

Aus der
Orthopädischen Universitätsklinik mit Poliklinik Tübingen

**Die operative Containment-Therapie bei Morbus
Perthes – Ergebnisse gegen Wachstumsende**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Thomanek, Anna Christina

2023

Dekan: Professor Dr. B. Pichler
1. Berichterstatter: Professor Dr. F. Traub
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. I. Tsiflikas

Tag der Disputation: 07.06.2023

...meinem Vater Klaus

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Ätiologie	10
1.2 Pathogenese	10
1.3 Anamnese und klinisches Erscheinungsbild	10
1.4 Klinische Untersuchung	11
1.5 Bildgebende Diagnostik	11
1.6 Laborchemische Untersuchung	13
1.7 Differentialdiagnosen	13
1.8 Therapie	13
1.8.1 Konservative Therapie	16
1.8.2 Operative Therapie	16
1.9 Sportfähigkeit	17
1.10 Prognose	17
1.11 Langzeitkomplikationen	17
1.12 Grundlagen	18
1.12.1 Klinische Parameter	18
1.12.2 Radiologische Parameter	21
1.12.3 Operative Containment-Therapie	33
2 Material und Methoden	38
2.1 Patientenkollektiv	39
2.2 Patientenaktenstudie	39
2.2.1 Geschlecht	39
2.2.2 Körpermaße	39
2.2.3 Familienanamnese	39
2.2.4 Vorerkrankungen	39
2.2.5 Erkrankungsalter	40
2.2.6 Erkrankte Hüftgelenksseite	40

2.3	Information zur Intervention _____	40
2.3.1	Zeitpunkt der Operation _____	40
2.3.2	Operationsmethode _____	40
2.3.3	Komplikationen und zusätzliche Interventionen _____	40
2.4	Klinische Daten _____	41
2.4.1	Duchenne-Hinken und Trendelenburgzeichen _____	41
2.4.2	Harris-Hip-Score _____	41
2.5	Radiologische Daten _____	42
2.5.1	Ausgangsparameter _____	42
2.5.2	Verlaufparameter _____	43
2.5.3	Ergebnisparameter _____	44
2.6	Statistische Analyse _____	44
3	Ergebnisse _____	45
3.1	Ergebnisse der Patientenaktenstudie _____	45
3.1.1	Geschlechterverteilung _____	45
3.1.2	Altersverteilung _____	46
3.1.3	Erkrankte Hüftgelenksseite _____	48
3.1.4	Körpermaße im Patientenkollektiv _____	48
3.2	Ergebnisparameter _____	49
3.2.1	Harris-Hip-Score _____	49
3.2.2	Klassifikation nach Stulberg _____	51
3.3	Behandlungsvorgehen _____	54
3.3.1	Altersverteilung in den Interventionsgruppen _____	57
3.4	Ausschließlich präoperativ beurteilte radiologische Variablen _____	60
3.4.1	Klassifikation nach Catterall _____	60
3.4.2	Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring _____	66
3.4.3	Einteilung nach Waldenström _____	69
3.4.4	Abmessung des Gelenkspaltes _____	75
3.5	Klinische Parameter im Verlauf _____	76
3.5.1	Duchenne-Hinken _____	76
3.5.2	Trendelenburgzeichen _____	77
3.6	Radiologische Parameter im Verlauf _____	80

3.6.1	Migrationsindex nach Reimers _____	80
3.6.2	Ménard-Shenton-Linie _____	85
3.6.3	Epiphysenquotient nach Heyman und Herndon _____	89
3.6.4	Centrotrochantäre Distanz _____	93
3.7	Korrelation des Trendelenburgzeichens und der Centrotrochantären Distanz _____	97
3.8	Baseline characteristics _____	100
3.9	Multivariate Modelle _____	101
3.9.1	Multivariates Modell für das klinische Endergebnis _____	101
3.9.2	Multivariates Modell für das radiologische Endergebnis _____	103
3.10	Zusammenfassung der Ergebnisse _____	106
4	Diskussion _____	108
4.1	Diskussion der Patientenakten _____	108
4.1.1	Patientenalter zum Zeitpunkt der Diagnosestellung _____	108
4.1.2	Geschlechterverteilung _____	108
4.1.3	Befallsseite _____	108
4.1.4	Alter zum Zeitpunkt der Operation _____	109
4.2	Diskussion der Ergebnisse der radiologischen und klinischen Parameter _____	109
4.2.1	Klassifikation nach Catterall _____	109
4.2.2	Einteilung nach Waldenström _____	110
4.2.3	Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring _____	110
4.2.4	Migrationsindex nach Reimers _____	111
4.2.5	Epiphysenquotient _____	111
4.3	Vergleich der operativen Containmentverfahren _____	112
4.4	Erkrankungsalter als Risikovvariable _____	116
4.5	Selektionsbias _____	117
4.6	Fazit _____	119
5	Zusammenfassung _____	119
6	Anhang _____	122
7	Literaturverzeichnis _____	124
8	Erklärung zum Eigenanteil _____	128

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1	Behandlungsalgorithmus des Morbus Perthes am Olgahospital 2020	15
Abb. 2	Übersicht zur Punktevergabe des Harris-Hip-Scores [29, 30]	20
Abb. 3	Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring	21
Abb. 4	Klassifikation nach Catterall.....	23
Abb. 5	modifizierte Einteilung nach Waldenström in Anlehnung an Hyman et al. [37].....	25
Abb. 6	Distanz zwischen der Köhler-Tränenfigur und der medialen Epiphyse	26
Abb. 7	Ménard-Shenton-Linie.....	27
Abb. 8	Migrationsindex nach Reimers 1.....	28
Abb. 9	Migrationsindex nach Reimers 2.....	29
Abb. 10	Epiphysenindex.....	30
Abb. 11	Centrotrochantäre Distanz	32
Abb. 12	Beckenosteotomie nach Salter:	34
Abb. 13	Dreifachbeckenosteotomie nach Tönnis.....	36
Abb. 14	Intertrochantäre Varisationsosteotomie	37
Abb. 15	Kreisdiagramm: Geschlecht.....	46
Abb. 16	Balkendiagramm: Alter bei Diagnosestellung	47
Abb. 17	Histogramm: Zeitraum von der Diagnosestellung bis zur Operation	47
Abb. 18	Histogramm: Body-Mass-Index.....	48
Abb. 19	Balkendiagramm: Harris-Hip-Score im zeitlichen Verlauf	49
Abb. 20	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des Harris-Hip-Scores in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	51
Abb. 21	Balkendiagramm: Stulberg-Klassifikation.....	52
Abb. 22	Gestapeltes Säulendiagramm: Stulberg-Klassifikation nach Unterteilung des Geschlechts.....	53
Abb. 23	Gruppiertes Balkendiagramm: klinisches und radiologisches Endergebnis im Vergleich	54
Abb. 24	Balkendiagramm: Interventionsgruppen	55
Abb. 25	Balkendiagramm: Harris-Hip-Score zur letzten Nachuntersuchung in den Interventionsgruppen.....	56
Abb. 26	Balkendiagramm: Stulberg-Klassifikation in den Interventionsgruppen.....	57
Abb. 27	Balkendiagramm: Altersverteilung in den Interventionsgruppen.....	58
Abb. 28	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis anhand des Alters in den Interventionsgruppen.....	59

