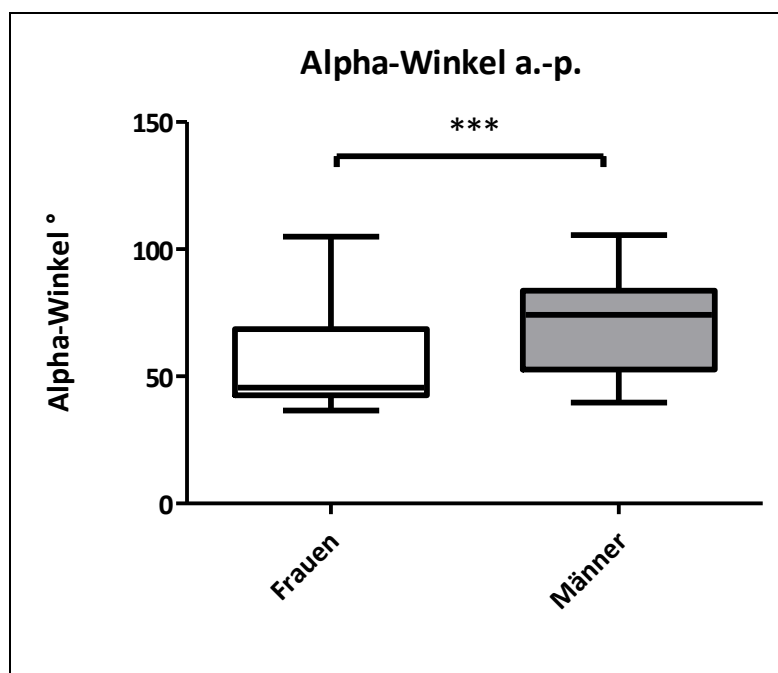


Abbildung 29: Box Blot Alpha-Winkel Röntgen a.-p., Vergleich zw. Frauen u. Männer

Neben der Einteilung nach Patientengeschlecht kann der Datensatz auch in die drei verschiedenen FAI Typen unterteilt werden. In Tabelle 20 werden die Durchschnittswerte der Gruppen Cam-FAI, Pincer-FAI und Mixed-FAI miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass sich die Gruppen in ihren spezifischen, charakteristischen Merkmalen signifikant unterscheiden. Ebenfalls feststellbar ist, dass Unterschiede in den Durchschnittswerten zw. Cam-FAI und Mixed-FAI nicht so hoch ausfallen wie zwischen Cam-FAI und Pincer-FAI. Dies ist zu erwarten, da Mixed-Hüften Merkmale der beiden anderen FAI-Typen aufweisen. In sämtlichen Alpha-Winkelmessungen und den damit zusammenhängenden Messwerten wie zum Beispiel dem HN-Offset weisen die Gruppen Cam-FAI und Mixed-FAI im Vergleich mit Pincer-FAI deutlich pathologische Werte auf. Während in der Pincer-Gruppe der Alpha-Winkel in a.-p. Beckenübersichtsaufnahmen einen normalen Durchschnittswert von $45,93^\circ$ erreicht, ist dieser in den Gruppen Cam und Mixed mit $68,76^\circ$ und 68° eindeutig pathologisch erhöht. Anders herum zeigt es sich auch, dass reine Cam-Hüften normale Messwerte für die Pfannenkonfiguration (AC $5,81^\circ$, LCE $28,39^\circ$) aufweisen, dagegen Pincer-Hüften einen eindeutig verkleinerten AC-Winkel ($0,93^\circ$) und erhöhten LCE-Winkel ($36,33^\circ$) haben. Diese Analyse wurde zur Darstellung des Gesamtdatensatzes und zur Kontrolle auf Fehler und Fehleinteilungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse zeigen hiermit, dass der Datensatz in sich und mit der gängigen Fachliteratur in einem Konsens befindet.

		Cam-FAI			Pincer-FAI			Mixed-FAI			Signifikanz (p-Werte)
		MW	STABWN	N	MW	STABWN	N	MW	STABWN	N	
Klinische Angaben											
Alter	[Jahre]	34,07	± 11,49	85	35,13	± 10,93	16	32,62	± 10,05	85	0,5615
Gesamtrotation	[°]	53,52	± 17,15	81	58,00	± 14,98	15	54,05	± 17,86	84	0,6541
Innenrotation (Bauchlage)	[°]	28,06	± 14,42	31	28,57	± 7,48	7	25,51	± 10,69	39	0,6320
Innenrotation (90° Rückenlage)	[°]	17,47	± 10,12	77	19,64	± 7,71	14	16,85	± 13,95	81	0,7180
Schmerzdauer	[Monate]	27,48	± 28,06	85	22,19	± 16,43	16	27,90	± 34,64	85	0,7862
Röntgen											
Alpha-Winkel AP	[°]	68,76	± 17,98	80	43,93	± 3,64	16	68,00	± 18,18	82	< 0,0001
½ Radial height/radius ratio		0,90	± 0,13	78	0,78	± 0,07	16	0,90	± 0,09	81	0,0003
AC-Winkel	[°]	5,81	± 3,20	79	0,93	± 6,33	16	3,81	± 5,30	81	0,0002
LCE-Winkel	[°]	28,39	± 4,56	79	36,33	± 6,49	16	30,82	± 6,82	81	< 0,0001
Alpha-Winkel lateral	[°]	61,65	± 10,46	75	42,66	± 5,04	14	62,77	± 12,45	78	< 0,0001
HN-Offset	[mm]	3,77	± 2,78	72	8,66	± 1,74	14	3,63	± 3,28	76	< 0,0001
Offset-ratio		0,13	± 0,09	72	0,34	± 0,06	14	0,13	± 0,11	76	< 0,0001
MRT											
Alpha-Winkel MR koronar	[°]	64,16	± 13,73	78	45,84	± 6,13	16	64,73	± 13,30	80	< 0,0001
Alpha-Winkel MR axial	[°]	54,50	± 10,11	74	40,39	± 6,55	16	55,61	± 9,71	79	< 0,0001
Alpha-Winkel MR radial	[°]	66,43	± 7,86	30	48,53	± 4,72	3	69,74	± 9,21	32	0,0004
Epiphysialer Torsionswinkel	[°]	14,62	± 5,92	34	8,74	± 4,64	7	14,65	± 5,47	46	0,0325
Acetabuläre Tiefe	[mm]	4,59	± 1,90	67	1,56	± 2,60	16	3,89	± 3,19	76	0,0003

Tabelle 20: Vergleich zw. den Gruppen Cam-, Pincer- und Mixed-FAI; Mittelwerte, Standardabweichungen, Anzahl N sowie p-Werte

4.1.2 Auswertung der qualitativen Daten

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, stellen Cam- und Mixed-Hüften den Hauptteil der erkrankten Hüftgelenke in der Patientenkohorte dar. Die Gesamtauswertung der qualitativen Daten wird im Anhang in Tabelle 32 auf Seite 113 dargestellt. Während bei 96% aller Patienten präoperativ ein positiver Impingementtest ausgelöst werden konnte, berichteten nur 27% der Patienten von positiven Anlaufschmerzen. Knapp 57% der Hüften zeigten im konventionellen Röntgen ein klassisches Pistol-Grip Sign. Eine Coxa profunda zeigten knapp 53% aller Beckenübersichtsaufnahmen, eine Protrusio acetabuli fand sich nicht im Patientengut. Dies ist vor allem dadurch zu begründen, dass eine Protrusio coxae keine gute Indikation für eine arthroskopische Behandlung darstellt. Klassische sekundäre

Veränderung wie Herniation Pits (22%), Linear Indentation Sign (13%) und Os Acetabuli (17%) zeigten sich eher selten, oft war jedoch eine verdichtete Kortikalis des Schenkelhalses in der Impingementzone zu beobachten (44%). Der radiologisch nachweisbare Gelenksschaden wurde mittels der Tönnis-Klassifikation erfasst: 56% aller Hüften zeigten keine Zeichen einer Gelenksarthrose, bei 28% war eine Arthrose Tönnis Grad 1, bei 15% Tönnis Grad 2 nachzuweisen. Nur eine einzige Hüfte wies einen besonders stark fortgeschrittenen Gelenksschaden der Stufe Tönnis Grad 3 auf (<1%).

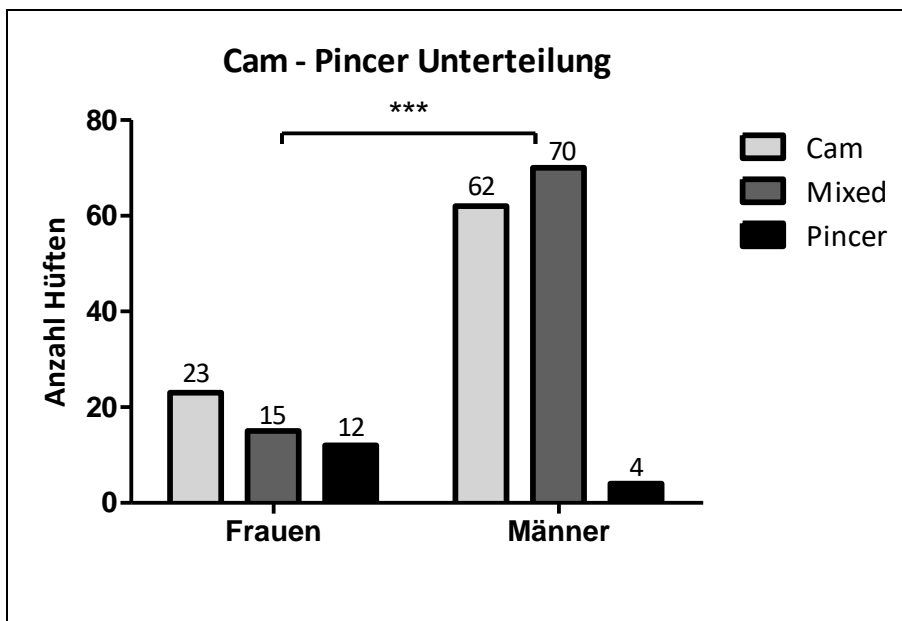


Abbildung 30: Qualitative Beschreibung Cam-Pincer Vergleich Frauen/Männer

Wenn der Datensatz wie schon im vorherigen Kapitel nach Geschlecht stratifiziert wird, ist feststellbar, dass Frauen einen weitaus höheren Anteil an Pincer-Hüften als Männer aufweisen (Siehe Abbildung 30). Daher ist es wie auch bei der Analyse der quantitativen Variablen nicht verwunderlich, dass sich die qualitativen Variablen, die das Cam- oder das Pincer-Impingement definieren, sich in der Geschlechtsverteilung statistisch signifikant voneinander unterscheiden. (Siehe Kapitel 10 Anhang, Tabelle 33 auf Seite 115)

Der Vollständigkeit halber wurde der Datensatz ebenfalls in die drei Gruppen der Cam-Pincer-Unterteilung eingeteilt und die Verteilung der qualitativen Variablen analysiert. (Siehe Kapitel 10 Anhang, Tabelle 33 auf Seite 116) Wie bei der Analyse der quantitativen Daten zeigt es sich, dass sich die Gruppen Cam-FAI, Mixed-FAI und Pincer-FAI in ihren selbstdefinierenden Variablen signifikant unterscheiden (z.B.: Cross-Over Sign, Pistol-Grip Sign). Die Verteilung des radiologisch feststellbaren Arthrosegrades nach Tönnis unterscheidet sich weder bei der

Analyse mit der Aufteilung des Datensatzes nach Geschlecht noch bei der Analyse in der Aufteilung in die drei verschiedenen FAI-Typen signifikant. Es finden sich ebenso keine Gruppenunterschiede in den Anamneseangaben und Untersuchungsvariablen über Impingementtest und Anlaufschmerz. Diese Analyse wurde zur Darstellung des Gesamtdatensatzes und zur Kontrolle auf Fehler und Fehleinteilungen durchgeführt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Datensatz in sich und mit der gängigen Fachliteratur konsistent ist.

4.1.3 Auswertung der Intraoperativen Gelenksbefunde

Die Gesamtwerte der einzelnen Scores zur Beurteilung des Knorpelschadens sind in Tabelle 21 auf Seite 72 dargestellt. Sieben Hüften waren intraoperativ leider nicht genügend distrahierbar um das zentrale Gelenkskompartiment zu eröffnen und damit den Knorpelschaden des Acetabulums zu beurteilen. Von allen operierten und einsehbaren Hüftgelenken wies nur Eines gesunden vitalen Gelenksknorpel ohne Schädigung auf. Insgesamt zeigte sich bei mehr als der Hälfte der Hüften (56% Beck-Score Acetabulum, 63% Outerbridge Klassifizierung) ein höhergradiger Knorpelschaden (Beck-Score 3 und 4, Outerbridge 3 und 4). Abbildung 31 stellt die Verteilung des Knorpelschadens anhand des Beck-Scores dar.

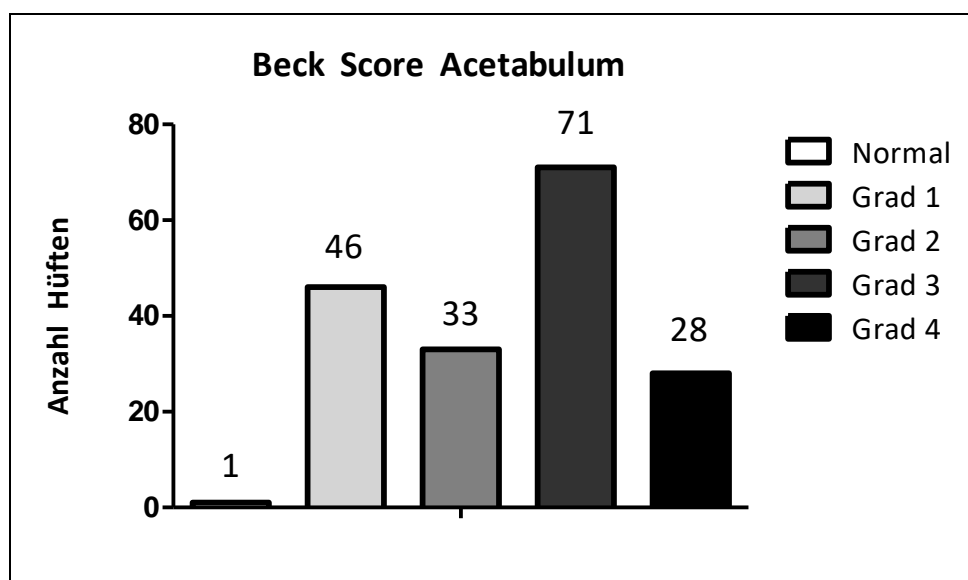


Abbildung 31: Gesamtdatenauswertung Knorpelschaden; Beck-Score Acetabulum

Wenn aber nicht nur die Qualität des Knorpelschadens beurteilt wird, sondern vermessen wird, wie tief sich der Knorpelschaden vom Acetabulumsrand nach zentral ausbreitet, zeigt

sich, dass bei über 55% der Hüften ein Schaden mit einer Größenausdehnung von unter 10 mm eher randständig zu finden ist. (Siehe Abbildung 32)