Abb. 29	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis anhand des Alters in den Interventionsgruppen.....	60
Abb. 30	Balkendiagramm: Klassifikation nach Catterall.....	61
Abb. 31	Balkendiagramm: Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen.....	62
Abb. 32	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen.....	64
Abb. 33	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen.....	65
Abb. 34	Balkendiagramm: Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring.....	66
Abb. 35	Balkendiagramm: Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring in den Interventionsgruppen.....	67
Abb. 36	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring in den Interventionsgruppen.....	68
Abb. 37	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring in den Interventionsgruppen.....	69
Abb. 38	Balkendiagramm: modifiziertes Waldenströmstadium.....	70
Abb. 39	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis anhand des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen.....	73
Abb. 40	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis anhand des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen.....	74
Abb. 41	Histogramm: Differenz der Distanz des Gelenkspaltes.....	75
Abb. 42	Boxplot: Differenz der Distanz des Gelenkspaltes in den Interventionsgruppen.....	76
Abb. 43	Balkendiagramm: Duchenne-Hinken im zeitlichen Verlauf.....	77
Abb. 44	Balkendiagramm: Trendelenburgzeichen im zeitlichen Verlauf.....	77
Abb. 45	Gruppiertes Balkendiagramm: Trendelenburgzeichen in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	78
Abb. 46	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis des Trendelenburgzeichens in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	79
Abb. 47	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des Trendelenburgzeichens in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	80
Abb. 48	Boxplot: Migrationsindex nach Reimers im zeitlichen Verlauf.....	81
Abb. 49	Liniendiagramm: Migrationsindex nach Reimers in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	82
Abb. 50	Gruppiertes Balkendiagramm: Migrationsindex nach Reimers in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	83
Abb. 51	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis des kodierten MI nach Reimers präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	84
Abb. 52	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des kodierten MI nach Reimers präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	85

Abb. 53	Balkendiagramm: Ménard-Shenton-Linie im zeitlichen Verlauf	86
Abb. 54	Gruppiertes Balkendiagramm: Ménard-Shenton-Linie in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	87
Abb. 55	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis der Ménard-Shenton-Linie präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	88
Abb. 56	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis der Ménard-Shenton-Linie präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	89
Abb. 57	Liniendiagramm: Epiphysenquotient im zeitlichen Verlauf.....	90
Abb. 58	Gruppiertes Liniendiagramm: Epiphysenquotient präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	91
Abb. 59	Gruppiertes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis des Epiphysenquotienten präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	92
Abb. 60	Gruppiertes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des Epiphysenquotienten präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf.....	93
Abb. 61	Liniendiagramm: Mittelwerte der CTD in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	94
Abb. 62	Gruppiertes Boxplot: Radiologisches Endergebnis der CTD präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	96
Abb. 63	Gruppiertes Boxplot: Klinisches Endergebnis der CTD präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	97
Abb. 64	Boxplot: Trendelenburgzeichen und CTD zur letzten Nachuntersuchung	98
Abb. 65	Boxplot: Trendelenburgzeichen und Ergebnis im Harris-Hip-Score zur letzten Nachuntersuchung	99
Tab. 1	Punkteverteilung Harris-Hip-Score.....	19
Tab. 2	Kreuztabelle: Radiologisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen.....	63
Tab. 3	Kreuztabelle: Klinisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen.....	65
Tab. 4	Kreuztabelle: Waldenströmstadium in den Interventionsgruppen.....	71
Tab. 5	Kreuztabelle: Radiologisches Endergebnis des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen.....	72
Tab. 6	Kreuztabelle: Klinisches Endergebnis des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen.....	74
Tab. 7	Kreuztabelle: Ménard-Shenton-Linie in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	86
Tab. 8	Kreuztabelle: Epiphysenquotient in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf	90
Tab. 9	Kreuztabelle: CTD-Mittelwerte in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf ...	94

Tab. 10	Mittelwert der CTD bezüglich Trendelenburgzeichen	98
Tab. 11	Median des Ergebnisses im Harris-Hip-Score bezüglich Trendelenburgzeichen	99
Tab. 12	Baseline Characteristics.....	101
Tab. 13	Multivariates Modell für den Harris-Hip-Score	103
Tab. 14	Multivariates Modell für die Stulberg-Klassifikation.....	105
Tab. 15	Ausgangscharakteristika bezogen auf Intervention	118

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
a.p.	anterior-posterior
BMI	Body-Mass-Index
CTD	Centrotrochantäre Distanz
IVO	Intertrochantäre Varisationsosteotomie
MI	Migrationsindex
N	Anzahl
OR	Odds Ratio
Pat.	Patient/en
p-Wert	Statistische Überschreitungswahrscheinlichkeit
Tab.	Tabelle
Triple	Tripleosteotomie

Aufgrund der besseren Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit von der gendergerechten Schreibweise abgesehen. Alle Geschlechter werden jedoch gleichermaßen angesprochen und berücksichtigt.

1 Einleitung

Die Erkrankung Morbus Perthes ist eine klassische Erkrankung im Kindesalter, die als eine Nekrose der Femurkopfepiphyse unter aseptischen Bedingungen definiert ist. Kinder können daran einseitig oder auch beidseitig erkranken. 1897 wurde die Erkrankung zum ersten Mal durch Karel Maydl erwähnt, der nach der Erfindung der röntgenologischen Bildgebung in der Lage war, die bis dahin unbekannte Hüfterkrankung besser zu begreifen. Die Theorien für die Ursache reichten weit, von möglichen Traumata bis hin zur Tuberkulose [1]. 13 Jahre später beschrieben die Chirurgen Georg C. Perthes in Tübingen (1869-1927), Jacques Calvé in Berck in Frankreich (1875-1954) und Arthur T. Legg in Boston (1874-1939) die Erkrankung unabhängig voneinander und fungierten als Namensväter [2]. Neben dem Namen Morbus Legg-Calvé-Perthes sind Synonyme wie „juvenile Hüftkopfnekrose“, „Coxa plana“ und auch „Osteochondropathia deformans coxae juvenilis“ bekannt und geläufig [2, 3]. Das Erkrankungsspektrum erstreckt sich vom 3. bis zum 10. Lebensjahr mit einem Altersgipfel zwischen dem 5. und 7. Lebensjahr. Hierbei haben Jungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 4-5:1 ein höheres Erkrankungsrisiko im Vergleich zu Mädchen. Trotz der geringeren Inzidenz bei Mädchen neigen diese jedoch zu einem ungünstigeren Verlauf mit schlechteren Endergebnissen, was sich unter anderem anhand der früheren Knochenreifung erklären lässt [4, 5]. In seiner Entstehung weist der Morbus Perthes zudem ethnische und geografische Unterschiede auf. Im Verhältnis liegt die Inzidenz in der hellhäutigen Bevölkerung mit 5-10:100.000 höher als die Inzidenz von 0,45:100.000 in der dunkelhäutigen Bevölkerung [6, 7]. Zusätzlich sind erhöhte Inzidenzen in sozial niedrigeren Schichten und städtischen Regionen beschrieben [4, 5]. Neben den bereits genannten Risikofaktoren spielt eine multifaktorielle Vererbung eine Rolle. Das Risiko, an einem Morbus Perthes zu erkranken, ist bei Verwandten 1. Grades um 35% erhöht [8]. Für eine Verwandtschaft Grad 2 oder 3 ist die

Erkrankungswahrscheinlichkeit vierfach erhöht [9]. Nach Beobachtungen sind die Perthes-Patienten unterdurchschnittlich klein und haben bei Skelettretardierung einen längeren Krankheitsverlauf [9, 10].