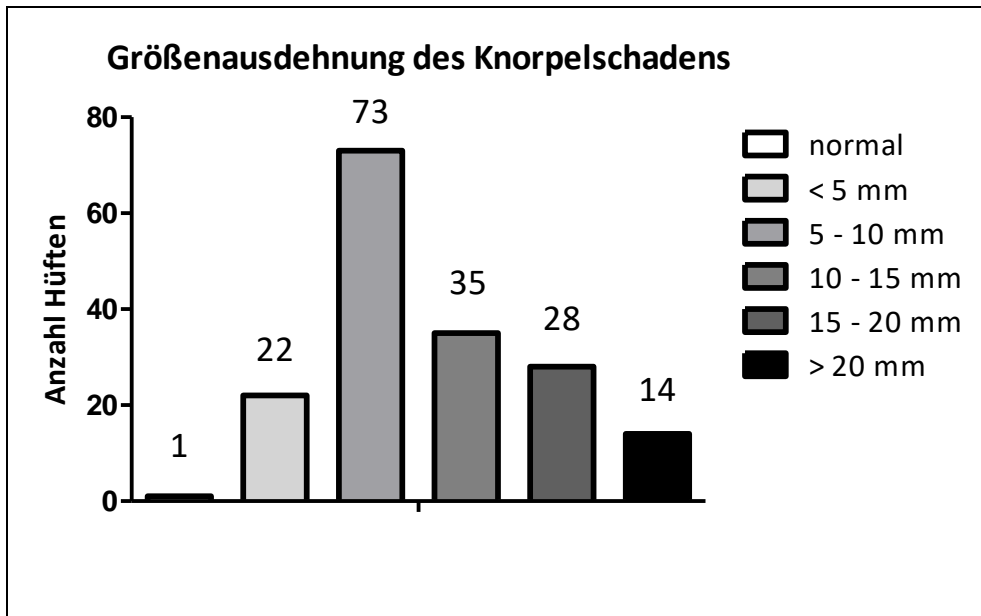


Abbildung 32: Gesamtdatenauswertung Knorpelschaden; Größe

Das Labrum konnte bei allen Patienten zur Gänze beurteilt werden, also auch bei jenen sieben Hüften, die nicht für eine umfassende Beurteilung des zentralen Gelenkkompartimentes ausreichend distrahierbar waren. In 15% wies das Labrum keine Schädigung auf, bei knapp 37% zeigte sich ein höhergradiger Schaden bzw. eine Ossifizierung des Labrums entsprechend eines Beck-Score Grad 3 und Grad 4. (Siehe Abbildung 33)

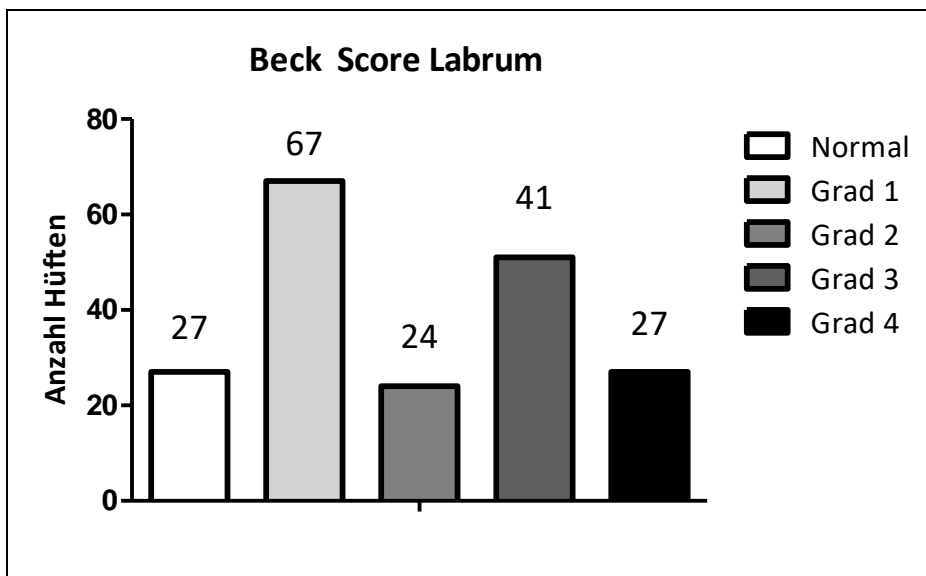


Abbildung 33: Gesamtdatenauswertung Labrumschaden; Beck-Score Labrum

Score	Grad	N	%
Beck-Score Acetabulum	0	1	<1%
	1	46	26%
	2	33	18%
	3	71	40%
	4	28	16%
	Gesamt	179	
Outerbridge-Score	0	1	>1%
	1	31	17%
	2	35	20%
	3	84	47%
	4	28	16%
	Gesamt	179	
Sampson-Score	0	1	<1%
	1	17	10%
	2	14	8%
	3	19	11%
	4	3	2%
	5	68	38%
	6	22	12%
	7	7	4%
	8	6	3%
	9	22	12%
	Gesamt	179	

	Grad	N	%
Größe	0	1	<1%
	1	22	13%
	2	73	42%
	3	35	20%
	4	28	16%
	5	14	8%
	Gesamt	173	
Delamination		129	72%
	Gesamt	179	
Knorpelschaden Femur		43	24%
	Gesamt	179	
Beck-Score Labrum	0	27	15%
	1	67	36%
	2	24	13%
	3	41	22%
	4	27	15%
	Gesamt	186	
Labrum Riss		82	44%
	Gesamt	186	

Tabelle 21: Gesamtwerte intraartikuläre Knorpel- und Labrumbefunde

Auch für die intraoperativen Ergebnisse kann der Datensatz in die Geschlechter bzw. in die Cam- und Pincer-Unterteilungen eingeteilt werden. Die entsprechenden Tabellen (Tabelle 22, Tabelle 23) sind auf den Seiten 73 und 74 zu finden. Die Signifikanzberechnungen wurden mittels exaktem Mann-Whitney U bzw. Kruskal-Wallis Test durchgeführt, oder, falls nicht anwendbar, mittels Chi²-Test. Beim Vergleich der Frauen und Männer unterscheiden sich die intraoperativen Befunde signifikant in der Verteilung und Stärke des Knorpelschadens am Acetabulum (Beck-Score, Outerbridge-Score, sowie Delamination), Männer zeigen dabei höhergradige Schäden als Frauen. Wenn der Datensatz in Cam-FAI, Pincer-FAI und Mixed-FAI unterteilt wird, kann ein statistisch signifikanter Unterschied der drei Gruppen beim Beck-Score Acetabulum, bei der Größenausdehnung, sowie bei der Delamination des Knorpels errechnet werden. Es zeigt sich also, entsprechend der Literatur, dass sich Cam und Pincer-FAI in der Qualität der Knorpelschädigung unterscheiden.

Der Samspon-Score konnte keine Unterschiede, weder zwischen Frauen und Männern noch bei der Unterteilung des FAI, zeigen. Dies liegt vermutlich an der diffizilen Aufteilung des Knorpelschadens mit minimalen Unterscheidungen zwischen den ähnlichen einzelnen Graden. Eine überschaubare und kompaktere Unterteilung in morphologisch klar erkennbare, im Ausmaß der Schädigung ansteigende Schädigungsgrade des Knorpels wie beim Beck-Score scheint für die klinische Handhabung sinnvoller.

Variable	Beschreibung	Frauen		Männer		Signifikanz (p-Wert) Chi ² - / Fisher's exact Test	Signifikanz (p-Wert) Exact Mann-Whitney U-Test
		N	%	N	%		
Beck-Score Acetabulum	0	0	0%	1	1%		< 0,0001
	1	26	52%	20	16%		
	2	12	24%	21	16%		
	3	7	14%	64	50%		
	4	5	10%	23	18%		
	Gesamt	50		129			
Outerbridge-Score	0	0	0%	1	1%		0,00016
	1	15	30%	16	12%		
	2	16	32%	19	15%		
	3	14	28%	70	54%		
	4	5	10%	23	18%		
	Gesamt	50		129			
Sampson-Score	0	0	0%	1	1%		0,08956
	1	11	22%	6	5%		
	2	6	12%	8	6%		
	3	6	12%	13	10%		
	4	1	2%	2	2%		
	5	6	12%	62	48%		
	6	11	22%	11	9%		
	7	4	8%	3	2%		
	8	1	2%	5	4%		
	9	4	8%	18	14%		
Gesamt	50		129				
Größe	0	0	0%	1	1%		0,05482
	1	6	13%	16	13%		
	2	27	56%	46	37%		
	3	9	19%	26	21%		
	4	4	8%	24	19%		
	5	2	4%	12	10%		
Gesamt	48		125				
Delamination		24	48%	105	81%	< 0,0001	
	Gesamt	50		129			
Knorpelschaden Femur		9	18%	34	26%	0,3295	
	Gesamt	50		129			
Beck-Score Labrum	0	15	30%	12	9%		0,5871
	1	10	20%	57	42%		
	2	3	6%	21	15%		
	3	13	26%	28	21%		
	4	9	18%	18	13%		
	Gesamt	50		136			
Labrumriss		19	38%	63	46%	0,3237	
	Gesamt	50		136			

Tabelle 22: Intraoperative Befunde, Vergleich Frauen vs. Männer; Anzahl N Hüften, %-Angabe, Signifikanz p-Wert

	Beschreibung	Cam-FAI		Pincer-FAI		Mixed-FAI		Signifikanz (p-Wert)	Signifikanz (p-Wert)
		N	%	N	%	N	%	Chi ² - / Fisher's exact test	Kruskal-Wallis Test
Beck-Score Acetabulum	0	0	0%	1	6%	0	0%		0,001
	1	22	26%	9	56%	15	19%		
	2	12	14%	4	25%	17	22%		
	3	36	43%	2	13%	33	42%		
	4	14	17%	0	0%	14	18%		
	Gesamt	84		16		79			
Outerbridge-Score	0	0	0%	1	6%	0	0%		0,082
	1	13	15%	5	31%	13	16%		
	2	16	19%	3	19%	16	20%		
	3	41	49%	7	44%	36	46%		
	4	14	17%	0	0%	14	18%		
	Gesamt	84		16		79			
Sampson-Score	0	0	0%	1	6%	0	0%		0,22
	1	7	8%	3	19%	7	9%		
	2	7	8%	2	13%	5	6%		
	3	5	6%	2	13%	12	15%		
	4	1	1%	0	0%	2	3%		
	5	35	42%	2	13%	31	39%		
	6	10	12%	5	31%	7	9%		
	7	5	6%	1	6%	1	1%		
	8	2	2%	0	0%	4	5%		
	9	12	14%	0	0%	10	13%		
	Gesamt	84		16		79			
Größe	0	0	0%	1	7%	0	0%		0,005
	1	8	10%	4	27%	10	13%		
	2	31	38%	8	53%	34	45%		
	3	19	23%	2	13%	14	18%		
	4	17	21%	0	0%	11	14%		
	5	7	9%	0	0%	7	9%		
	Gesamt	82		15		76			
Delamination		61	73%	6	38%	62	78%	0,0038	
	Gesamt	84		16		79			
Knorpelschaden Femur		23	27%	2	13%	18	23%	0,417	
	Gesamt	84	0%	16	0%	79	0%		
Beck-Score Labrum	0	15	18%	4	25%	8	9%		0,451
	1	32	38%	2	13%	33	39%		
	2	8	9%	1	6%	15	18%		
	3	19	22%	5	31%	17	20%		
	4	11	13%	4	25%	12	14%		
	Gesamt	85		16		85			
Labrumriss		34	40%	6	38%	42	49%	0,3995	
	Gesamt	85		16		85			

Tabelle 23: Intraoperative Befunde, Vergleich Cam vs. Pincer; Anzahl N, %-Angabe, Signifikanz p-Wert

4.2 Uni- und Multivariate Regressionsanalyse auf Risikofaktoren

Um die Fragestellung dieser Arbeit, nämlich ob es spezielle Variablen gibt, die einen Einfluss auf das Ausmaß des intraartikulären Knorpelschadens haben, beantworten zu können, wurde der Datensatz einer uni- sowie multivariaten Regressionsanalyse unterzogen. Zur vereinfachten Darstellung werden Odds-Ratios (OR) anstelle von Korrelationskoeffizienten berechnet. Dabei sind diese Odds-Ratios wie folgend zu interpretieren. Bei dichotomen Variablen wird, wenn nicht anders angegeben, die Odds-Ratio zwischen *vorhandener Beobachtung* und *Normwert* dargestellt. Bei kategorialen, mehrstufigen Variablen ist Auslegung der Odds-Ratio immer zusätzlich in der Ergebnistabelle angegeben. Bei kontinuierlichen Messwerten, wie zum Beispiel dem Alpha-Winkel, orientiert sich die Berechnung am niedrigsten Wert des Datensatzes und die Odds-Ratio wird als Ratio zwischen diesem und einem um *eine Einheit* höheren Messwert dargestellt. Im Falle des Alpha-Winkel bezeichnet Odds-Ratio also eine Ratio zwischen den Odds von *Winkel A + 1°* durch die Odds von *Winkel A*.

Der Datensatz wurde auf das Outcome Knorpelschaden am Acetabulum mittels *Beck-Score für Knorpelschäden*, *Outerbridge-Score* und der Größeneinteilung des Knorpelschadens hin untersucht. Ebenso wurde das Outcome Labrumschaden mittels *Beck-Score des Labrums* untersucht. Der *Sampson-Score*, der den Knorpelschaden nach Behandlungsmodalität einteilt und dabei nicht immer nach einem aufsteigendem Schweregrad einer Knorpelschädigung unterteilt ist, wurde aufgrund dessen und der Menge an verschiedenen Untergruppen nicht in der Berechnung berücksichtigt.

Für die korrekte Berechnung der Odds-Ratios und deren Signifikanz bei der Variable „Tönnis-Skala“ musste die Hüfte mit der Stufe Tönnis 3 ausgenommen werden, die Berechnung bezog sich also auf die Tönnis-Grade 0-2.

4.2.1 Univariate Regressionsanalyse

4.2.1.1 Univariate Regressionsanalyse des Knorpelschadens am Acetabulum

Die Details der univariaten Regressionsanalyse sind in Tabelle 24 auf Seite 80-82 dargestellt. Die verschiedenen anamnestischen und radiologischen Messwerte wurden bezüglich eines Einflusses auf den *Beck-Score*, den *Outerbridge-Score* sowie den vordefinierten Größenscore hin untersucht.

Folgende Variablen zeigten keine statistisch signifikante Korrelation ($p < 0,05$) mit dem Outcome Knorpelschaden: die Seite der operierten Hüfte, ein positiver Impingementtest, vorhandene Anlaufschmerzen, die Schmerzdauer, die Konfiguration der Schenkelhalsachse (varisch oder valgisch), die Pfannenkonfiguration (AC-Winkel, LCE-Winkel, Crossover Sign, ISS, PWC, Coxa profunda, Acetabuläre Tiefe im MRT), sekundäre Zeichen (LIS, RCT, Herniation Pits, Os acetabuli) sowie der epiphysiale Torsionswinkel. Es ist festzustellen, dass vor allem Parameter, die ein Pincer-Impingement definieren anscheinend keinen signifikanten Risikofaktor für einen höhergradigen Knorpelschaden im Hüftgelenk darstellen. Wenn Cam Hüften mit Pincer Hüften verglichen werden, zeigt sich eine *Beck-Score* Odds-Ratio Pincer- zu Cam-FAI von 0,144 ($p < 0,05$). Der Patient mit einer Cam-Typ Deformität zeigt also ein ca. 7-fach höheres „Risiko“ auf einen starken Knorpelschaden als ein Patient mit einem isolierten Pincer-Impingement. Ebenso lässt sich beobachten, dass das Patientenalter mit positiven Odds-Ratios und p-Werten unter 0,05 einen Einfluss sowohl auf die Qualität als auch auf die Größe des Knorpelschadens zeigt.

Gleichermaßen scheint das Geschlecht der Patienten signifikant mit dem Knorpelschaden zu korrelieren; die Odds-Ratios zwischen Männern und Frauen zeigten mit 5,174 beim *Beck-Score* und 3,272 beim *Outerbridge-Score* einen Nachteil für das männliche Geschlecht. Wohlgemerkt ist dies nur bei der univariaten Analyse zu beobachten. Wie im vorherigen Kapitel gezeigt wurde, kann dieses erhöhte „Risiko“ für Männer daran liegen, dass in der untersuchten Patientenkohorte Frauen mehr Pincer als Cam Impingement hatten und auch eine geringere Asphärizität des Hüftkopfes als Männer aufwiesen. Laut Literatur ist bei Cam-Impingement und größerem Höcker ein stärkerer Knorpelschaden zu erwarten (Beck et al. 2005, Ganz et al. 2008, Gosvig et al. 2008).

Sämtliche Messungen des Bewegungsumfanges der Hüfte (Rotationsfähigkeit) zeigen, dass je beweglicher die Hüfte ist, desto weniger Knorpelschaden anzunehmen ist. Als Beispiel sei die

Odds-Ratio des Beck-Scores für die Gesamttrotationsfähigkeit der Hüfte 0,976 mit einem $p < 0,05$ genannt.

Sämtliche Parameter, die das Ausmaß eines Cam-Impingement vermessen, zeigen geschlossen einen signifikanten Einfluss auf die Qualität und Größe des Knorpelschadens: Pistol-Grip Sign, HGPS, Alpha-Winkel in Röntgenaufnahmen und MRT/MRA, $\frac{1}{2}$ Radial Height/Radius-Ratio, HN-Offset, HN-Offset-Ratio sowie die qualitative Beurteilung des Cam-Deformität. Zu beachten ist, dass beim HN-Offset und der zugehörigen Ratio die Werte reziprok zu interpretieren sind, da mit steigendem Offset immer weniger Asphärität vorhanden ist. Die „protektive“ OR von 0,862 ist also als Ratio zwischen den Odds *Offset +1 mm* und den Odds *Offset* zu sehen, je höher das Offset, das heißt je niedriger die Asphärität desto geringer wird das „Risiko“ auf einen Knorpelschaden. Reziprok kann daraus geschlossen werden, dass je niedriger der Offset ist, desto höher ist die Chance einen stärkeren Knorpelschaden zu erleiden.

Hervorzuheben wäre noch die in dieser Arbeit definierte qualitative Einteilung der Formen des Cam-Impingements. Sowohl in der Beckenübersichtsaufnahme als auch in der lateralen Aufnahme nach Lauenstein zeigt sich ein signifikanter Einfluss ($p < 0,05$) auf die Qualität und die Ausdehnung des Knorpelschadens. Es ist weiterhin erkennbar, dass das Risiko auf höheren Schaden mit der Qualität der Asphärität zusammenhängt: ein direkt am Hüftkopf gelegener Höcker zeigt ein höheres Risiko als ein sich weiter vom Hüftkopfbereich entfernter Höcker am Schenkelhals. Ein Beispiel dafür sind die ORs für den Beck-Score Acetabulum bei lateralen Schenkelhalsaufnahmen: Cam Typ 1 (Asphärität am Hüftkopf) zu normaler Anatomie zeigt eine hohe OR von 5,961. Hingegen zeigt Cam Typ 2 (Abgeflachter HK-Schenkelhalsübergang) zu normaler Anatomie bereits eine niedrigere OR von 1,662. Cam Typ 3 (Deformität weiter distal am Schenkelhals) zeigt im Vergleich zu Cam Typ 2 keine weitere signifikante Senkung des „Risikos“. Es ist plausibel, dass, je näher die Asphärität am Hüftkopfbereich liegt, das heißt auch je größer der Alpha-Winkel ist, die Verletzung bereits bei geringerem Bewegungsablauf gesetzt werden kann und dadurch das Risiko auf höheren Schaden steigt. Die Ergebnisse der univariaten Analyse bestätigen diese Annahme und beweisen auch im Falle der Methode der qualitativen Beurteilung der Cam-Deformität, dass auch ohne den Einsatz aufwendiger Messinstrumente das Risiko (für die Entwicklung) eines höhergradigen Knorpelschadens mit einer simplen Methode gut abgeschätzt werden kann.

Die Beurteilung der Arthrose des Hüftgelenks mittels der *Tönnis-Klassifikation* wurde als Positivkontrolle ebenfalls errechnet. Wie zu erwarten steigen die ORs mit dem Grad der auf dem Röntgenbild festgestellten Gelenksarthrose signifikant an.

4.2.1.2 Univariate Regressionsanalyse des Labrumschadens

Die Details der univariaten Regressionsanalyse sind in Tabelle 24 auf Seite 80-82 nachzulesen.

Folgende Variablen zeigten keinen statistisch signifikanten Einfluss ($p < 0,05$) auf das Outcome Labrumschaden: das Geschlecht, die FAI-Variante (Cam, Pincer, Mixed), die Seite der operierten Hüfte, der Gesamtrationsumfang der Hüfte, ein positiver Impingementtest, Anlaufschmerzen, die Schmerzdauer, PGS, HGPS, die Konfiguration der Schenkelhalsachse, die Pfannenkonfiguration (AC-Winkel, Crossover Sign, ISS, Coxa profunda, Acetabuläre Tiefe MRT), sekundäre Zeichen (LIS, RCT, Herniation Pits, Os acetabuli), Alpha-Winkel MR axial und radiäre Rekonstruktion sowie der epiphysiale Torsionswinkel.

Das Patientenalter weist eine signifikante Korrelation mit der Schädigung des Labrums mit einer OR von 1,066 auf. Bei der Variable Geschlecht zeigt sich mit einer OR von 1,205 und einem p-Wert von 0,558 kein Unterschied zw. Männern und Frauen.

Obwohl die Gesamtrationsfähigkeit statistisch nicht signifikant ist, zeigen beide Messmethoden für die Innenrotationsfähigkeit mit Odds-Ratios von $< 1,00$ einen signifikanten protektiven Einfluss auf die Schädigung des Labrums. Analog zum Knorpelschaden macht es Sinn, dass Patienten mit großem Bewegungsumfang höchst wahrscheinlich ein niedriger geschädigtes, wenn nicht ein komplett gesundes Labrum besitzen, als Patienten mit eingeschränkter Innenrotationsfähigkeit. Die Variable „Anlaufschmerzen“ zeigt mit sehr hohen ORs (z.B.: OR 4,861 Beck Score Acetabulum) deutlich auf eine stattgefundene Schädigung des Knorpels und des Labrums, sie ist allerdings aufgrund der geringen Fallzahl (< 20) nicht signifikant ($p = 0,099$ Beck Score Acetabulum).

Wie zu erwarten, zeigt bei der Einteilung in Cam- und Pincer-FAI der Vergleich von Pincer zu Cam eine positive OR von 1,867. Auch Patienten, die mit gemischten FAI diagnostiziert werden, zeigen im Vergleich mit reinen Cam-Patienten ein höheres „Risiko“ für eine Labrumsschädigung mit einer OR von 1,278, jedoch ergibt die ANOVA-Analyse mit einem p-Wert von 0,417 keinen signifikanten Unterschied. Der Trend zeigt sich allerdings dem Stand

der Literatur entsprechend, dass es beim Pincer-Impingements vorrangig zu einer Schädigung des Labrums kommt und erst später der Knorpel in Mitleidenschaft gezogen wird (Ganz et al. 2003, Leunig et al. 2005b).

Sowohl die qualitative Beurteilung der Asphärität, als auch die Alpha-Winkelmessungen in der Beckenübersichtsaufnahme, der Aufnahme nach Lauenstein und in der Koronarebene im MRT/MRA, sowie die zugehörigen Messmethoden, wie $\frac{1}{2}$ RHR-Ratio, HN-Offset & HN-Offset-Ratio weisen eine statistisch signifikante Korrelation mit dem Ausmaß des Labrumschadens auf. Je größer die Asphärität desto höher ist die Chance auf einen Labrumschaden, als Beispiel zeigt sich beim Alpha-Winkel in der Beckenübersicht a.-p. eine positive OR von 1,025.

Interessanterweise zeigen Pincer-definierende Messvariablen wie der AC-Winkel oder aber auch das Crossover Sign oder das Ischial Spine Sign keinen statistisch signifikanten Einfluss. Beim LCE-Winkel findet sich mit einer OR von 1,053 und einem $p < 0,05$ zumindest ein statistisch signifikanter Pfannenkonfigurationsmessparameter für das Risiko Labrumschaden. Auch die Beurteilung der Pfannenkonfiguration mit Hilfe des *Posterior Wall Sign* zeigt eine signifikante Korrelation: eine vermehrte hintere Pfannenüberdachung (globales Pincer) erhöht mit einer OR von 3,377 deutlich das Risiko auf einen Labrumschaden, eine schlechte hintere Pfannenüberdachung (im Sinne einer Malrotation/Retroversion) wirkt sich mit einer OR von 0,818 leicht protektiv aus. Dieser Trend lässt sich auch bei der Anwesenheit eines Crossover Sign und eines ISS mit Odds-Ratios von 0,795 und respektive 0,784 ($p=0,435$, $p=0,417$) festhalten, allerdings ohne statistische Signifikanz.

Das Merkmal *Os acetabuli*, welches im Falle des Labrumsschadens als Postitivkontrolle dient, entgeht mit einem p-Wert von 0,055 zwar knapp einer statistischen Signifikanz, allerdings weist es mit einer OR von 1,998 auf eine positive Korrelation für ein verletztes Labrum hin.

Variablen			Acetabulärer Knorpelschaden			Delamination	Labraler Schaden
			Beck	Outerbridge	Größe		Beck
Klinische Angaben							
Alter	Jahre	Odds-Ratio	1,053	1,088	1,038	1,006	1,066
		p-Wert	<0,001	<0,001	0,003	0,723	<0,001
		n	179	179	173	179	186
Geschlecht	Männer/Frauen	Odds-Ratio	5,174	3,272	1,785	4,74	1,205
		p-Wert	<0,001	<0,001	0,058	<0,001	0,558
		n	179	179	173	179	186
Seite	Rechts/Links	Odds-Ratio	0,819	0,813	0,599	0,783	1,482
		p-Wert	0,464	0,455	0,065	0,466	0,136
		n	179	179	173	179	186
Gesamtrotation	° höher/niedrig	Odds-Ratio	0,976	0,973	0,98	0,979	0,99
		p-Wert	0,003	0,001	0,011	0,044	0,2
		n	173	173	167	173	180
Innenrotation (90° Rückenlage)	° höher/niedrig	Odds-Ratio	0,97	0,952	0,97	0,986	0,974
		p-Wert	0,01	<0,001	0,009	0,331	0,022
		n	165	165	159	165	172
Innenrotation (Bauchlage)	° höher/niedrig	Odds-Ratio	0,956	0,943	0,947	0,981	0,938
		p-Wert	0,016	0,003	0,002	0,349	<0,001
		n	73	73	73	73	77
Impingementtest		Odds-Ratio	2,894	1,257	1,56	2,674	1,883
		p-Wert	0,113	0,003	0,47	0,177	0,306
		n	177	177	171	177	184
Anlaufschmerz		Odds-Ratio	4,861	4,739	5,257	1,364	2,533
		p-Wert	0,099	0,107	0,086	0,808	0,262
		n	20	20	19	20	22
Schmerzdauer	Monate	Odds-Ratio	1,006	1,001	1,007	1,009	1,002
		p-Wert	0,133	0,81	0,172	1,888	0,613
		n	179	179	173	179	186
Röntgen – radiologische Zeichen							
Cam – Pincer – Mixed Typ	Pincer/Cam	Odds-Ratio	0,144	0,309	0,169	0,226	1,867
	Mixed/Cam	Odds-Ratio	1,124	0,962	0,71	1,375	1,278
		p-Wert	<0,001	0,058	0,003	0,008	0,417
		n	179	179	173	179	186
Pistol-Grip Sign		Odds-Ratio	4,51	3,701	3,311	3,517	1,292
		p-Wert	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,35
		n	171	171	165	171	178
Horizontal Growth Plate Sign		Odds-Ratio	3,789	3,738	3,051	2,935	1,406
		p-Wert	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,214
		n	166	166	160	166	173
Qualitative Cam-Beschreibung a.-p.	Cam Type 1/normal*	Odds-Ratio	8,687	8,298	7,287	4,522	1,986
	Cam Type 2/normal*	Odds-Ratio	3,84	3,374	2,923	3,458	0,713
		p-Wert	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007
		n	171	171	165	171	178

Variablen			Beck	Outerbridge	Größe	Delamination	Labraler Schaden
Schenkelhalskonfig.	Coxa vara/normal	Odds-Ratio	0,969	0,901	0,677	0,895	0,903
	Coxa valga/normal	Odds-Ratio	0,902	0,468	0,97	1,455	0,344
		p-Wert	0,988	0,667	0,397	0,883	0,383
		n	170	170	164	170	177
Alpha-Winkel a.-p.	° höher/niedrig	Odds-Ratio	1,05	1,054	1,044	1,03	1,025
		p-Wert	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001
		N	171	171	165	171	178
½ RHR	höher/niedrig	Odds-Ratio	152,922	210,732	114,892	52,359	24,157
		p-Wert	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	0,015
		N	168	168	162	168	175
AC-Winkel	° höher/niedrig	Odds-Ratio	1,052	1,021	1,016	1,05	0,955
		p-Wert	0,095	0,481	0,581	0,169	0,11
		N	169	169	163	169	176
LCE-Winkel	° höher/niedrig	Odds-Ratio	0,981	1,007	0,981	0,971	1,053
		p-Wert	0,428	0,801	0,439	0,284	0,021
		N	169	169	163	169	176
Qualitative Cam-Beschreibung lateral	Cam Typ 1/normal*	Odds-Ratio	5,961	8,9	3,302	2,242	2,695
	Cam Typ 2/normal*	Odds-Ratio	1,662	1,314	1,417	1,792	1,193
	Cam Typ 3/normal*	Odds-Ratio	1,656	1,511	1,778	1,889	0,869
		p-Wert	<0,001	<0,001	0,034	0,431	0,02
		N	160	160	155	160	167
Alpha-Winkel lateral	° höher/niedrig	Odds-Ratio	1,051	1,059	1,039	1,03	1,025
		p-Wert	<0,001	<0,001	0,002	0,042	0,027
		N	160	160	155	160	167
HN-Offset	mm	Odds-Ratio	0,862	0,834	0,875	0,919	0,907
		p-Wert	0,001	<0,001	0,005	0,12	0,025
		N	155	155	150	155	162
HN-Offset-Ratio		Odds-Ratio	0,007	0,004	0,018	0,043	0,068
		p-Wert	<0,001	<0,001	0,003	0,04	0,031
		N	155	155	150	155	162
Reaktive Kortikalisverdichtung		Odds-Ratio	1,497	0,861	0,972	2,341	0,833
		p-Wert	0,15	0,6	0,922	0,02	0,47
		N	171	171	165	171	178
Crossover Sign		Odds-Ratio	1,278	0,786	0,694	2,638	0,795
		p-Wert	0,418	0,448	0,243	0,021	0,435
		N	156	156	151	156	162
Ischial Spine Sign		Odds-Ratio	1,263	0,753	0,596	2,523	0,784
		p-Wert	0,45	0,381	0,098	0,029	0,417
		N	151	151	146	151	157
Posterior Wall Sign	Posteriore Überdeckung/normal	Odds-Ratio	0,426	1,293	0,848	0,022	3,377
	Posteriore Unterdeckung/normal	Odds-Ratio	1,623	1,283	0,877	3,646	0,818
		p-Wert	0,056	0,712	0,894	0,001	0,016
		N	168	168	162	168	175

Variablen			Beck	Outerbridge	Größe	Delamination	Labraler Schaden
Coxa profunda		Odds-Ratio	0,613	0,766	1,047	0,386	0,94
		p-Wert	0,082	0,35	0,872	0,008	0,82
		N	170	170	164	170	177
Linear Indentation Sign		Odds-Ratio	1,004	0,907	1,051	1,509	0,65
		p-Wert	0,991	0,805	0,904	0,443	0,272
		N	172	172	166	172	179
Herniation Pit		Odds-Ratio	1,012	1,058	0,614	1,296	0,683
		p-Wert	0,971	0,865	0,15	0,543	0,238
		N	173	173	167	173	180
Os acetabuli		Odds-Ratio	0,836	0,706	0,698	0,671	1,998
		p-Wert	0,68	0,332	0,323	0,343	0,055
		N	172	172	166	172	179
Tönnis-Klassifikation	Tönnis 1/normal	Odds-Ratio	1,715	3,815	3,799	0,622	2,961
	Tönnis 2/normal	Odds-Ratio	23,069	44,971	12,17	3,2	12,556
		p-Wert	<0,001	<0,001	<0,001	0,051	<0,001
		N	172	172	166	172	179
MRT – radiologische Zeichen							
Alpha-Winkel MR koronar	° höher/niedrig	Odds-Ratio	1,07	1,067	1,057	1,055	1,027
		p-Wert	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009
		N	168	168	162	168	174
Alpha-Winkel MR axial	° höher/niedrig	Odds-Ratio	1,063	1,064	1,034	1,034	1,025
		p-Wert	<0,001	<0,001	0,021	0,053	0,079
		N	163	163	158	163	169
Alpha-Winkel MR radiäre Rekonstruktion	° höher/niedrig	Odds-Ratio	1,094	1,105	1,066	1,052	1,031
		p-Wert	0,001	<0,001	0,007	0,063	0,124
		N	62	62	61	62	65
Epiphysialer Torsionswinkel	° höher/niedrig	Odds-Ratio	1,045	0,998	1,046	1,082	0,971
		p-Wert	0,226	0,961	0,219	0,06	0,378
		N	83	83	79	83	87
Acetabuläre Tiefe	mm	Odds-Ratio	1,106	1,03	1,031	1,172	0,919
		p-Wert	0,085	0,608	0,589	0,024	0,106
		N	154	154	149	154	159

Tabelle 24: Univariate Regressionsanalyse; Variablen analysiert auf das Outcome Knorpelschaden (Beck-Score, Outerbridge-Score, Größe des Knorpelschadens, Delamination) sowie das Outcome Labrumschaden (Beck-Score). Darstellung mittels Odds-Ratio, p-Wert (ANOVA) und Anzahl n.