Die krankheitsspezifischen Stadien des Initial-, Kondensations-, Fragmentations-, Reparations- und Endstadiums können einen zeitlichen Rahmen von fünf Jahren durchlaufen [2]. Diese chronologischen Stadien wurden in der Einteilung nach Waldenström beschrieben und durch Joseph et al. in einer modifizierten Einteilung spezifiziert [11]. Im Stadium der Ausheilung können schwere Hüftkopfdeformitäten entstehen, die als Präarthrose angesehen werden können und die Patienten in ihrem zukünftigen Leben einschränken können. Bei entsprechender Indikation kann somit ein operatives Vorgehen notwendig werden, welches die Erreichung eines sphärischen Hüftkopfes mit kongruentem Acetabulum zum Ziel hat. Ein Verfahren ist die Verwendung des Containment-Prinzips. In diese Arbeit wurden als einfache Containmentverfahren die Intertrochantäre Varisationsosteotomie, die Beckenosteotomie nach Salter und die Dreifachbeckenosteotomie nach Tönnis miteinbezogen. Als Hypercontainment-erzeugende Therapie wurde die Kombination einer Femur- und einer Beckenosteotomie, demzufolge eine Intertrochantäre Varisationsosteotomie verbunden mit einer Tripleosteotomie nach Tönnis oder mit einer Beckenosteotomie nach Salter untersucht. Aufgrund des stadienhaften und wenig beeinflussbaren Verlaufes der Erkrankung stellt sich die Frage, ob es eine Überlegenheit in einer der fünf dargestellten Operationstechniken gibt, die den Patienten folglich Vorteile aufgrund der Therapiewahl bringt. Radiologisch ergeben sich mithilfe verschiedener Klassifikationen Unterteilungen, die dem behandelnden Arzt in seiner Entscheidung der Therapie helfen, jedoch sind bisher dabei die Containment- und Hypercontainmentverfahren nicht im Vergleich gesehen. Hypothetisch gesehen könnte man sich fragen, ob Perthes-Patienten, die mittels einer stärkeren Containmentmethode operiert wurden, auch ein besseres klinisches und radiologisches Ergebnis nach Wachstumsende aufweisen als diejenigen Patienten, die mit einfachen Containmentverfahren operiert wurden. Diese Hypothese soll in dieser Arbeit überprüft werden und die klinische Funktion, die in der Arbeit mit dem Harris-Hip-Score dargestellt wird,

soll zudem mit der radiologischen Klassifikation nach Stulberg auf Überschneidungen hin untersucht werden.

1.1 Ätiologie

Die Ursache für die Erkrankung an Morbus Perthes ist bisher nicht abschließend geklärt. Es wird von einem vaskulären Problem im Prädilektionsalter ausgegangen, das zu dem typischen Verlauf der Hüftkopfnekrose führt [12, 13]. Das Passiv-Rauchen bei Kindern wird zudem zu den Risikofaktoren gezählt [14]. Die körperliche Konstitution, Gerinnungsstörungen oder mehrere stattgefundene Knocheninfarkte zu verschiedenen Zeitpunkten sind nicht abschließend als Ursache ausgeschlossen [15, 16]. Eine Erhöhung des intraartikulären und intraossären Druckes aufgrund eines venösen Rückstaus könnte ebenso für die Erkrankung verantwortlich sein [9, 17].

1.2 Pathogenese

Pathogenetisch erklärt sich der Beginn der Perthes-Erkrankung durch eine Durchblutungsstörung der Epiphyse, woraufhin die Ossifikation gestört ist, die Epiphyse zerfällt und der Reparationsprozess in Gang gesetzt wird. Die Stadien, die röntgenologisch erkennbar sind, lassen sich auch in der Pathogenese wiedererkennen. Im Initialstadium ist die Nekrose bereits vorhanden, der Knorpel kann sich jedoch weiter ernähren und es kann zu einer Verdrängung des Hüftkopfes durch den Knorpel kommen. Die Frakturierung der Epiphyse lässt das Knochengestüt in dem Stadium der Kondensation instabil werden. Im Fragmentationsstadium wird die Nekrose abgetragen, es entsteht aber kein gleichwertiger Ersatz. Der Erfolg der Reparation ist von der ausgesetzten Belastung und des Alters des Patienten abhängig, da die Ausdehnung der Nekrose bei älteren Patienten aufgrund des breiteren Knochenbaus ausgeprägter ist [18]. Im letzten Stadium ist das Hüftgelenk ausgeheilt, jedoch kann dieser Zustand von Restitutio ad integrum bis zu schweren Kopfdeformitäten mit inkongruenter Gelenksituation reichen [19].

1.3 Anamnese und klinisches Erscheinungsbild

Klinisch kann der Morbus Perthes je nach Stadium des Krankheitsverlaufes mit einer unspezifischen Symptomatik vorliegen und die Diagnosestellung

erschweren. Zu Krankheitsbeginn kann die Symptomatik milde und kurzweilig auftreten und sich durch ein vorerst dezentes Hinken, remittierenden Schmerz in der Leistengegend und eine rasche Ermüdbarkeit darstellen. Im Verlauf kann diese Symptomatik bis hin zur ausgeprägten Bewegungsablehnung der betroffenen Extremität reichen [9]. Dauer und Intensität der Schmerzen können stark variieren. Zudem kann die remittierende Arthralgie neben der *Articulatio coxae* ebenso an der *Articulatio genus* manifest werden und sich in Ruhe, bei Belastung oder in Form eines Anlaufschmerzes demonstrieren. Eine resultierende Beinlängendifferenz oder Achsenfehlstellung im Hüftgelenk können ebenfalls Anzeichen für das Vorliegen eines *Morbus Perthes* sein [9, 20]. Familiäre Häufungen ähnlicher Symptomatik, Bilateralität der Beschwerden, eine bekannte Hüftdysplasie oder auch vorangegangene Infekte können anamnestisch erfragt und relevant werden.

1.4 Klinische Untersuchung

Inspektorisch wird auf die Körperbeschaffenheit des Patienten geachtet. Hierbei können Muskelatrophien oder auch ein hinkendes Gangbild, bedingt durch eine mögliche Verkürzung, Schonung oder Versteifung auffallen. Bei der Palpation kann bei einem erkrankten Patienten der Leistendruckschmerz durch den Untersucher verifiziert werden und eine vorliegende Beinlängendifferenz oder Beckenfehlstellung funktionellen oder anatomischen Ursprungs erkannt werden. In der Funktionsprüfung kann ein positives Vierer-Zeichen sowie eine reduzierte Beweglichkeit im betroffenen Gelenk auffallen, welche sich nach der Neutral-Null-Methode vor allem in der erhobenen Abduktion und Innenrotation zeigt [3, 9]. Das sogenannte „hinge-abduction“-Phänomen entsteht bei der Funktionsprüfung durch einen Schmerzreiz bei einer provozierten Abduktion im Hüftgelenk und dem damit verbundenen Anstoßen des lateralen *Caput femoris* am venterolateralen *Azetabulum* [18].

1.5 Bildgebende Diagnostik

Der zeitliche Ablauf der verschiedenen Erkrankungsstadien kann entscheidend für die Wahl der bildgebenden Diagnostik sein.

Vor allem in einem frühen Krankheitsstadium und bei sehr jungen Patienten ist die Ultraschalldiagnostik aufgrund der nicht vorhandenen Strahlenbelastung beliebt und bietet auch für die Verlaufskontrolle der Protrusion des Hüftkopfes, der lateralen Extrusion, der Funktion in Abduktion, sowie der Abbildung des Ergusses eine geeignete Untersuchungsmöglichkeit [9]. Jedoch ist eine röntgenologische Darstellung für die Diagnosestellung fast unumgänglich. Da erst nach mehreren Krankheitswochen eine Veränderung im Röntgen sichtbar ist, wird die Indikation für eine Röntgenaufnahme nach dem Zeitraum der bestehenden Beschwerden bemessen und auch in der Fragestellung berücksichtigt. Röntgenaufnahmen des Beckens werden in anterior-posteriorer Projektion (a.p.-Projektion) und in Projektion nach Lauenstein durchgeführt. Beide Darstellungsformen bieten dem Untersuchenden nicht nur Aufschluss über die Beschaffenheit des Hüftgelenks, sondern sind auch wichtig, um die Röntgenklassifikationen nach Catterall, Waldenström, Herring, Stulberg etc. bestimmen zu können [3].

Die Magnetresonanztomographie bietet eine sensitive Methode im frühen Stadium der Erkrankung, ist aber je nach Alter der jungen Patienten durch eine nötige Sedierung eine Methode, die eine aufwändigere Vorbereitung benötigt [3]. Das Perfusions-MRT bietet ebenso eine sehr gute Möglichkeit zur frühen Darstellung des Ausmaßes der Nekrose und korreliert zusätzlich laut Kim et al. mit der Klassifikation nach Catterall und der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring [21]. Im Gegensatz dazu bietet die computertomografische Diagnostik bei Kindern nur nach strenger Indikation und zur Untersuchung von Spätkomplikationen eine gängige Methode, da die einwirkende Strahlenbelastung vermieden werden soll [3]. In einem frühen Erkrankungsstadium kann, um differentialdiagnostische Gewissheit zu bekommen, auch eine Szintigraphie in Betracht gezogen werden. Die Wahl der bildgebenden Methode wird jedoch zuletzt mit dem Nutzen der Diagnosestellung im aktuellen Krankheitsstadium und der daraus resultierenden Behandlungsmöglichkeiten für den Patienten abgewogen [20].

1.6 Laborchemische Untersuchung

Laborparameter, die diagnoseweisend sein könnten, existieren bisher nicht. Jedoch kann eine Bestimmung von Entzündungsparametern differentialdiagnostisch zur Hilfe herangezogen werden [22]. Zusätzlich kann die Bestimmung der Gerinnungsfaktoren im Blut hinweisend sein, da eine Thrombophilie zu den diskutierten Risikofaktoren gehört [16].

1.7 Differentialdiagnosen

Differentialdiagnostisch kann das Stadium der Perthes-Erkrankung relevant sein. Je nachdem, ob eine Gelenkspaltverbreiterung, eine Abflachung mit einer Sklerosierung oder eine Fragmentation vorliegt, liegen verschiedene Differentialdiagnosen nahe. In einem frühen Stadium, in dem eine Gelenkspaltvergrößerung vorliegt, können Coxitiden in Form einer Coxitis fugax, einer bakteriell bedingten Entzündung oder auch Reifungsverzögerungen und die im Folgenden bei schwerem Verlauf genannten Differentialdiagnosen abzuklären sein. Ebenso das Vorliegen einer rheumatischen Arthritis, einer gelenksnahen Osteomyelitis oder einer epiphysären Dysplasie müssen bedacht werden. Bei einer Abflachung und Sklerosierung könnte neben dem Morbus Perthes auch eine Stoffwechselstörung, wie zum Beispiel der Morbus Gaucher, eine Osteochondrodysplasie, ein Kretinismus oder auch eine posttraumatisch bedingte Nekrose vorliegen. In der Fragmentation sollte eine Chondrodystrophia punctata, eine Pseudoachondroplasie, ein Hypogonadismus, eine Chromosomenaberration, wie die Trisomie 18, Bluterkrankungen und medikamentöse oder posttraumatische Auslöser in Betracht gezogen werden [2, 9].

1.8 Therapie

Nach der Diagnosestellung wird je nach Schwere des Befundes eine konservative oder operative Therapie eingeleitet. Ziel ist es, für den Patienten Schmerzfreiheit, Funktionalität des Gelenks und die Mobilität mit einem kongruenten und zentrierten Hüftgelenk wiederzuerlangen, falls dies nicht mehr gegeben ist [15].

In Abb. 1 ist ein Algorithmus für das Behandlungsvorgehen am Olgahospital (Stand 2020) dargestellt. Hierbei richtet sich die Kernentscheidung vorerst nach dem erhaltenen Containment, der Funktion und dem Skeletalter. Ergänzend zu einer Traktionsbehandlung durch physiotherapeutisches Fachpersonal bestehen bei erhaltenem Containment die Optionen einer Botulinumtoxininjektion oder einer Adduktorenentomie. Bei nicht-gegebenem Containment ist das Skeletalter mit der erhaltenen Funktionalität und einem ausgeprägten radiologischen Befund für die Intervention richtungsweisend. So tendiert man bei Patienten, die jünger als sechs Jahren sind und eine Lateralisation des Hüftkopfes bei erhaltener Ménard-Shenton-Linie aufweisen, zu einer Intertrochantären Varisationsosteotomie oder einer Beckenosteotomie nach Salter. Bei Patienten mit einem Lebensalter ab sechs Jahre und einer Hüftkopf-Lateralisation mit unterbrochener Ménard-Shenton-Linie kann eine Dreifachbeckenosteotomie durchgeführt werden. Bei ausgeprägtem Krankheitsbild kann ein hypercontainmentbringendes Operationsverfahren mit einer Kombination aus einer Beckenosteotomie und einer proximalen Femurosteotomie infrage kommen. Patienten, die unter einem Hinge-abduktion-Phänomen bei nicht erhaltener Hüftkopfüberdachung leiden, rät man zu einer Valgisationsosteotomie. Für die Spätfolgen und die damit verbundenen, teils schwerwiegenden Beschwerden, sieht man eine Trochanterapophyseodese, eine Trochanterdistalisierung oder eine Schenkelhalsverlängerungsosteotomie vor.