4.2.2 Multivariate Regressionsanalyse mit vorgegebenen Messparametern

Für die multivariate Analyse wurde wegen der Unübersichtlichkeit aufgrund der großen Anzahl an verschiedenen aber trotzdem ähnlichen bzw. teilweise voneinander abhängigen Messvariablen beschlossen, diese zu beschränken. Dabei wurde der Fokus auf einfache, kostengünstige und für den Klinikalltag relevante, sich nicht überschneidende Diagnoseparameter, die möglichst ubiquitär verfügbar sind, gelegt. Außerdem wurden Parameter, die bereits in der univariaten Analyse keine statistische Signifikanz aufwiesen, nicht in der näheren Auswahl berücksichtigt. Aus statistischer Sicht ist ebenfalls zu betonen, dass bei einer rein datengesteuerten Wahl von Modellen die Möglichkeit besteht verzerrte Effektschätzer, verzerrte Schätzer für die Varianzen sowie verzerrte p-Werte zu erhalten und deshalb eine vorausgehende Erstellung eines multivariaten Modelles vorzuziehen ist (Quelle: Dr. Alexander Hapfelmeier, Institut. für medizinische Statistik und Epidemiologie TU München),

Folgende Variablen wurden für das Modell ausgewählt: das Patientengeschlecht, das Alter des Patienten, die Innenrotationsfähigkeit der Hüfte in Rückenlage, die qualitative Beurteilung der Asphärität in der Beckenübersichtsaufnahme a.-p., der Alpha-Winkel bei einer lateralen Schenkelhalsaufnahme sowie als Positivkontrolle die Gelenksarthroseklassifikation nach Tönnis. Die multivariate Analyse wurde auf das Outcome Knorpelschaden mittels *Beck-Score*, *Outerbridge-Score* und *Größe des Knorpelschadens*, sowie auf das Merkmal *Delamination/Wave Sign* und das Outcome Labrumschaden mittels *Beck-Score* durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse der Analyse mit Odds-Ratios analog zur univariaten Analyse und p-Wert sind in den Tabellen Tabelle 25 bis Tabelle 29 aufgelistet.

4.2.2.1 Multivariate Regressionsanalyse Knorpelschaden am Acetabulum

Wenn die Ergebnisse für das Outcome Knorpelschaden nur anhand des Beck-Scores betrachtet werden, wie in der Tabelle 25 dargestellt, zeigt sich eine statistisch signifikante Korrelation nur bei zwei der sechs Messvariablen. Diese findet sich bei der qualitativen Cam-Beschreibung in der a.-p. Beckenübersichtsaufnahme und bei der Positivkontrolle der Tönnis-Klassifikation. Wenn der Knorpelschaden nach der Outerbridge Klassifikation eingeteilt wird, so zeigt sich zusätzlich auch das Alter des Patienten als ein statistisch signifikanter „Risikofaktor“ für einen stärkeren Knorpelschaden. (Siehe Tabelle 26) Auch bei dem Outcome

Größeneinteilung des Knorpelschadens (Tabelle 27) zeigen nur die Cam-Beschreibung und die Tönnis-Klassifikation eine statistische Signifikanz. Wenn nur auf das FAI-spezifische Knorpelschadensbild einer *Delamination* bzw. eines *Wave Sign* analysiert wird, fällt der Tönnis Score nicht signifikant aus. (Siehe Tabelle 28) Das weist darauf hin, dass diese Art von Schaden, also eine Delamination des Gelenkknorpels, nicht abhängig vom Fortschreiten des Gelenkschadens ist, sondern spezifisch durch den Pathomechanismus eines Cam-Impingements (qualitative Beschreibung) gesetzt wird.

Insgesamt scheinen laut statistischer Signifikanzberechnung im Grunde nur das Patientenalter und das Vorhandensein einer Cam-Deformität und deren Form (qualitative Beschreibung) sowie die bereits im Röntgenbild zu erkennende Gelenksabnutzung positive „Risiko“-Parameter für einen fortgeschrittenen Knorpelschaden zu sein. Werden nun aber die Signifikanzberechnungen außen vorgelassen und lediglich die Odds-Ratios der einzelnen Messvariablen betrachtet, ist zu erkennen, dass das Geschlecht und der Alpha-Winkel in der lateralen Schenkelhalsaufnahme mit ORs über 1,00 mit Ausnahme bei der Größeneinteilung durchaus einen Trend bezüglich einer höhergradigen Knorpelschädigung aufweisen, und dass bei einer hohen Innenrotationsfähigkeit mit ORs unter 1,00 ein höhergradiger Knorpelschaden mit geringerem Risiko zu erwarten ist.

Beck-Score Acetabulum			
Variablen		Odds-Ratio	p-Wert
Geschlecht	Männer/Frauen	2,004	0,077
Alter	Jahre	1,022	0,283
Innenrotation (90° Rückenlage)	°höher/niedrig	0,988	0,410
Qualitative Cam Beschreibung a.-p.	Cam Typ 1 /normal*	4,688	0,002
	Cam Typ 2 /normal*	3,199	
Alpha-Winkel lateral	° höher/niedrig	1,016	0,298
Tönnis Klassifikation	Tönnis 1/normal	1,007	<0,001
	Tönnis 2/normal	12,445	

Tabelle 25: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Beck-Score; Odds-Ratios und p-Werte

Outerbridge-Score Acetabulum			
Variable (n)		Odds-Ratio	p-Wert
Geschlecht	Männer/Frauen	1,609	0,239
Alter	Jahre	1,075	0,0007
Innenrotation (90° Rückenlage)	° höher/niedrig	0,971	0,067
Qualitative Cam Beschreibung a.-p.	Cam Typ 1 /normal*	3,540	0,008
	Cam Typ 2 /normal*	3,826	
Alpha-Winkel lateral	° höher/niedrig	1,033	0,053
Tönnis Klassifikation	Tönnis 1/normal	1,196	<0,001
	Tönnis 2/normal	11,264	

Tabelle 26: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Outerbridge-Score; Odds-Ratios und p-Werte

Größe des acetabulären Knorpelschadens			
Variable (n)		Odds-Ratio	p-Wert
Geschlecht	Männer/Frauen	0,556	0,145
Alter	Jahre	0,957	0,036
Innenrotation (90° Rückenlage)	° höher/niedrig	0,977	0,136
Qualitative Cam Beschreibung a.-p.	Cam Typ 1 /normal*	5,297	0,001
	Cam Typ 2 /normal*	4,467	
Alpha-Winkel lateral	° höher/niedrig	0,996	0,775
Tönnis Klassifikation	Tönnis 1/normal	6,185	<0,001
	Tönnis 2/normal	20,06	

Tabelle 27: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Schadensgröße; Odds-Ratios und p-Werte

Delamination/Wave Sign Acetabulum			
Variable (n)		Odds-Ratio	p-Wert
Geschlecht	Männer/Frauen	2,1	0,104
Alter	Jahre	0,993	0,786
Innenrotation (90° Rückenlage)	° höher/niedrig	0,995	0,797
Qualitative Cam Beschreibung a.-p.	Cam Typ 1 /normal*	4,28	0,038
	Cam Typ 2 /normal*	2,447	
Alpha-Winkel lateral	° höher/niedrig	0,994	0,76
Tönnis Klassifikation	Tönnis 1/normal	0,475	0,101
	Tönnis 2/normal	2,629	

Tabelle 28: Multivariate Analyse Outcome Knorpelschaden Delamination; Odds-Ratios und p-Werte

4.2.2.2 Multivariate Regressionsanalyse Labrumschaden

Die multivariate Analyse hinsichtlich des Outcomes Labrumschaden ergab mit dem Patientenalter und der Tönnis-Klassifikation zwei statistisch signifikante Variablen.

Beck-Score Labraler Schaden			
Variable (n)		Odds-Ratio	p-Wert
Geschlecht	Männer/Frauen	0,987	0,974
Alter	Jahre	1,043	0,024
Innenrotation (90° Rückenlage)	° höher/niedrig	0,985	0,280
Qualitative Cam Beschreibung a.-p.	Cam Typ 1 /normal*	1,111	0,927
	Cam Typ 2 /normal*	0,945	
Alpha-Winkel lateral	° höher/niedrig	1,011	0,477
Tönnis Klassifikation	Tönnis 1/normal	1,684	0,026
	Tönnis 2/normal	4,320	

Tabelle 29: Multivariate Analyse Labrumschaden Beck-Score; Odds-Ratios und p-Werte

5. Diskussion

In dieser Arbeit wurden in einer Patientenkohorte von 186 operierten Hüften über zehn anamnestische Angaben und Messergebnisse der körperlichen Untersuchung sowie 27 verschiedene radiologische Messmethoden auf eine Assoziation mit einem höhergradigen Knorpel- und Labrumschaden hin überprüft. Es konnte gezeigt werden, dass vor allem die Ausprägung eines Cam-Impingements und die damit assoziierten Messparameter signifikant mit einem höheren intraartikulären Knorpelschaden korrelieren. Diese Beobachtungen zeigen eine Übereinstimmung mit bekannten Publikationen und dem einheitlich angenommenen Schadensmodell bzw. der Hypothese über die Pathogenese des FAI (Ganz et al. 2003, Beck et al. 2005, Ganz et al. 2008).

Die Verteilung von Cam- (46%), Pincer- (8%) und Mixed-FAI (46%) in der vorliegenden Patientenpopulation deckt sich außerdem mit einer epidemiologischen Studie von Clohisy et al. aus dem Jahr 2013: Von 1076 Patienten litten 47,6% an Cam-FAI, 44,5% an einer Kombination aus Cam- und Pincer-FAI und nur 7,9% wiesen ein reines Pincer-Impingement auf (Clohisy et al. 2013).

Dabei ist zu beachten, dass in dieser Arbeit Cam-Hüften ohne weitere Hinweise auf ein Pincer-Impingement trotz eines zusätzlichen Befundes einer Coxa profunda als reine Cam-Hüften und nicht als Mixed-Typ Hüfte deklariert wurden, obwohl die meisten bisherigen Prävalenzstudien eine Hüfte vom reinen Cam-FAI zum Mixed-Typ umschrieben, wenn diese Hüfte auch in Abwesenheit anderer pincer-definierenden Messvariablen (z.B.: Cross-Over Sign) eine Coxa profunda aufwies (Tannast et al. 2007). Nach neuesten Erkenntnissen ist jedoch der alleinige radiologische Befund einer Coxa profunda nicht für die Diagnose Pincer-Impingement geeignet (Nepple et al. 2013). Deshalb wurde eine Coxa profunda in dieser Arbeit nicht als Zeichen für ein Pincer-Impingement gewertet. Zumal außerdem in der Fachwelt Uneinigkeit darüber herrscht, ob Cam- und Pincer-FAI nicht ohnehin immer als separate Varianten des FAI zu sehen sind und es einen Misch-Typ gar nicht gibt (Cobb et al. 2010, Laborie et al. 2011).

5.1 Vergleich der Uni- und Multivariaten Analyse mit Publikationsdaten

Es fanden sich lediglich zwei publizierte Studien, in denen radiologische Messparameter auf einen vorhandenen Knorpelschaden, ähnlich wie in dieser Arbeit, korreliert wurden.

5.1.1 Johnston et al. 2008

Die erste dieser Arbeiten wurde 2008 von T. Johnston rund um die Arbeitsgruppe von Marc Philippon mit dem Titel „*Relationship between Offset Angle Alpha and Hip Chondral Injury in Femoroacetabular Impingement*“ publiziert (Johnston et al. 2008). Bei 82 Patienten wurden in der lateralen Röntgenaufnahme des Schenkelhalses der Alpha-Winkel vermessen und mit dem prospektiv festgehaltenen Knorpelschaden mittels Outerbridge Klassifikation korreliert. Das Durchschnittsalter dieser Studienkohorte war mit 25 Jahren (Range 12–55) bedeutend niedriger als das Durchschnittsalter der Patientenkohorte aus dieser Arbeit mit 33,5 Jahren (Range 17–63).

Der durchschnittliche Alpha-Winkel in der Studie betrug $53,9^\circ$ (Range 29° – 80°), wobei Männer einen höheren Alpha-Winkel als Frauen aufwiesen (57° vs. 48° , $p=0,001$) (Johnston et al. 2008).

Hingegen zeigten die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Patienten mit einem Durchschnittswinkel von ca. $60,6^\circ$ eine stärkere Ausprägung des Cam-Impingements als die Patienten der Johnston Studie. Die Geschlechter unterscheiden sich allerdings in der Ausprägung des Höckers genauso signifikant (Männer vs. Frauen: $62,6^\circ$ vs. $55,4^\circ$ $p < 0,001$) wie in der Studie von Johnston.

In Johnstons Studie fanden sich eine hohe Anzahl an Patienten ohne Knorpelschaden (16/82), vergleichsweise hatte in der vorliegenden Arbeit nur eine von 186 Hüften keinen Knorpelschaden am Acetabulum. Dies und das niedrigere Durchschnittsalter würden dafürsprechen, dass die Patienten von Johnstons Studie früher diagnostiziert und dadurch eher behandelt wurden als die Patienten aus der vorliegenden Arbeit.

Johnston et al. konnten in Ihrer Studie zeigen, dass größere Cam-Läsionen, gemessen an einem höheren Alpha-Winkel, mit größeren und schwereren Knorpelschäden ($p=0,047$), sowie

mit einer Delamination des Knorpels und Labrumsschäden assoziiert sind (Johnston et al. 2008).

Dies entspricht auch dem Ergebnis, zu dem diese Arbeit gekommen ist; Hauptfaktoren, die eine Assoziation mit einem Knorpelschaden am Acetabulum zeigten, waren hauptsächlich Messparameter eines Cam-Impingements.

Eine Schwäche der vorliegenden Arbeit im Vergleich zu Johnstons Studie ist die rein retrospektive Auswertung des intraoperativ festgestellten Knorpelschadens. Stärken dieser Arbeit liegen jedoch in der weit größeren Patientenkohorte (186 vs. 82 Hüften) und in der größeren Anzahl an verschiedenen in Betracht genommenen Messparametern. Johnston et al. analysierten nur den Alpha-Winkel in der lateralen Schenkelhalsaufnahme und verzichteten auf eine Analyse von Pincer Hüften und dem Einfluss von Pincer-Parametern auf den Hüftknorpel. Des weiteren benutzten Johnston et al. als Beurteilungsgrad nur die Klassifikation nach Outerbridge, welche die speziellen FAI-assozierten Schädigungsmuster nicht in Betracht zieht (Outerbridge et al. 1975, Beck et al. 2005). Die Klassifikation nach Beck stellt eine auf die Hüfte angepasste, spezifische Schadensdeskription dar, und sollte deswegen der Outerbridge Klassifikation bevorzugt werden (Beck et al. 2005). In Anbetracht der Vorteile stellt diese Arbeit also eine umfassendere und dementsprechend genauere Analyse mit Berücksichtigung von Pincer-spezifischen Hüftkonfigurationen dar.