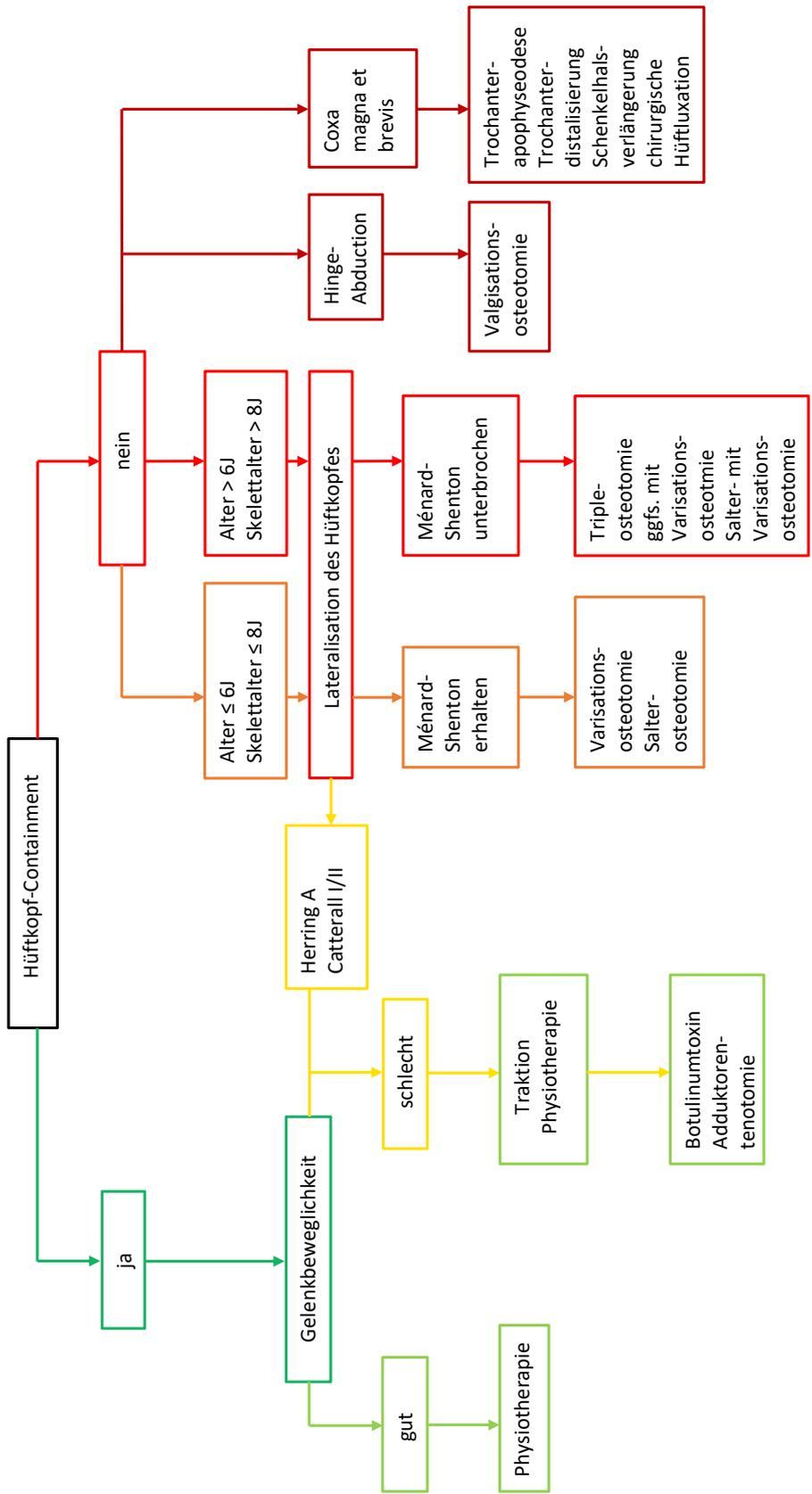


Abb. 1 Behandlungsalgorithmus des Morbus Perthes am Olgahospital 2020

1.8.1 Konservative Therapie

Als konservatives Verfahren eignen sich Schonung, Entlastung durch Unterarmgehstützen oder durch einen Rollstuhl, Physiotherapie, Analgetika und Antiphlogistika. Diese dienen der Schmerzreduktion und Funktionsverbesserung und können nach, vor oder gegebenenfalls auch anstatt einer „Containment“- oder auch einer „Non-Containment“-Therapie erfolgen. Der Einsatz einer medikamentösen Schmerztherapie kann vor allem bei einem schmerzhaften Hüftgelenkserguss erforderlich sein.

In der Physiotherapie wird eine Kräftigung der Glutealmuskulatur, ein Training für die Abduktions- und Innenrotationsbewegungen und eine Gangschulung angestrebt [15].

Laut einer Studie von Suda et al. mit dem Titel „Osteonekrotische Erkrankungen in der Pädiatrie“, kann bei einem Morbus Perthes in einem frühen Krankheitsstadium bei noch unauffälligem röntgenologischem Befund zusätzlich eine Verschreibung von vasoaktiven Prostacyclin-Analoga sinnvoll sein. Hierbei wurde Ilomedin an 13 Patienten mit Morbus Perthes geprüft und als hilfreich, jedoch bei bisher fehlenden Langzeitergebnissen, eingestuft [23, 24].

1.8.2 Operative Therapie

Die operative Therapie des Morbus Perthes strebt das Containment an, welches als Wiederherstellung der Zentrierung der Articulatio coxae verstanden wird. Um ein optimales Operationsergebnis zu erlangen, sollte in einem frühen Erkrankungsstadium gehandelt werden, da für die kindliche Hüfte vor der Ausreifung bessere Wiederherstellungsmöglichkeiten bestehen [25].

Je nach Operationstechnik bieten entweder das proximale Femur oder das Os coxae durch Neupositionierung eine Wiedererlangung des Containments.

Zu den einfachen Containmentverfahren zählen die Intertrochantäre Varisationsosteotomie und die Beckenosteotomie nach Salter, wohingegen die Dreifachbeckenosteotomie und Kombination einer Intertrochantären Varisationsosteotomie mit einer der genannten Beckenosteotomien zu den effektstärkeren Methoden zählen.

Bei Patienten, die jünger als sechs Jahre alt sind, kann eine Intertrochantäre Varisationsosteotomie ausreichend sein [18].

Eine Kombination aus einer Dreifachbeckenosteotomie und einer Intertrochantären Varisationsosteotomie kann bei massiver Dezentrierung und sekundärer Beteiligung des Azetabulums notwendig sein und gilt als Maximaltherapie [18].

1.9 Sportfähigkeit

Je nach Erkrankungsstadium und individuellem Krankheitsverlauf sollte auf entsprechende sportliche Aktivität geachtet werden.

Schwimmen, Fahrradfahren und Sportarten, die mit geringer Krafteinwirkung auf die betroffenen Hüften die Beweglichkeit fördern, sind zu empfehlen. Kontaktsportarten und für das Hüftgelenk belastende Sportarten durch Stauchung sollten während der akuten Krankheit gemieden werden [9]. Da die Bewegung für das Hüftgelenk gut ist und diese auch für die soziale Integration von Kindern förderlich sein kann, sollte von einer dauerhaften Sportkarenz abgeraten werden [9].