5.1.2 Anderson et al. 2009

Die zweite Risikostudie wurde von Lucas Anderson et al. 2009 mit dem Titel „*Acetabular Cartilage Delamination in Femoroacetabular Impingement: Risk Factors and Magnetic Resonance Imaging Diagnosis*“ veröffentlicht (Anderson et al. 2009). In dieser Studie vergleichen Anderson et al. 64 Hüften, davon 28 (44%) mit einer Delamination des acetabulären Knorpels hinsichtlich einer Korrelation des Geschlechts, des Alters, der Hüftseite, des Arthrosegrades (nach Kellgren-Lawrence), des LCE-Winkels, des Crossover Signs, Pistol-Grip Signs, des Acetabulären Index, des Posterior Wall Signs, Impingementzysten (Herniation Pits), einer Anwesenheit eines Höckers (engl. bump) mit einer Knorpeldelamination. Eine Knorpeldelamination war stark mit dem männlichen Geschlecht sowie typischen Zeichen eines Cam-Impingements assoziiert. In der multivariaten Analyse der Studie zeigten sich für den Prädiktor *männliches Geschlecht* eine Odds-Ratio von 3,79

($p=0,045$), für einen *femoralen Höcker* eine OR von 11,87 ($p=0,011$), für das *Patientenalter* eine OR von 1,08 ($p=0,041$) und für einen *LCE* $>40^\circ$ eine protektive OR von 0,16 ($p=0,042$) (Anderson et al. 2009).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung führte zu ähnlichen Ergebnissen (siehe Tabelle 24 auf Seite 80-82). In der univariaten Korrelationsanalyse konnte für den Faktor *männliches Geschlecht* in Bezug auf eine Delamination eine Odds-Ratio von 4,74 ($p<0,001$) gefunden werden, diese OR verringert sich in der multivariaten Analyse auf den Wert 2,100, zeigt sich allerdings mit einem p-Wert von 0,104 statistisch nicht signifikant. Auch konnte für das Patientenalter weder in der univariaten noch in der multivariaten Analyse eine statistische Signifikanz errechnet werden. Das ein vorhandenes Cam-Impingement definitiv mit einer Delamination signifikant korreliert, konnte anhand vieler Cam-definierenden Messparametern (z.B.: Alpha-Winkel) sowohl univariat als auch multivariat (z.B.: qualitative Beschreibung des Cam) nachgewiesen werden. In diesem Punkt stimmt also die Studie von Anderson vollständig mit den Ergebnissen dieser Arbeit überein: ein femoraler Höcker korreliert mit einem Knorpelschaden am Acetabulum.

Der protektive Effekt eines LCE-Winkels über 40° konnte in der vorliegenden Arbeit nicht beobachtet werden, wahrscheinlich weil eine andere Methodik verwendet wurde: der Winkel wurde in dieser Arbeit als kontinuierlicher Wert analysiert und wurde nicht wie in Andersons Studie kategorial eingeteilt. Allerdings lässt sich feststellen (Tabelle 24), dass die univariate Analyse des LCE-Winkels mit einer OR von 0,971 (pro 1 Gradänderung) auf eine protektive Tendenz hinweist, die allerdings mit einem p-Wert von 0,284 statistisch nicht signifikant ist.

Anderson et al. folgerten, dass vor allem das Geschlecht und das Vorhandensein eines Cam-Impingements als Risikofaktoren für eine Delamination zu sehen sind und sich ein großer LCE-Winkel eventuell protektiv auswirkt (Anderson et al. 2009). Diese Tendenz kann durch die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt werden. Cam-Messparameter stellen größtenteils signifikante „Risikowerte“ bezüglich einer Delamination des Hüftknorpels dar. Messparameter, die ein Pincer-FAI definieren, zeigen, wenn auch nicht statistisch signifikant, größtenteils ORs unter 1,00 und damit ein geringeres Risiko hinsichtlich einer Knorpeldelamination. Wenn die drei FAI-Varianten direkt miteinander verglichen werden (univariat), zeigt ein reines Pincer zu reinen Cam-Impingement nur eine Odds-Ratio von 0,226

($p=0,008$). Ein reines Pincer-Impingement wirkt sich also günstiger auf das Outcome Delamination aus.

Die Stärken dieser Arbeit im Vergleich zu Andersons Studie liegen in der größeren Patientenkohorte (186 vs. 64 Hüften), der Analyse von mehr Messparametern, sowie der Betrachtung nicht nur eines Schadensaspektes (Delamination), sondern des Gesamtbildes des Knorpelschadens (Beck Klassifikation, Größenausdehnung). Außerdem wurde nicht nur die Assoziation der Messwerte mit einem Knorpelschaden, sondern auch mit einem Labrumschaden analysiert.

Insgesamt ist festzuhalten, dass vor allem das männliche Geschlecht, eine verringerte Innenrotationsfähigkeit und die Ausprägung eines Cam-Impingements eine starke Assoziation mit einer Knorpelschädigung aufweisen und damit Risikofaktoren für die Entwicklung einer Arthrose darstellen. Dieses Ergebnis zeigt sich auch konform mit dem aktuellen Kenntnisstand der Wissenschaft und bekräftigt die Hypothese von Ganz et al., dass das eine abnorme Morphologie des proximalen Femurs Labrumschäden und Knorpelschäden am Acetabulum auslösen kann.

5.2 Reliabilität, Inter- und Intra-Rater Correlation der erhobenen Daten

Alle messbaren Parameter und die dazugehörigen Messmethoden, ob diese nun körperliche Untersuchungsmethoden oder radiographische Messungen darstellen, müssen nicht nur einheitlich und standardisiert, sondern vor allem reliabel und reproduzierbar sein. In der Medizin werden Messmethoden mittels der Interrater- und Intrarater-Reliabilität hinsichtlich ihrer objektiven Unabhängigkeit geprüft. Durch die Reliabilität kann angegeben werden, wieweit die Ergebnisse der Messmethode vom Beobachter unabhängig sind (Mast et al. 2011).

Die Interrater-Reliabilität beschreibt hierbei die Abweichungen zwischen den Messungen zweier oder mehrerer Beobachter mit derselben Messmethode, wohingegen die Intrarater-Reliabilität ein Maß für die Übereinstimmung der Ergebnisse bei wiederholten Tests zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit demselben Beobachter darstellt. Zur Berechnung dieser Reliabilitäten benutzt man bei intervallskalierten Variablen die sogenannten *Intraclass correlations coefficients* (ICCs), bei kategoriellen Variablen berechnet man den Kappa (κ) Wert (Landis et al. 1977, Shrout et al. 1979).

ICCs und Kappa Werte von 1,0 weisen auf ein perfektes Agreement (dt.: Übereinstimmung) zwischen zwei Beobachtern (Interrater-Reliabilität) beziehungsweise zwischen zwei Beobachtungen (Intrarater-Reliabilität) hin. Je weiter diese Werte gegen 0,0 gehen, desto schlechter wird das Agreement. Man kann sich bei der Einschätzung der Qualität des Agreements mittels Klassifikationsskalen behelfen: Kappa-Werte von 0,81–1,00 sind exzellent, 0,61–0,89 bedeutend, 0,41–0,6 moderat. Werte zwischen 0,21–0,40 zeigen ein mäßiges Agreement, 0–0,20 ein geringes, Werte unter 0,00 kein Agreement (Landis et al. 1977, Carlisle et al. 2011). Bei ICCs sind Werte von über 0,75 als sehr gute Übereinstimmung anzusehen (Mast et al. 2011).

In der Literatur gibt es viele Publikationen, die sich bereits mit dem Thema Reliabilität von Röntgenmessparametern beschäftigt haben und für die Intrarater-Reliabilität gute bis sehr gute Ergebnisse zeigen konnten. Eine Zusammenfassung von publizierten ICCs und Kappa Werten für Intra- und Interrater-Reliabilitäten ist in den Tabellen Tabelle 30 und Tabelle 31 dargestellt.

Nur eine einzige Studie von Clohisy et al. aus dem Jahr 2009 argumentiert, dass die Radiologie der Hüfte eine sehr limitierte Reliabilität aufweist. Die Mehrzahl an Studien für die meisten Messmethoden zeigen hingegen gute Reliabilitäten (Nelitz et al. 1999, Mast et al. 2004, Gosvig et al. 2008, Kalberer et al. 2008, Tannast et al. 2008b, Clohisy et al. 2009a, Carlisle et al. 2011, Mast et al. 2011). Bei der Analyse der Studien zeigt sich, dass die Interrater-Reliabilität verschiedener Variablen meist schlechtere Werte und damit ein schlechteres Agreement aufweist, als die zur Variable gemessene Intrarater-Reliabilität. Die gleiche Messung beim selben Patienten von zwei Beobachtern durchgeführt, zeigt also größere Abweichungen im Ergebnis, als wenn die Messung zweimal vom selben Beobachter durchgeführt wird. Dies kann also dazu führen, dass zum Beispiel bei ein und demselben Patienten von zwei Untersuchern zwei verschiedene Alpha-Winkel gemessen werden können und dadurch eventuell eine falsche Diagnose gestellt werden kann. Vor allem kategoriale, auf qualitativen Einschätzungen basierende Messmethoden (wie die in der Arbeit verwendete Tönnis Klassifikation) weisen schlechtere Interrater-Agreements als protokollierte Messmethoden auf.

Dieses Beispiel zeigt, dass eine korrekte radiographische Diagnose sehr von der Erfahrung des Untersuchers abhängig sein kann. Mast et. al argumentieren in ihrer Publikation jedoch, dass die korrekte technische Ausführung, wenn sie anhand eines detaillierten Messprotokolles ausgeführt wird, unabhängig von der Erfahrung des Untersuchers ist, da sie in Ihrer Studie keinen Messbias hinsichtlich des Erfahrungswertes des Untersuchers ermitteln konnten (Mast et al. 2011).

Bei dieser Arbeit wurde auf eine separate Analyse der Reliabilität der radiographischen Messungen verzichtet, da anhand der Literatur die Intrarater-Reliabilität der angewandten Messmethoden als sehr gut beschrieben wird. (Siehe Tabelle 31)

Literaturrecherche Interrater-Reliabilität							
Variablen	(Clohisy et al. 2009a)	(Carlisle et al. 2011)	(Tannast et al. 2008b)	(Kalberer et al. 2008)	(Gosvig et al. 2008)	(Nelitz et al. 1999)	(Mast et al. 2011)
AC-Winkel	$\kappa = 0,64$	ICC= 0,42	ICC= 0,61			ICC=0,82	ICC= 0,45
LCE-Winkel		ICC= 0,64	ICC= 0,92			ICC= 0,85	ICC= 0,73
ISS				ICC= 0,91			$\kappa = 1,00$
Crossover Sign			K=0,60	ICC= 0,65			$\kappa = 0,97$
Fem. Höcker (Cam)	$\kappa = 0,22$						$\kappa = 0,97$
Alpha-Winkel		ICC= 0,21			ICC= 0,83		ICC= 0,83
HN-Offset		ICC= 0,55					
Tönnis OA	$\kappa = 0,59$	K=0,17					$\kappa = 0,97$
Herniation Pit							$\kappa = 0,97$
LIS							$\kappa = 0,92$

Tabelle 30: Interrater Reliabilität Literaturrecherche; ICC = Intraclass correlation coefficient, κ = kappa, modifiziert aus (Mast et al. 2011).

Literaturrecherche Intrarater-Reliabilität							
Variablen	(Clohisy et al. 2009a)	(Carlisle et al. 2011)	(Tannast et al. 2008b)	(Kalberer et al. 2008)	(Gosvig et al. 2008)	(Nelitz et al. 1999)	(Mast et al. 2011)
AC-Winkel	$\kappa = 0,73$	ICC= 0,88	ICC= 0,74			ICC= 0,86	ICC= 0,88–0,95
LCE-Winkel		ICC= 0,88	ICC= 0,97			ICC= 0,88	ICC= 0,86–0,97
ISS				ICC= 0,92			$\kappa = 1,00$
Crossover Sign			$\kappa = 0,73$	ICC= 0,83			$\kappa = 0,95–1,00$
Fem. Höcker	$\kappa = 0,30$						$\kappa = 0,95–1,00$
Alpha-Winkel		ICC= 0,76			ICC= 0,90		ICC= 0,96–0,98
HN-Offset		ICC= 0,78					
Tönnis OA	$\kappa = 0,60$	$\kappa = 0,57$					$\kappa = 0,95–1,00$
Herniation Pit							$\kappa = 0,87–1,00$
LIS							$\kappa = 0,95–1,00$

Tabelle 31: Intrarater Reliabilität Literaturrecherche; ICC = Intraclass correlation coefficient, κ = kappa, modifiziert aus (Mast et al. 2011).

5.3 Limitationen der Arbeit und offene Fragestellungen

Die bedeutendste Limitation dieser Arbeit ist die retrospektive Datenauswertung. Auch wenn der Patientenstammsatz mit 186 operierten Hüften groß ist, ist die Datenbank nicht komplett vollständig. Fehlende Angaben in den Krankenakten, abhanden gekommene, nicht archivierte Röntgenbilder oder teilweise unvollständige Beschreibung des Knorpels (Operationsbericht) erschweren die Auswertung des Datensatzes. Mit einem prospektiven Studiendesign, bei dem jeden Arzt und Mitarbeiter ein Messprotokoll zur Verfügung gestellt wird und bei welchem ein Augenmerk auf eine einheitliche Dokumentation von Messvariablen gelegt wird, könnten Lücken im Datensatz vermieden werden.

Obwohl in dieser Arbeit sehr viele radiologisch messbare Variablen und damit die Morphologie des Hüftgelenks hinsichtlich ihres Einflusses auf den acetabulären Knorpelschaden hin untersucht wurden, ist die Bewegungskomponente der Erkrankung FAI kaum berücksichtigt worden. Zwar wurde in den Anamnesebögen die Beweglichkeit der Patienten in Form der Rotationsfähigkeit der Hüfte notiert, allerdings ergaben die Akten keinen einheitlichen Aufschluss über die (sportliche) Aktivität der Patienten und die berufliche Belastung der Hüfte. Da beim FAI nicht nur eine statische abnorme Morphologie, sondern das Zusammenspiel dieser mit der Bewegung des Hüftgelenkes eine große Rolle spielt, ist es nicht auszuschließen, dass ein wichtiger „Risikofaktor“ bzw. Aspekt hinsichtlich des Knorpelschadens außer Acht gelassen wurde und damit die statistische Analyse an Aussagekraft verliert. Auch dieses Problem könnte mittels einer prospektiven Studienwahl umgangen werden, indem die körperliche Belastung der Patienten mittels Aktivitätsskalen beurteilt wird.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen vor allem für Cam-spezifische Messwerte eine Korrelation mit dem Knorpelschaden und unterstützen damit die Erkrankungshypothese von Ganz et al., dass das Cam-Impingement ein definitiver Risikofaktor für die Entwicklung einer Koxarthrose ist (Nicholls et al. 2011, Agricola et al. 2013a, Agricola et al. 2013b).

Die postoperativen Kurzzeitergebnisse bei Behandlung eines FAI zeigen gute Ergebnisse hinsichtlich der Patientenzufriedenheit und eine Unterbrechung des Fortschreitens der Koxarthrose (Ganz et al. 2008). Noch immer ist es so, dass Patienten erst nach den ersten Verletzungen am Labrum und Knorpel und den damit verbundenen Hüftschmerzen in die

Behandlung kommen. Dabei ist allerdings bereits der erste Schritt für die Entwicklung einer Koxarthrose gesetzt worden. Idealerweise sollten Risikopatienten, noch bevor sie einen großen Schaden im Hüftgelenk erleiden, operiert werden um die Entwicklung einer Koxarthrose zu verhindern (Ganz et al. 2003, Lavigne et al. 2004, Leunig et al. 2006, Ganz et al. 2008).

Vor allem das Cam-Impingement stellt einen großen Risikofaktor dar und sollte möglichst vor einem höhergradigen Hüftschaden operiert werden (Nicholls et al. 2011, Agricola et al. 2013a). Trotz der starken Assoziation zwischen Cam-Impingement und der Entwicklung einer Koxarthrose, entwickeln nicht alle Individuen mit Cam-Morphologien eine Arthrose. Im Gegenteil, der positiv prädiktive Wert eines Cam-Höckers beträgt nur 6%–25%, der negativ prädiktive Wert hingegen 98%–99% (Nicholls et al. 2011, Agricola et al. 2013a, Agricola et al. 2013b). Dies zeigt auch, dass in der Abwesenheit von wiederholenden dynamischen Impingement-Bewegungen, wohl eine Cam-Morphologie alleine keinen Schaden und damit keine Arthrose verursacht (Agricola et al. 2013b). In Anbetracht einer Prävalenz für Cam-Morphologien von 15%–25% der männlichen und 0–15% der weiblichen Population, muss der zukünftige Schwerpunkt der Forschung in der Identifikation der Risikopatienten liegen (Gosvig et al. 2008, Hack et al. 2010). Diese Dissertation konnte zeigen, dass vor allem das Cam-Impingement mit stärkerem Knorpelschaden assoziiert ist, und zeigt damit eine Übereinstimmung mit der Hypothese, dass Cam-Impingement einen starken Risikofaktor für die Entwicklung einer Arthrose darstellt.

Ein großes Ziel in der Zukunft muss es sein eine Methode oder ein Protokoll zu finden, mit der/dem Risikopatienten aus jenem Teil der Normalbevölkerung, der FAI-spezifische Morphologien aufweist, herausgefiltert werden können (Ganz et al. 2008, Reichenbach et al. 2010). Deswegen sollte der Schwerpunkt der Forschung auf die Pathophysiologie und die Entstehung vom FAI gelegt werden (Agricola et al. 2013b). Diesbezüglich liefert diese Dissertation einen wichtigen Beitrag; die Ergebnisse der Arbeit können dabei helfen Risikopatienten mit einer starken Assoziation auf eine schwere Knorpelschädigung am Acetabulum zu identifizieren.

6. Zusammenfassung

Das Femoroacetabuläre Impingement stellt einen Hauptrisikofaktor für die Entwicklung der Koxarthrose dar. Die Prävalenz von FAI-assoziierten Morphologien in der Allgemeinbevölkerung liegt zwischen 10% und 25%. Vor allem junge, sportliche Patienten erleiden durch FAI-Morphologien Schmerzen und Schäden im Gelenk. Nachdem nicht-invasive Untersuchungsmethoden wie Magnetresonanztomographie und Röntgendiagnostik nur eine limitierte Genauigkeit bezüglich der Diagnose des acetabulären Knorpelschadens aufweisen, ist es umso wichtiger jene Messparameter zu finden, mit denen Patienten mit erhöhtem Risiko auf Knorpelschaden und Arthrose identifiziert werden können.

Die Aufgabe dieser Dissertation war es die Assoziation zwischen verschiedenen klinischen und radiologischen Parametern und dem Schweregrad des acetabulären Knorpelschadens zu untersuchen. Hierfür wurden über 320 konsekutive Hüftarthroskopien eines einzelnen Operateurs retrospektiv analysiert. Einschlusskriterium war eine Behandlung auf FAI. Ausschlusskriterien umfassten unter anderem eine vorherige operative Behandlung, nicht FAI-assoziierte Erkrankungen (z.B.: Dysplasie), rheumatische Erkrankungen und posttraumatische Eingriffe.

Es wurden sowohl klinische Daten, wie zum Beispiel der Bewegungsumfang der Hüfte oder auch die Schmerzdauer, als auch Röntgen- und MRT-Messwerte, als Beispiel seien hier der Alpha-Winkel, LCE- und AC-Winkel genannt, untersucht. Als neue, qualitative Methodik wurde in dieser Arbeit das Cam-Impingement bei Röntgenaufnahmen in drei distinkte Varianten anhand der Lage der Asphärizität, beziehungsweise des Höckers, unterteilt: (1) Asphärizität am Femurkopf, (2) fehlende Taillierung des Schenkelhalses und (3) Höcker am Schenkelhals.

Der Schaden am Acetabulum wurde unter anderem mittels des Beck-Scores in (0) normalen Knorpel, (1) Knorpelerweichung und Fibrillation, (2) Verlust der Fixierung an den subchondralen Knochen, (3) Delamination und (4) Erosion bis auf den Knochen klassifiziert. Des weiteren wurde die Ausbreitung des geschädigten Knorpels vom chondrolabralen Übergang zum Acetabulumzentrum wie folgt festgehalten: (0) normaler Knorpel, (1) <5 mm, (2) 5–10 mm, (3) 10–15 mm, (4) 15–20 mm, (5) >20 mm.

Es konnten insgesamt 186 FAI-Hüften bei 168 Patienten identifiziert werden. Von diesen 168 Patienten waren 50 Frauen und 118 Männer mit einem Gesamtdurchschnittsalter von 33 ½ Jahren. Von den 186 operierten Hüften zeigten jeweils 85 Hüften (46%) ein reines Cam-Impingement beziehungsweise einen Mixed-Typ, nur 16 Hüften (8%) wiesen ein reines Pincer-Impingement auf.

Die univariate Regressionsanalyse zeigte folgende Risikofaktoren mit einer signifikanten Assoziation mit einem stärkeren als auch einem größeren Knorpelschaden ($p < 0,05$): höheres Alter zum OP-Zeitpunkt, männliches Geschlecht, reduzierte (Innen-) Rotationsfähigkeit der Hüfte, Cam-Impingement und dessen Messparameter (Alpha-Winkel, ½ RHR-Ratio, HN-Offset, PGS etc.). Auch die multivariate Regressionsanalyse zeigte eine signifikante Assoziation zwischen einer Cam-Deformität und dem Knorpelschaden. Dieses Ergebnis zeigt sich konform mit den aktuellen Kenntnissen der Wissenschaft und bekräftigt die Hypothese, dass eine abnorme Morphologie des proximalen Femurs, im Sinne einer Asphärität, Labrumschäden und Knorpelschäden am Acetabulum auslösen kann.

Obwohl die Behandlung eines FAI gute Ergebnisse hinsichtlich der Patientenzufriedenheit zeigt und das Fortschreiten der Koxarthrose verhindern kann, begeben sich Patienten immer noch erst nach den ersten Verletzungen am Labrum und Knorpel bedingt durch die damit verbundene Schmerzsymptomatik in ärztliche Behandlung. Idealerweise sollten aber Risikopatienten frühzeitig behandelt werden, am besten noch bevor sie einen großen Schaden im Hüftgelenk erleiden um die Entwicklung einer Koxarthrose zu verhindern.

Diesbezüglich stellen die Ergebnisse dieser Arbeit eine wichtige Information über die Risikofaktoren für hohen Knorpelschaden dar und können somit helfen Patienten mit erhöhtem Risiko einer Knorpelschädigung und Koxarthrose zu identifizieren.

7. Publikationen, Vorträge

Teile und Daten dieser Arbeit wurden wie folgt publiziert bzw. vorgestellt:

2013: Vortrag beim fünften *ISHA Annual Scientific Meeting* der *International Society for Hip Arthroscopy (ISHA)* in München, Deutschland

8. Danksagung

Zuerst möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. von Eisenhart-Rothe für die Möglichkeit bedanken, die vorliegende Dissertation an seiner Klinik durchführen zu können.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Gollwitzer für die Zurverfügungstellung des Themas und die Möglichkeit unter seiner Führung diese Dissertation zu verfassen. Ebenso möchte ich mich für seine Zeit, seine Geduld und Unterstützung beim Erstellen der Arbeit, seine Ideen zur Durchführung der Datensammlung, sowie für die vielen interessanten, meist spät am Abend stattgefundenen, Gespräche bedanken.

Desweiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. Hapfelmeier für seine Unterstützung und Durchführung der statistischen Aufbereitung meiner Daten recht herzlich bedanken. Auch bei Herrn Dipl. Ing. Steffelbauer will ich mich für seine Hilfe bei der Statistikerstellung bedanken.

Mein Dank gilt auch meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mich die ganze Zeit bedingungslos unterstützt haben. Nicht zuletzt möchte ich mich bei all meinen guten Freunden bedanken, die mich an schlechten Tagen wiederaufgebaut und mich immer angespornt haben, diese Dissertation zu verfassen.

9. Literaturverzeichnis

Agresti, A. (2002). *"Categorical Data Analysis"*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2nd Edition

Agricola, R., Heijboer, M.P., Bierma-Zeinstra, S.M., Verhaar, J.A., Weinans, H., Waarsing, J.H. (2013a). Cam impingement causes osteoarthritis of the hip: a nationwide prospective cohort study (CHECK). *Ann Rheum Dis*, 72, 918-923.

Agricola, R., Waarsing, J.H., Arden, N.K., Carr, A.J., Bierma-Zeinstra, S.M., Thomas, G.E., Weinans, H., Glyn-Jones, S. (2013b). Cam impingement of the hip: a risk factor for hip osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol*, 9, 630-634.

Anderson, L.A., Peters, C.L., Park, B.B., Stoddard, G.J., Erickson, J.A., Crim, J.R. (2009). Acetabular cartilage delamination in femoroacetabular impingement. Risk factors and magnetic resonance imaging diagnosis. *J Bone Joint Surg Am*, 91, 305-313.

Aprato, A., Masse, A., Faletti, C., Valente, A., Atzori, F., Stratta, M., Jayasekera, N. (2013). Magnetic resonance arthrography for femoroacetabular impingement surgery: is it reliable? *J Orthop Traumatol*, 14, 201-206.

Beaule, P.E., Zaragoza, E., Copelan, N. (2004). Magnetic resonance imaging with gadolinium arthrography to assess acetabular cartilage delamination. A report of four cases. *J Bone Joint Surg Am*, 86-A, 2294-2298.

Beaule, P.E., Zaragoza, E., Motamedi, K., Copelan, N., Dorey, F.J. (2005). Three-dimensional computed tomography of the hip in the assessment of femoroacetabular impingement. *J Orthop Res*, 23, 1286-1292.

Beaule, P.E., Zaragoza, E.J. (2003). Surgical images: musculoskeletal acetabular cartilage delamination demonstrated by magnetic resonance arthrography: inverted "Oreo" cookie sign. *Can J Surg*, 46, 463-464.

Beck, M., Kalhor, M., Leunig, M., Ganz, R. (2005). Hip morphology influences the pattern of damage to the acetabular cartilage: femoroacetabular impingement as a cause of early osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Br*, 87, 1012-1018.

Beck, M., Leunig, M., Parvizi, J., Boutier, V., Wyss, D., Ganz, R. (2004). Anterior femoroacetabular impingement: part II. Midterm results of surgical treatment. *Clin Orthop Relat Res*, 417, 67-73.

Bedi, A., Chen, N., Robertson, W., Kelly, B.T. (2008). The management of labral tears and femoroacetabular impingement of the hip in the young, active patient. *Arthroscopy*, 24, 1135-1145.

Byrd, J.W.T. (2001). Hip arthroscopy. The supine position. *Clin Sports Med*, 20, 703-731.

Byrd, J.W.T. (2005). Hip Arthroscopy, The Supine Approach: Technique and Anatomy of the Intraarticular and Peripheral Compartments. *Techniques in Orthopaedics: Hip Arthroscopy*, 20, 17-31.

Byrd, J.W.T. (2006a). Hip arthroscopy. *J Am Acad Orthop Surg*, 14, 433-444.

Byrd, J.W.T. (2006b). Hip arthroscopy: surgical indications. *Arthroscopy*, 22, 1260-1262.

Byrd, J.W.T., Jones, K.S. (2004). Microfracture for grade IV chondral lesions of the hip (SS-89). *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 20, e41.

Byrd, J.W.T., Jones, K.S. (2010). Prospective analysis of hip arthroscopy with 10-year followup. *Clin Orthop Relat Res*, 468, 741-746.

Carlisle, J.C., Zebala, L.P., Shia, D.S., Hunt, D., Morgan, P.M., Prather, H., Wright, R.W., Steger-May, K., Clohisy, J.C. (2011). Reliability of various observers in determining common radiographic parameters of adult hip structural anatomy. *Iowa Orthop J*, 31, 52-58.

Chan, Y.S., Lien, L.C., Hsu, H.L., Wan, Y.L., Lee, M.S., Hsu, K.Y., Shih, C.H. (2005). Evaluating hip labral tears using magnetic resonance arthrography: a prospective study comparing hip arthroscopy and magnetic resonance arthrography diagnosis. *Arthroscopy*, 21, 1250.

Chen, G.X., Zhang, Y., Wang, W.B., Wang, K.F., He, R., Gu, L.C., Zhang, E.Q., Dai, G., Duan, X.J., Guo, L., Yang, L. (2011). An alternative radiographic measure for cam-type FAI in patients with idiopathic hip pain. *Hip Int*, 21, 146-153.

Clohisy, J.C., Baca, G., Beaulé, P.E., Kim, Y.J., Larson, C.M., Millis, M.B., Podeszwa, D.A., Schoenecker, P.L., Sierra, R.J., Sink, E.L., Sucato, D.J., Trousdale, R.T., Zaltz, I., Group, A.S. (2013). Descriptive epidemiology of femoroacetabular impingement: a North American cohort of patients undergoing surgery. *Am J Sports Med*, 41, 1348-1356.

Clohisy, J.C., Beaulé, P.E., O'Malley, A., Safran, M.R., Schoenecker, P. (2008a). AOA symposium. Hip disease in the young adult: current concepts of etiology and surgical treatment. *J Bone Joint Surg Am*, 90, 2267-2281.

Clohisy, J.C., Carlisle, J.C., Beaulé, P.E., Kim, Y.J., Trousdale, R.T., Sierra, R.J., Leunig, M., Schoenecker, P.L., Millis, M.B. (2008b). A systematic approach to the plain radiographic evaluation of the young adult hip. *J Bone Joint Surg Am*, 90 Suppl 4, 47-66.

Clohisy, J.C., Carlisle, J.C., Trousdale, R., Kim, Y.J., Beaulé, P.E., Morgan, P., Steger-May, K., Schoenecker, P.L., Millis, M. (2009a). Radiographic evaluation of the hip has limited reliability. *Clin Orthop Relat Res*, 467, 666-675.

Clohisy, J.C., Knaus, E.R., Hunt, D.M., Leshner, J.M., Harris-Hayes, M., Prather, H. (2009b). Clinical presentation of patients with symptomatic anterior hip impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 467, 638-644.

Clohisy, J.C., Nunley, R.M., Otto, R.J., Schoenecker, P.L. (2007). The frog-leg lateral radiograph accurately visualized hip cam impingement abnormalities. *Clin Orthop Relat Res*, 462, 115-121.

Cobb, J., Logishetty, K., Davda, K., Iranpour, F. (2010). Cams and pincer impingement are distinct, not mixed: the acetabular pathomorphology of femoroacetabular impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 468, 2143-2151.

Eijer H., Leunig M., Mahomed M.N., R., G. (2001). Crosstable lateral radiograph for screening of anterior femoral head-neck offset in patients with femoro-acetabular impingement. *Hip Int* 37-41.

Espinosa, N., Rothenfluh, D.A., Beck, M., Ganz, R., Leunig, M. (2006). Treatment of femoroacetabular impingement: preliminary results of labral refixation. *J Bone Joint Surg Am*, 88, 925-935.

Ferguson, S.J., Bryant, J.T., Ganz, R., Ito, K. (2000a). The acetabular labrum seal: a poroelastic finite element model. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 15, 463-468.

Ferguson, S.J., Bryant, J.T., Ganz, R., Ito, K. (2000b). The influence of the acetabular labrum on hip joint cartilage consolidation: a poroelastic finite element model. *J Biomech*, 33, 953-960.