1.10 Prognose

In der Literatur wird der Verlauf des Morbus Perthes als schicksalhaft und wenig beeinflussbar beschrieben [20].

Das Alter bei Erkrankungsbeginn spielt hinsichtlich der Prognose eine Rolle. So ist der Verlauf und die Prognose bei einem Erkrankungsalter von sechs Jahren und älter deutlich schlechter als bei jüngeren Patienten [15]. Je später die Erkrankung eintritt, desto mehr hat die Fähigkeit zur Remodellierung bereits nachgelassen, da der epiphysäre Knorpelanteil bereits kleiner geworden ist [18]. Eine ebenso ungünstige Prognose haben Patienten mit lateraler Kalzifizierung, einer Subluxation, einem Herring-Stadium B/C oder C, weiblichem Geschlecht, mit schlechter Beweglichkeit und einer metaphysären Beteiligung. Dabei spielt Letztere prognostisch in der Aufzählung eine geringere Rolle [26-28].

1.11 Langzeitkomplikationen

Im Langzeitverlauf spielt das Ausmaß der Deformität des Hüftgelenks im ausgeheilten Stadium eine wichtige Rolle. Der ausgeheilte Morbus Perthes kann mit einer Walzen- oder Pilzform des Femurkopfes mit abgeflachtem Azetabulum,

einer Coxa magna, einer Coxa plana oder einer Arthrosis deformans einhergehen. Eine Ausheilung ohne Formveränderung ist ebenso möglich [2].

Die Folgen einer Coxa vara mit einem Trochanterhochstand sind eine häufige Langzeitkomplikation. Es kommt durch die Verkürzung des Schenkelhalses zu einer Glutealmuskulaturinsuffizienz mit einem Trendelenburghinken und zu einem Verkürzungshinken aufgrund der reduzierten Gesamtlänge des Beines [18]. Resultate können notwendige Folgeoperationen, wiederkehrende Schmerzen und Mobilitätseinschränkungen sein.

1.12 Grundlagen

Für die Beurteilung des Krankheitsverlaufes und des bereits auskurierten Zustandes eignen sich klinische und radiologische Parameter. Diese gewährleisten zusätzlich Vergleiche und eine Wiederholbarkeit. Die Parameter können in Ausgangs-, Verlaufs- und Ergebnisparameter unterteilt werden. Um eine Gleichheit zu schaffen, kann die Zeit bei einem Patienten zum Beispiel präoperativ, postoperativ und auch zum Zeitpunkt einer Nachuntersuchung, in der das ausgeheilte Stadium ausreichend beurteilbar ist und die akute Phase bereits überstanden ist, aufgegliedert werden.

1.12.1 Klinische Parameter

1.12.1.1 Trendelenburgzeichen

Ein Trendelenburgzeichen kann bei Patienten mit einer schwachen pelvitrochantären Muskulatur beobachtet werden. Vor allem eine Insuffizienz der Abduktoren spielt bei dieser Störung im Gangbild eine große Rolle. Der Patient kann aufgrund der Muskelschwäche das Becken im Gehen nicht horizontal in der Waage halten und senkt es auf die Seite des Spielbeines ab.

Eine verkürzte Strecke zwischen Muskelansatz und Ursprung kann hierfür eine Ursache sein, dass der Muskel sein komplettes Wirkspektrum nicht entfalten kann. Dies tritt zum Beispiel bei einem Trochanterhochstand, einer Deformität im Hüftgelenk oder bei einem dementsprechenden Trauma bedingten Resultat auf.

1.12.1.2 Duchenne-Hinken

Ähnlich wie beim Trendelenburgzeichen ist auch bei einem Duchenne-Hinken die Hüftebene im Gehen schief zur Seite des schwingenden Beines verlagert. Zum Ausgleich dieser Fehlhaltung kippt der Oberkörper des Patienten auf die Seite des Beines mit Bodenkontakt. Im Bewegungsablauf entsteht ein hinkendes Gangbild, das Duchenne-Hinken.

1.12.1.3 Harris-Hip-Score

In der Ausgabe des „The Journal of Bone and Joint Surgery“ im Januar 1969 stellte William H. Harris den Harris-Hip-Score an Patienten mit traumatischen Arthritiden nach Dislokationen und Azetabulumfrakturen vor [29]. Der Score dient als Instrument, um das Befinden und die Mobilität eines hüftkranken Patienten zu veranschaulichen und ermöglicht einen intra- und interpersonellen Vergleich. Die Schwerpunkte liegen dabei auf Schmerz, Funktion, Beweglichkeit und Deformitäten (Tab. 1). Insgesamt können 100 Punkte erzielt werden, wobei die Gewichtung durch die unterschiedliche Verteilung auf die Schwerpunkte gesetzt wird.

Tab. 1 Punkteverteilung Harris-Hip-Score

KATEGORIE	PUNKTE
Schmerz	44
Funktion	47
Beweglichkeit	5
Deformität	4
GESAMT	100

Die Deformität und die Mobilität werden vom Untersuchenden ausgefüllt, hingegen kann der Rest des Scores vom Patienten bewertet werden.

Der Harris-Hip-Score wurde später modifiziert und die Punkterhebung der Kategorien Beweglichkeit und Deformität für den Erfasser praktikabler gestaltet,

da Additionen und Multiplikationen der Bewegungsgrade, wie sie im Original beschrieben sind, durch addierte Summen ersetzt wurden [30, 31].

Harris-Hip-Score

Kriterien	Punkte
1. Schmerz	44
2. Funktion	
2.1 <u>Gehen</u>	
2.1.1 Hinken	11
2.2.2 Hilfsmittel	11
2.2.3 Entfernungen	11
2.2 <u>Aktivität</u>	
2.2.1 Treppen steigen	4
2.2.2 Schuhe und Socken anziehen	4
2.2.3 Sitzen	5
2.2.4 Öffentliche Verkehrsmittel verwenden	1
3. Deformität	
3.1 Flexionskontraktur weniger als 15°	1
3.2 Fixierte Adduktion bei <10°	1
3.3 Innenrotation in Extension <10°	1
3.4 Beinlängendifferenz weniger 3 cm	1
4. Beweglichkeit in allen Ebenen	5
300-210° 209-160° 159-100° 99-60° 59-30° 29-0°	

Abb. 2 Übersicht zur Punktevergabe des Harris-Hip-Scores [29, 30]

Im Fragebogen wird bei der Bewertung von Schmerzen zusätzlich die Aktivität und der Bedarf an Schmerzmittel miteinbezogen. Dies erweitert das erfragte Spektrum und hilft Punkte zu vergeben, falls die Subjektivität des Schmerzes allein nicht aussagekräftig genug ist.

Bei der Erfragung der Funktion zielt der Harris-Hip-Score auf zwei große Kernbereiche ab: die Gehfähigkeit und die Flexibilität von Aktivitäten.