Ferguson, S.J., Bryant, J.T., Ganz, R., Ito, K. (2003). An in vitro investigation of the acetabular labral seal in hip joint mechanics. *J Biomech*, 36, 171-178.

Field, R.E., Rajakulendran, K., Strambi, F. (2011). Arthroscopic grafting of chondral defects and subchondral cysts of the acetabulum. *Hip Int*, 21, 479-486.

Fontana, A., Bistolfi, A., Crova, M., Rosso, F., Massazza, G. (2012). Arthroscopic treatment of hip chondral defects: autologous chondrocyte transplantation versus simple debridement--a pilot study. *Arthroscopy*, 28, 322-329.

Freedman, B.A., Potter, B.K., Dinauer, P.A., Giuliani, J.R., Kuklo, T.R., Murphy, K.P. (2006). Prognostic value of magnetic resonance arthrography for Czerny stage II and III acetabular labral tears. *Arthroscopy*, 22, 742-747.

Ganz, R., Gill, T.J., Gautier, E., Ganz, K., Krügel, N., Berlemann, U. (2001a). Surgical dislocation of the adult hip a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis. *J Bone Joint Surg Br*, 83, 1119-1124.

Ganz, R., Gill, T.J., Gautier, E., Ganz, K., Krügel, N., Berlemann, U. (2001b). Surgical dislocation of the adult hip: a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis. *J Bone Joint Surg Br*, 83, 1119-1124.

Ganz, R., Leunig, M., Leunig-Ganz, K., Harris, W.H. (2008). The etiology of osteoarthritis of the hip: an integrated mechanical concept. *Clin Orthop Relat Res*, 466, 264-272.

Ganz, R., Parvizi, J., Beck, M., Leunig, M., Notzli, H., Siebenrock, K.A. (2003). Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop Relat Res*, 112-120.

Gautier, E., Ganz, K., Krügel, N., Gill, T., Ganz, R. (2000). Anatomy of the medial femoral circumflex artery and its surgical implications. *J Bone Joint Surg Br*, 82, 679-683.

Glick, J.M., Sampson, T.G., Gordon, R.B., Behr, J.T., Schmidt, E. (1987). Hip arthroscopy by the lateral approach. *Arthroscopy*, 3, 4-12.

Gosvig, K.K., Jacobsen, S., Palm, H., Sonne-Holm, S., Magnusson, E. (2007). A new radiological index for assessing asphericity of the femoral head in cam impingement. *J Bone Joint Surg Br*, 89, 1309-1316.

Gosvig, K.K., Jacobsen, S., Sonne-Holm, S., Gebuhr, P. (2008). The prevalence of cam-type deformity of the hip joint: a survey of 4151 subjects of the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Acta Radiol*, 49, 436-441.

Hack, K., Di Primio, G., Rakhra, K., Beaulé, P.E. (2010). Prevalence of cam-type femoroacetabular impingement morphology in asymptomatic volunteers. *J Bone Joint Surg Am*, 92, 2436-2444.

Hackenbroch, M.H., Jr., Bruns, H., Widenmayer, W. (1979). [Contribution to the etiology of coxarthrosis. Radiographic and clinical evaluation of 976 arthrotic hip joints (author's transl)]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 95, 275-283.

Haddad, B., Konan, S., Haddad, F.S. (2014). Debridement versus re-attachment of acetabular labral tears: A review of the literature and quantitative analysis. *Bone Joint J*, 96-B, 24-30.

Harris, W.H. (1986). Etiology of osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop Relat Res*, 20-33.

Hipp, E. (1962). Die Gefäße des Hüftkopfes: Anatomie, Angiographie und Klinik. *Z Orthop* 96, 96.

Hipp, E. (1963). Hüftkopfnekrose. Neue Gesichtspunkte ihrer Entstehung aufgrund angiographischer Untersuchungen. *Z Orthop*, 50, 254.

Hlaváček, M. (2002). The influence of the acetabular labrum seal, intact articular superficial zone and synovial fluid thixotropy on squeeze-film lubrication of a spherical synovial joint. *Journal of Biomechanics*, 35, 1325-1335.

Hodler, J., Yu, J.S., Goodwin, D., Haghighi, P., Trudell, D., Resnick, D. (1995). MR arthrography of the hip: improved imaging of the acetabular labrum with histologic correlation in cadavers. *AJR Am J Roentgenol*, 165, 887-891.

Ilizaliturri, V.M.J., Chaidez, P.A., Aguilera, J.M., Camacho-Galindo, J. (2005a). Special Instruments and Techniques for Hip Arthroscopy. *Techniques in Orthopaedics: Hip Arthroscopy*, 20, 9-16.

Ilizaliturri, V.M.J., Mangino, G., Valero, F.S., Camacho-Galindo, J. (2005b). Hip Arthroscopy of the Central and Peripheral Compartments by the Lateral Approach. *Techniques in Orthopaedics: Hip Arthroscopy*, 20, 32-36.

Impellizzeri, F.M., Mannion, A.F., Naal, F.D., Leunig, M. (2013). Acceptable symptom state after surgery for femoroacetabular impingement compared with total hip arthroplasty. *Hip Int*, 23 Suppl 9, S54-60.

Ito, K., Leunig, M., Ganz, R. (2004). Histopathologic features of the acetabular labrum in femoroacetabular impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 429, 262-271.

Ito, K., Minka, M.A., 2nd, Leunig, M., Werlen, S., Ganz, R. (2001). Femoroacetabular impingement and the cam-effect. A MRI-based quantitative anatomical study of the femoral head-neck offset. *J Bone Joint Surg Br*, 83, 171-176.

Johnston, T.L., Schenker, M.L., Briggs, K.K., Philippon, M.J. (2008). Relationship between offset angle alpha and hip chondral injury in femoroacetabular impingement. *Arthroscopy*, 24, 669-675.

Kalberer, F., Sierra, R.J., Madan, S.S., Ganz, R., Leunig, M. (2008). Ischial spine projection into the pelvis : a new sign for acetabular retroversion. *Clin Orthop Relat Res*, 466, 677-683.

Keeney, J.A., Peelle, M.W., Jackson, J., Rubin, D., Maloney, W.J., Clohisy, J.C. (2004). Magnetic resonance arthrography versus arthroscopy in the evaluation of articular hip pathology. *Clin Orthop Relat Res*, 429, 163-169.

Klaue, K., Durnin, C.W., Ganz, R. (1991). The acetabular rim syndrome. A clinical presentation of dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Br*, 73, 423-429.

Knuesel, P.R., Pfirrmann, C.W., Noetzli, H.P., Dora, C., Zanetti, M., Hodler, J., Kuehn, B., Schmid, M.R. (2004). MR arthrography of the hip: diagnostic performance of a dedicated water-excitation 3D double-echo steady-state sequence to detect cartilage lesions. *AJR Am J Roentgenol*, 183, 1729-1735.

Laborie, L.B., Lehmann, T.G., Engesaeter, I.O., Eastwood, D.M., Engesaeter, L.B., Rosendahl, K. (2011). Prevalence of radiographic findings thought to be associated with femoroacetabular impingement in a population-based cohort of 2081 healthy young adults. *Radiology*, 260, 494-502.

Landis, J.R., Koch, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.

Lavigne, M., Parvizi, J., Beck, M., Siebenrock, K.A., Ganz, R., Leunig, M. (2004). Anterior femoroacetabular impingement: part I. Techniques of joint preserving surgery. *Clin Orthop Relat Res*, 418, 61-66.

Leunig, M., Beck, M., Dora, C., Ganz, R. (2006). [Femoroacetabular impingement: trigger for the development of coxarthrosis]. *Orthopade*, 35, 77-84.

Leunig, M., Beck, M., Kalhor, M., Kim, Y.J., Werlen, S., Ganz, R. (2005a). Fibrocystic changes at anterosuperior femoral neck: prevalence in hips with femoroacetabular impingement. *Radiology*, 236, 237-246.

Leunig, M., Casillas, M.M., Hamlet, M., Hersche, O., Notzli, H., Slongo, T., Ganz, R. (2000). Slipped capital femoral epiphysis: early mechanical damage to the acetabular cartilage by a prominent femoral metaphysis. *Acta Orthop Scand*, 71, 370-375.

Leunig, M., Ganz, R. (2005b). [Femoroacetabular impingement. A common cause of hip complaints leading to arthrosis]. *Unfallchirurg*, 108, 9-10, 12-17.

Leunig, M., Jüni, P., Werlen, S., Limacher, A., Nüesch, E., Pfirrmann, C.W., Trelle, S., Odermatt, A., Hofstetter, W., Ganz, R., Reichenbach, S. (2013). Prevalence of cam and pincer-type deformities on hip MRI in an asymptomatic young Swiss female population: a cross-sectional study. *Osteoarthritis and Cartilage*, 21, 544-550.

Leunig, M., Werlen, S., Ungersbock, A., Ito, K., Ganz, R. (1997). Evaluation of the acetabular labrum by MR arthrography. *J Bone Joint Surg Br*, 79, 230-234.

Lienert, J.J., Rodkey, W.G., Steadman, J.R., Philippon, M.J., Sekiya, J.K. (2005). Microfracture Techniques in Hip Arthroscopy. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 15, 267-272.

Locher, S., Werlen, S., Leunig, M., Ganz, R. (2002). [MR-Arthrography with radial sequences for visualization of early hip pathology not visible on plain radiographs]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 140, 52-57.

Lynch, T.S., Terry, M.A., Bedi, A., Kelly, B.T. (2013). Hip arthroscopic surgery: patient evaluation, current indications, and outcomes. *Am J Sports Med*, 41, 1174-1189.

Mardones, R.M., Gonzalez, C., Chen, Q., Zobitz, M., Kaufman, K.R., Trousdale, R.T. (2005). Surgical treatment of femoroacetabular impingement: evaluation of the effect of the size of the resection. *J Bone Joint Surg Am*, 87, 273-279.

Mast, J.W., Brunner, R.L., Zebrack, J. (2004). Recognizing acetabular version in the radiographic presentation of hip dysplasia. *Clin Orthop Relat Res*, 48-53.

Mast, N.H., Impellizzeri, F., Keller, S., Leunig, M. (2011). Reliability and agreement of measures used in radiographic evaluation of the adult hip. *Clin Orthop Relat Res*, 469, 188-199.

McCarthy, J., Barsoum, W., Puri, L., Lee, J.A., Murphy, S., Cooke, P. (2003). The role of hip arthroscopy in the elite athlete. *Clin Orthop Relat Res*, 71-74.

McCarthy, J.C. (1995). Hip Arthroscopy: Applications and Technique. *J Am Acad Orthop Surg*, 3, 115-122.

McCarthy, J.C., Jarrett, B.T., Ojeifo, O., Lee, J.A., Bragdon, C.R. (2011). What factors influence long-term survivorship after hip arthroscopy? *Clin Orthop Relat Res*, 469, 362-371.

McCarthy, J.C., Lee, J.A. (2004). Arthroscopic intervention in early hip disease. *Clin Orthop Relat Res*, 429, 157-162.

Murgier, J., Reina, N., Cavaignac, E., Espié, A., Bayle-Iniguez, X., Chiron, P. (2014). The frequency of sequelae of slipped upper femoral epiphysis in cam-type femoroacetabular impingement. *Bone & Joint Journal*, 96-B, 724-729.

Murphy, S., Tannast, M., Kim, Y.J., Buly, R., Millis, M.B. (2004). Debridement of the adult hip for femoroacetabular impingement: indications and preliminary clinical results. *Clin Orthop Relat Res*, 178-181.

Murphy, S.B., Ganz, R., Müller, M.E. (1995). The prognosis of untreated dysplasia of the hip: a study of radiographic factors that predict the outcome. *J Bone Joint Surg Am*, 77, 985-989.

Murray, R.O. (1965). The aetiology of primary osteoarthritis of the hip. *Br J Radiol*, 38, 810-824.

Myers, S.R., Eijer, H., Ganz, R. (1999). Anterior femoroacetabular impingement after periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res*, 93-99.

Nelitz, M., Guenther, K.P., Gunkel, S., Puhl, W. (1999). Reliability of radiological measurements in the assessment of hip dysplasia in adults. *Br J Radiol*, 72, 331-334.

Nepple, J.J., Lehmann, C.L., Ross, J.R., Schoenecker, P.L., Clohisy, J.C. (2013). Coxa profunda is not a useful radiographic parameter for diagnosing pincer-type femoroacetabular impingement. *J Bone Joint Surg Am*, 95, 417-423.

Neumann, M., Cui, Q., Siebenrock, K.A., Beck, M. (2009). Impingement-free hip motion: the 'normal' angle alpha after osteochondroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 467, 699-703.

Ng, V.Y., Arora, N., Best, T.M., Pan, X., Ellis, T.J. (2010). Efficacy of surgery for femoroacetabular impingement: a systematic review. *Am J Sports Med*, 38, 2337-2345.

Nicholls, A.S., Kiran, A., Pollard, T.C., Hart, D.J., Arden, C.P., Spector, T., Gill, H.S., Murray, D.W., Carr, A.J., Arden, N.K. (2011). The association between hip morphology parameters and nineteen-year risk of end-stage osteoarthritis of the hip: a nested case-control study. *Arthritis Rheum*, 63, 3392-3400.

Nötzli, H.P., Wyss, T.S., Stoecklin, C.H., Schmid, M.R., Treiber, K., Hodler, J. (2002). The contour of the femoral head-neck junction as a predictor for the risk of anterior impingement. *J Bone Joint Surg Br*, 84, 556-560.

Outerbridge, R.E. (1961). The etiology of chondromalacia patallae. *J Bone Joint Surg Br*, 43, 752-757.

Outerbridge, R.E., Dunlop, J.A. (1975). The problem of chondromalacia patellae. *Clin Orthop Relat Res*, 177-196.

Peters, C.L., Erickson, J.A. (2006). Treatment of femoro-acetabular impingement with surgical dislocation and debridement in young adults. *J Bone Joint Surg Am*, 88, 1735-1741.

Pfarrmann, C.W., Duc, S.R., Zanetti, M., Dora, C., Hodler, J. (2008). MR arthrography of acetabular cartilage delamination in femoroacetabular cam impingement. *Radiology*, 249, 236-241.

Pfarrmann, C.W., Mengiardi, B., Dora, C., Kalberer, F., Zanetti, M., Hodler, J. (2006). Cam and pincer femoroacetabular impingement: characteristic MR arthrographic findings in 50 patients. *Radiology*, 240, 778-785.

Philippon, M.J., Briggs, K.K., Yen, Y.M., Koppersmith, D.A. (2009). Outcomes following hip arthroscopy for femoroacetabular impingement with associated chondrolabral dysfunction: minimum two-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br*, 91, 16-23.

Philippon, M.J., Maxwell, R.B., Johnston, T.L., Schenker, M., Briggs, K.K. (2007a). Clinical presentation of femoroacetabular impingement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15, 1041-1047.

Philippon, M.J., Schenker, M.L. (2006). Arthroscopy for the treatment of femoroacetabular impingement in the athlete. *Clin Sports Med*, 25, 299-308, ix.

Philippon, M.J., Schenker, M.L., Briggs, K.K., Maxwell, R.B. (2008). Can microfracture produce repair tissue in acetabular chondral defects? *Arthroscopy*, 24, 46-50.

Philippon, M.J., Stubbs, A.J., Schenker, M.L., Maxwell, R.B., Ganz, R., Leunig, M. (2007b). Arthroscopic management of femoroacetabular impingement: osteoplasty technique and literature review. *Am J Sports Med*, 35, 1571-1580.

Pitt, M.J., Graham, A.R., Shipman, J.H., Birkby, W. (1982). Herniation pit of the femoral neck. *AJR Am J Roentgenol*, 138, 1115-1121.

Pollard, T.C., Villar, R.N., Norton, M.R., Fern, E.D., Williams, M.R., Simpson, D.J., Murray, D.W., Carr, A.J. (2010). Femoroacetabular impingement and classification of the cam deformity: the reference interval in normal hips. *Acta Orthop*, 81, 134-141.