Es wird vom Erfasser oder gegebenenfalls direkt von den Patienten die Intensität des Hinkens durch die Adjektive „leicht, mäßig, schwer“ erfragt. Ebenso umfasst die Kategorie „Gehen“ auch die Benutzung von möglichen Hilfsmitteln wie Gehstöcke, Unterarmgehilfen und deren zeitliche Notwendigkeit. Die Entfernung, die der Patient zu Fuß zurücklegen kann, wird durch verschiedene Distanzen eingruppiert, wie zum Beispiel „zwei Kilometer“, „200 bis 500 Meter“, „nur in der Wohnung“ oder Immobilität auf einem „Stuhl“ oder im „Bett“.

Die Aktivität und die damit beschriebene Flexibilität wird in der Punktevergabe ebenfalls abgedeckt. Hierbei zählt das Treppensteigen mit oder ohne Hilfsmittel, das Sitzen auf Stühlen jeglicher Höhe über eine gewisse Zeit oder auch die Fähigkeit, Schuhe oder Strümpfe ohne Probleme anzuziehen, was das Beugevermögen in den Hüften indirekt abfragt.

Die beiden letzten Kategorien sollten von einem Untersuchenden ausgefüllt werden, da die Bewertung der Gradzahlen von möglichen Kontrakturen, eine vorhandenen Beinlängendifferenz (im Bereich größer oder kleiner drei Zentimeter) oder auch die Mobilität nach der Neutral-Null-Methode in allen Ebenen (gemeint ist Flexion, Extension, Abduktion, Adduktion, Innen- und Außenrotation) Fachkenntnisse voraussetzt [29, 30]. Die in der Arbeit verwendete Version ist ausführlich im Anhang hinterlegt.

1.12.2 Radiologische Parameter

1.12.2.1 Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring

Die Klassifikation nach Herring wird an einem Röntgenbild in anterior-posteriorem Strahlengang angewandt und unterteilt den Femurkopf in drei Säulen. Bewertet wird der intakte Knochenanteil nach der Höhe.

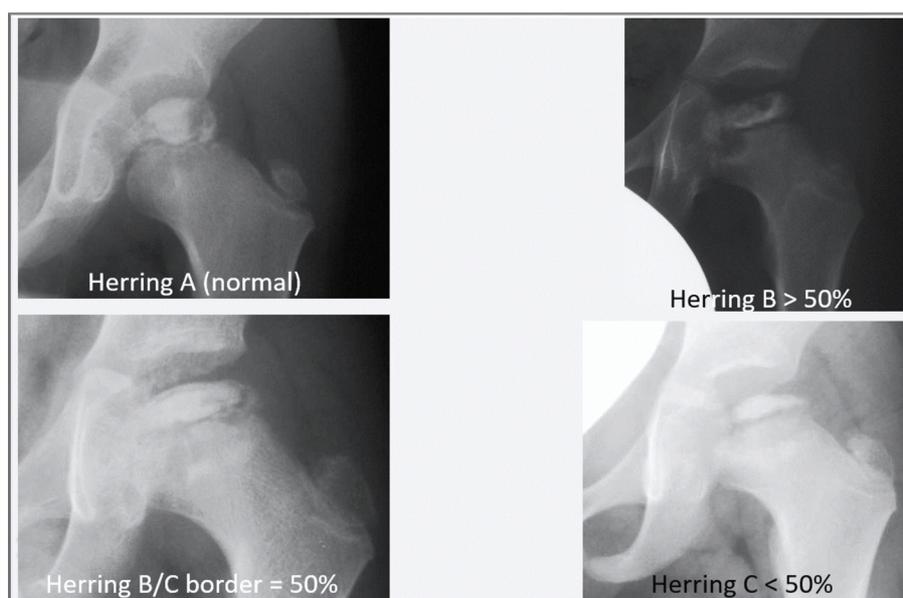


Abb. 3 Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring

- Gruppe A: laterale Säule nicht betroffen
- Gruppe B: > 50% der lateralen Säule erhalten
- Gruppe B/C: 50% erhalten, schlechte Ossifikation der lateralen Säule
- Gruppe C: < 50% der lateralen Säule erhalten

Die Gruppe B/C soll eine Einteilung von einem Grenzbefund ermöglichen und wurde später ergänzt [32].

Laut Herring et al. bietet die Klassifikation einen Rückschluss auf die Prognose. Hierbei spricht ein guter Zustand der lateralen Säule für ein Ausbleiben von prognoserelevanten Hüftkopfdeformitäten und Subluxationsphänomenen [33, 34].

1.12.2.2 Klassifikation nach Salter und Thompson

Die Klassifikation nach Salter und Thompson bewertet den Hüftkopf anhand eines Röntgenbildes im Axialschnitt und eines Röntgenbildes mit a.p.-Strahlengang. Es soll die subchondrale Fraktur bewertet werden, die aufgrund eines Zerfalls des trabekulären Grundgerüsts entsteht. Diese ist jedoch nur in den ersten Wochen der Erkrankung sichtbar und kann je nach Stadium schwer beurteilbar sein.

- Gruppe A: die subchondrale Fraktur reicht bis < 50% der Fläche des Hüftkopfes
- Gruppe B: die subchondrale Fraktur entspricht in seinem Ausmaß > 50% der Fläche des Hüftkopfes

Es lassen sich Parallelen zwischen der Salter-Thompson-Klassifikation und der Catterall-Klassifikation ziehen. Gruppe A nach Salter-Thompson entspricht, bezogen auf die Ausbreitung, Catterall-Gruppe 1 und 2 und Gruppe B nach Salter-Thompson der Catterall-Gruppe 3 und 4 [9].

1.12.2.3 Klassifikation nach Catterall

Die Klassifikation nach Catterall beschreibt das Ausmaß der Nekrose anhand der Morphologie.

- „Gruppe I: anterolaterale Beteiligung ohne Sequester und subchondrale Fraktur (25% der Hüftkopfepiphyse ist betroffen)

- Gruppe II: anterolateraler Sequester, anterolaterale metaphysäre Reaktion und subchondrale Fraktur in der vorderen Hälfte vorhanden (50% der Hüftkopfepiphyse betroffen)
- Gruppe III: großer Sequester, sklerotische Abgrenzung zu vitalen Restanteilen, Metaphysenbeteiligung, subchondrale Frakturlinie auch in der hinteren Hälfte der Epiphyse (75% der Hüftkopfepiphyse betroffen)
- Gruppe IV: Beteiligung des gesamten Hüftkopfes, dorsal Zeichen der Remodellierung (100% der Hüftkopfepiphyse betroffen, aber auch weite Teile der Metaphyse)“ [15]