Preiser, G. (1911). *"Statische Gelenkerkrankungen"*. Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart

Rakhra, K.S., Sheikh, A.M., Allen, D., Beaulé, P.E. (2009). Comparison of MRI alpha angle measurement planes in femoroacetabular impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 467, 660-665.

Reichenbach, S., Juni, P., Werlen, S., Nuesch, E., Pfirrmann, C.W., Trelle, S., Odermatt, A., Hofstetter, W., Ganz, R., Leunig, M. (2010). Prevalence of cam-type deformity on hip magnetic resonance imaging in young males: a cross-sectional study. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 62, 1319-1327.

Resnick, D. (1976). The 'Tilt Deformity' of the femoral head in osteoarthritis of the hip: A poor indicator of previous epiphysiolysis. *Clinical Radiology*, 27, 355-363.

Reurink, G., Jansen, S.P., Bisselink, J.M., Vincken, P.W., Weir, A., Moen, M.H. (2012). Reliability and validity of diagnosing acetabular labral lesions with magnetic resonance arthrography. *J Bone Joint Surg Am*, 94, 1643-1648.

Reynolds, D., Lucas, J., Klaue, K. (1999). Retroversion of the acetabulum. A cause of hip pain. *J Bone Joint Surg Br*, 81, 281-288.

Ruelle, M., Dubois, J.L. (1962). [The protrusive malformation and its arthrosic complication. I. Radiological and clinical symptoms. Etiopathogenesis]. *Rev Rhum Mal Osteoartic*, 29, 476-489.

Sampson, T.G. (2005). Arthroscopic Treatment of Femoroacetabular Impingement. *Techniques in Orthopaedics: Hip Arthroscopy*, 20, 56-62.

Sampson, T.G. (2011). Arthroscopic treatment for chondral lesions of the hip. *Clin Sports Med*, 30, 331-348.

Schaeffeler, C., Eiber, M., Holzapfel, K., Gollwitzer, H., Rummeny, E.J., Woertler, K. (2012). The epiphyseal torsion angle in MR arthrography of the hip: diagnostic utility in patients with femoroacetabular impingement syndrome. *AJR Am J Roentgenol*, 198, W237-243.

Schilders, E., Dimitrakopoulou, A., Bismil, Q., Marchant, P., Cooke, C. (2011). Arthroscopic treatment of labral tears in femoroacetabular impingement: a comparative study of refixation and resection with a minimum two-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br*, 93, 1027-1032.

Schmid, M.R., Notzli, H.P., Zanetti, M., Wyss, T.F., Hodler, J. (2003). Cartilage lesions in the hip: diagnostic effectiveness of MR arthrography. *Radiology*, 226, 382-386.

Sevitt, S., Thompson, R.G. (1965). The Distribution and Anastomoses of Arteries Supplying the Head and Neck of the Femur. *J Bone Joint Surg Br*, 47, 560-573.

Shrout, P., Fleiss, J.L. (1979). Intraclass correlation: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 420-428.

Siebenrock, K.A., Kalbermatten, D.F., Ganz, R. (2003a). Effect of pelvic tilt on acetabular retroversion: a study of pelvis from cadavers. *Clin Orthop Relat Res*, 407, 241-248.

Siebenrock, K.A., Schoeniger, R., Ganz, R. (2003b). Anterior Femoro-Acetabular Impingement Due to Acetabular Retroversion Treatment with Periacetabular Osteotomy. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 85, 278-286.

Siebenrock, K.A., Wahab, K.H.A., Werlen, S., Kalhor, M., Leunig, M., Ganz, R. (2004). Abnormal Extension of the Femoral Head Epiphysis as a Cause of Cam Impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 418, 54-60.

Smith-Petersen, M.N. (2009). The classic: Treatment of malum coxae senilis, old slipped upper femoral epiphysis, intrapelvic protrusion of the acetabulum, and coxa plana by means of acetabuloplasty. 1936. *Clin Orthop Relat Res*, 467, 608-615.

Smith, T.O., Hilton, G., Toms, A.P., Donell, S.T., Hing, C.B. (2011). The diagnostic accuracy of acetabular labral tears using magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography: a meta-analysis. *Eur Radiol*, 21, 863-874.

Smith, T.O., Simpson, M., Ejindu, V., Hing, C.B. (2013). The diagnostic test accuracy of magnetic resonance imaging, magnetic resonance arthrography and computer tomography in the detection of chondral lesions of the hip. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 23, 335-344.

Solomon, L. (1976). Patterns of osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Br*, 58, 176-183.

Stafford, G.H., Bunn, J.R., Villar, R.N. (2011). Arthroscopic repair of delaminated acetabular articular cartilage using fibrin adhesive. Results at one to three years. *Hip Int*, 21, 744-750.

Steadman, J.R., Briggs, K.K., Rodrigo, J.J., Kocher, M.S., Gill, T.J., Rodkey, W.G. (2003). Outcomes of microfracture for traumatic chondral defects of the knee: average 11-year follow-up. *Arthroscopy*, 19, 477-484.

Stulberg, S.D., Cordell, L.D., Harris, W.H., Ramsey, P.L., MacEwen, G.D. (1975). Unrecognized childhood hip disease: a major cause of idiopathic osteoarthritis of the hip. *The hip: proceedings of the third meeting of the Hip Society. St. Louis, MO: Mosby*, 212-228.

Sutter, R., Zubler, V., Hoffmann, A., Mamisch-Saupe, N., Dora, C., Kalberer, F., Zanetti, M., Hodler, J., Pfirrmann, C.W. (2014). Hip MRI: how useful is intraarticular contrast material for evaluating surgically proven lesions of the labrum and articular cartilage? *AJR Am J Roentgenol*, 202, 160-169.

Takagi, K. (1982). The classic. Arthroscope. Kenji Takagi. J. Jap. Orthop. Assoc., 1939. *Clin Orthop Relat Res*, 6-8.

Tannast, M., Goricki, D., Beck, M., Murphy, S.B., Siebenrock, K.A. (2008a). Hip damage occurs at the zone of femoroacetabular impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 466, 273-280.

Tannast, M., Mistry, S., Steppacher, S.D., Reichenbach, S., Langlotz, F., Siebenrock, K.A., Zheng, G. (2008b). Radiographic analysis of femoroacetabular impingement with Hip2Norm--reliable and validated. *J Orthop Res*, 26, 1199-1205.

Tannast, M., Murphy, S.B., Langlotz, F., Anderson, S.E., Siebenrock, K.A. (2006). Estimation of pelvic tilt on anteroposterior X-rays--a comparison of six parameters. *Skeletal Radiol*, 35, 149-155.

Tannast, M., Siebenrock, K.A., Anderson, S.E. (2007). Femoroacetabular impingement: radiographic diagnosis--what the radiologist should know. *AJR Am J Roentgenol*, 188, 1540-1552.

Tönnis, D. (1987). "*Congenital dysplasia and dislocation of the hip in children and adults*". Springer, Berlin - Heidelberg

Tönnis, D., Heinecke, A. (1999). Acetabular and femoral anteversion: relationship with osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am*, 81, 1747-1770.

Toomayan, G.A., Holman, W.R., Major, N.M., Kozlowicz, S.M., Vail, T.P. (2006). Sensitivity of MR arthrography in the evaluation of acetabular labral tears. *AJR Am J Roentgenol*, 186, 449-453.

Venables, W.N., Ripley, B.D. (2002). "*Modern Applied Statistics with S*". Springer, New York, Fourth Edition

Wagner, S., Hofstetter, W., Chiquet, M., Mainil-Varlet, P., Stauffer, E., Ganz, R., Siebenrock, K.A. (2003). Early osteoarthritic changes of human femoral head cartilage subsequent to femoro-acetabular impingement. *Osteoarthritis Cartilage*, 11, 508-518.

Werlen, S., Leunig, M., Ganz, R. (2005). Magnetic Resonance Arthrography of the Hip in Femoroacetabular Impingement: Technique and Findings. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 15, 191-203.

Zaragoza, E., Lattanzio, P.J., Beaulé, P.E. (2009). Magnetic resonance imaging with gadolinium arthrography to assess acetabular cartilage delamination. *Hip Int*, 19, 18-23.

10. Anhang

Variable	Beschreibung	N	% von Gesamtanzahl
Cam-Pincer-Beschreibung	Cam	85	46%
	Pincer	16	9%
	Mixed	85	46%
	Gesamt	186	
Impingementtest		176	96%
	Gesamt	184	0%
Anlaufschmerz		6	27%
	Gesamt	22	
Pistol-Grip Sign		101	57%
	Gesamt	178	0%
Horizontal Growthplate Sign		83	48%
	Gesamt	173	
Qualitative Beschreibung a.-p.	normal	60	34%
	Cam Typ 1	85	48%
	Cam Typ 2	33	19%
	Gesamt	178	
Coxa vara/valga	Normal	79	45%
	C. vara	93	53%
	C. valga	5	3%
	Gesamt	177	
Qualitative Beschreibung Lateral	Normal	31	19%
	Cam Typ 1	52	31%
	Cam Typ 2	60	36%
	Cam Typ 3	24	14%
	Gesamt	167	

Variable	Beschreibung	N	% von Gesamtanzahl
Kortikalisverdichtung		78	44%
	Gesamt	178	
Crossover Sign		54	33%
	Gesamt	162	
Ischial Spine Sign		52	33%
	Gesamt	157	
Posterior Wall Sign	Normal	114	65%
	PWS Typ 1	19	11%
	PWS Typ 2	42	24%
	Gesamt	175	
Coxa profunda		94	53%
	Gesamt	177	
Protrusio Acetabuli		0	0%
	Gesamt	177	
Linear Indentation Sign		23	13%
	Gesamt	179	
Herniation Pits		40	22%
	Gesamt	180	
Os Acetabuli		31	17%
	Gesamt	179	
Tönnis Klassifikation	Normal	100	56%
	Grad 1	51	28%
	Grad 2	27	15%
	Grad 3	1	<1%
	Gesamt	179	

Tabelle 32: Qualitative Datenauswertung; Gesamtpatientengut, Anzahl N, % Angabe

Variable	Beschreibung	Frauen		Männer		Signifikanz (p-Wert)
		N	%	N	%	
						Chi ² - / Fisher's exact test
Cam-Pincer-Beschreibung	Cam	23	46%	62	46%	< 0,0001
	Pincer	12	24%	4	3%	
	Mixed	15	30%	70	51%	
	Gesamt	50		136		
Impingementtest		47	94%	129	96%	0,4501
	Gesamt	50		134		
Anlaufschmerz		3	33%	3	23%	0,63
	Gesamt	9		13		
Pistol-Grip Sign		13	28%	88	67%	< 0,0001
	Gesamt	47		131		
Horizontal Growthplate Sign		8	17%	75	59%	< 0,0001
	Gesamt	46		127		
Qualitative Beschreibung a.-p.	normal	31	66%	29	22%	< 0,0001
	Cam Typ 1	11	23%	74	56%	
	Cam Typ 2	5	11%	28	21%	
	Gesamt	47		131		
Coxa vara/valga	Normal	19	41%	60	46%	0,3076
	C. vara	27	59%	66	50%	
	C. valga	0	0%	5	4%	
	Gesamt	46		131		
Qualitative Beschreibung Lateral	Normal	14	30%	17	14%	0,028
	Cam Typ 1	8	17%	44	36%	
	Cam Typ 2	16	35%	44	36%	
	Cam Typ 3	8	17%	16	13%	
	Gesamt	46		121		
Kortikalisverdichtung		17	35%	61	47%	0,1786
	Gesamt	48		130		
Crossover Sign		9	20%	45	38%	0,0396
	Gesamt	44		118		
Ischial Spine Sign		7	17%	45	39%	0,0078
	Gesamt	42		115		
Posterior Wall Sign	Normal	30	65%	84	65%	< 0,0001
	PWS Typ 1	11	24%	8	6%	
	PWS Typ 2	5	11%	37	29%	
	Gesamt	46		129		
Coxa profunda		39	83%	55	42%	<0,0001
	Gesamt	47		130		
Protrusio Acetabuli		0	0%	0	0%	---
	Gesamt	47		130		

Variable	Beschreibung	Frauen		Männer		Signifikanz (p-Wert)
Linear Indentation Sign		7	15%	16	12%	0,8011
	Gesamt	48		131		
Herniation Pits		14	29%	26	20%	0,23
	Gesamt	49		131		
Os Acetabuli		5	10%	26	20%	0,1822
	Gesamt	48		131		
Tönnis Klassifikation	Normal	29	60%	71	54%	0,425*
	Grad 1	13	27%	38	29%	
	Grad 2	6	13%	21	16%	
	Grad 3	0	0%	1	1%	
	Gesamt	48		131		*Exact Mann-Whitney-U-Test

Tabelle 33: Qualitative Datenauswertung; Vergleich Frauen vs. Männer, Anzahl n, %-Angabe, Signifikanz p-wert

Variable	Beschreibung	Cam-FAI		Pincer-FAI		Mixed-FAI		Signifikanz (p-Wert)
		N	%	N	%	N	%	Chi ² - / Fisher's exact test
Impingementtest		78	93%	16	100%	82	98%	0,2137
	Gesamt	84		16		84		
Anlaufschmerz		5	38%	0	0%	1	11%	0,3668
	Gesamt	13				9		
Pistol-Grip Sign		54	68%	0	0%	47	57%	< 0,0001
	Gesamt	80		16		82		
Horizontal Growthplate Sign		43	56%	0	0%	40	50%	0,0002
	Gesamt	77		16		80		
Qualitative Beschreibung a.-p.	normal	17	21%	16	0%	27	33%	< 0,0001
	Cam Typ 1	45	56%	0	0%	40	49%	
	Cam Typ 2	18	23%	0	0%	15	18%	
	Gesamt	80		16		82		
Coxa vara/valga	Normal	36	46%	4	25%	39	48%	0,4052
	C. vara	40	51%	12	75%	41	50%	
	C. valga	3	4%	0	0%	2	2%	
	Gesamt	79		16		82		
Qualitative Beschreibung Lateral	Normal	7	9%	14	0%	10	13%	< 0,0001
	Cam Typ 1	25	33%	0	0%	27	35%	
	Cam Typ 2	29	39%	0	0%	31	40%	
	Cam Typ 3	14	19%	0	0%	10	13%	
	Gesamt	75		14		78		
Kortikalisverdichtung		33	41%	2	13%	43	52%	0,0146
	Gesamt	81		15		82		
Crossover Sign		0	0%	6	40%	48	63%	< 0,0001
	Gesamt	71		15		76		
Ischial Spine Sign		0	0%	8	53%	44	59%	< 0,0001
	Gesamt	67		15		75		
Posterior Wall Sign	Normal	73	92%	9	56%	32	40%	< 0,0001
	PWS Typ 1	6	8%	4	25%	9	11%	
	PWS Typ 2	0	0%	3	19%	39	49%	
	Gesamt	79		16		80		
Coxa profunda		47	59%	12	75%	35	43%	0,0261
	Gesamt	80		16		81		
Protrusio Acetabuli		0	0%	0	0%	0	0%	--- n.a.
	Gesamt	80		16		81		
Linear Indentation Sign		11	14%	3	19%	9	11%	0,6526
	Gesamt	80		16		83		
Herniation Pits		13	16%	2	13%	25	30%	0,0711
	Gesamt	80	0%	16	0%	84	0%	
Os Acetabuli		10	13%	1	6%	20	24%	0,0696
	Gesamt	80		16		83		
Tönnis Klassifikation	Normal	43	53%	12	75%	45	55%	0,353*
	Grad 1	25	31%	2	13%	24	29%	
	Grad 2	13	16%	2	13%	12	15%	
	Grad 3	0	0%	0	0%	1	1%	
	Gesamt	81		16		82		*Kruskal-Wallis-Test

Tabelle 34: Qualitative Beurteilung: Vergleich Cam vs. Pincer, Anzahl N, % Angabe, Signifikanz p-Wert