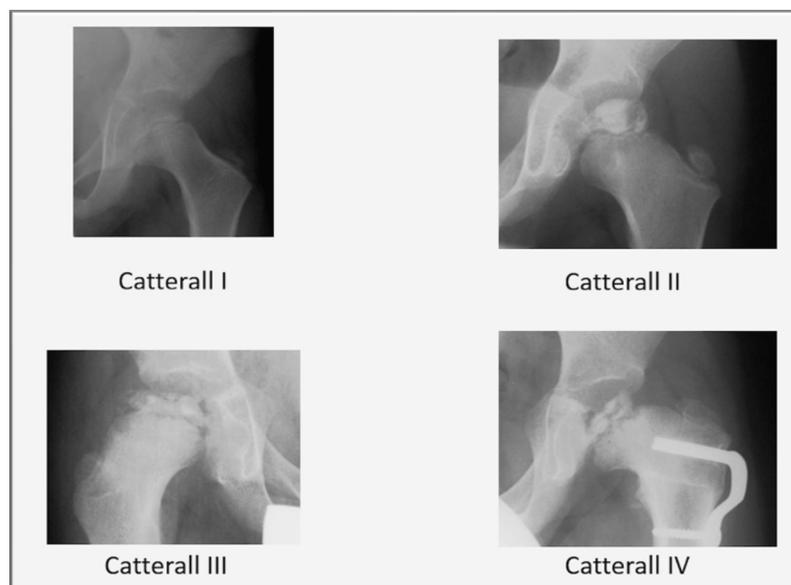


Abb. 4 Klassifikation nach Catterall

„I nur anterolateraler Anteil betroffen, II vorderes Drittel oder Hälfte des Femurkopfes involviert, III bis zu 3/4 des Femurkopfes betroffen, nur dorsalster Teil intakt, IV ganzer Femurkopf betroffen“ [20]

In der Studie von Dickens und Menelaus wurde die Catterall-Klassifikation für die Prognose als relevant eingestuft. So haben Patienten der Zuteilung Gruppe I und II eine bessere Prognose als Patienten der Gruppe III und IV. Die Prognose wird mit zunehmender Stufe schlechter [32, 34-36].

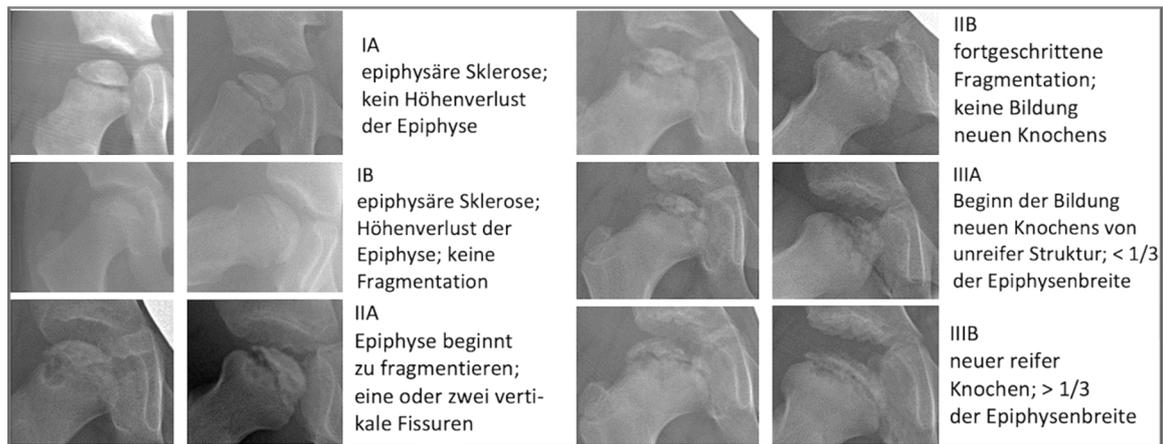


Abb. 5 modifizierte Einteilung nach Waldenström in Anlehnung an Hyman et al. [37]

Stadium IV, welches in der Abbildung nicht vorhanden ist, beschreibt eine vollständige Heilung ohne einen Hinweis auf Nekrosen.

1.12.2.5 Verbreiterung des Gelenkspaltes

Das Abmessen der Distanz zwischen der Köhler-Tränenfigur und der medialen Epiphyse im a.p.-Röntgenbild kann als Nachweis eines verbreiterten Gelenkspaltes dienen. Im Englischen wird diese Messung „teardrop distance“ genannt.

Ist der Gelenkspalt verbreitert, kann es zu einer Subluxation im Hüftgelenk kommen und einem daraus resultierenden Überdachungsdefizit. Neben Schmerzen und Bewegungseinschränkungen kann das Caput femoris deformiert

werden. Das Bemessen der Distanz auf beiden Körperseiten lässt einen Seitenvergleich zu und gibt Auskunft über das Verhältnismaß.

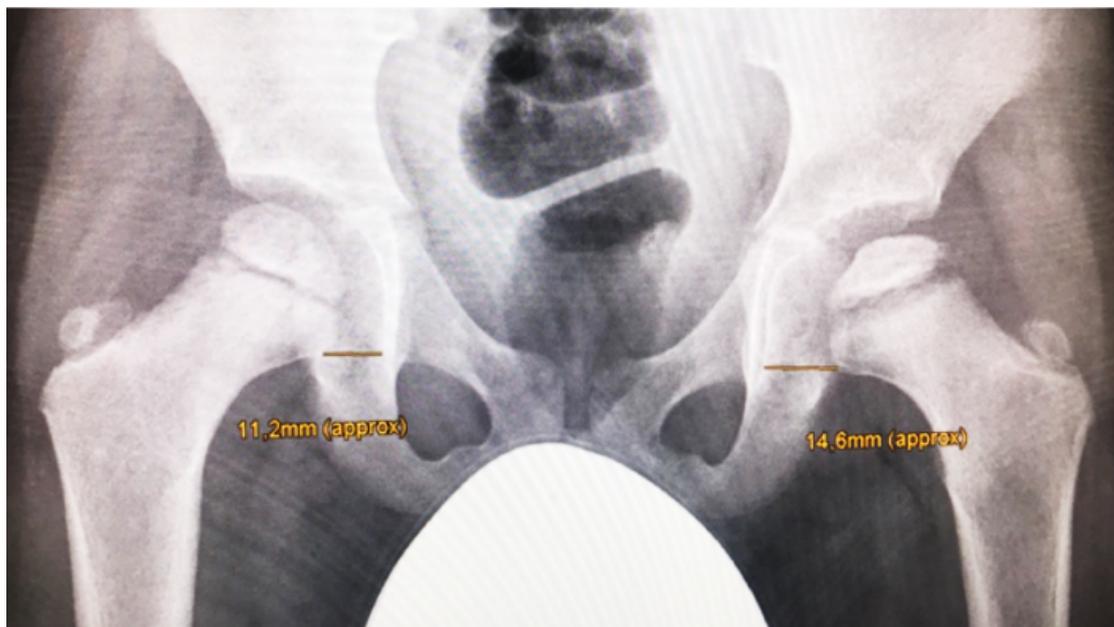


Abb. 6 Distanz zwischen der Köhler-Tränenfigur und der medialen Epiphyse

Reinker und Larsen haben 1983 in ihrem Artikel einen verbreiterten Gelenkspalt ab einem Unterschied im Seitenvergleich von 2-3 mm beschrieben. Die

Längendifferenz im Seitenvergleich ist demnach auch mit dem klinischen Verlauf steigend und kann sich bei geringer Ausprägung mit einer erreichten Knochenreife durch die Verlängerung der medialen Epiphyse in der Ossifikation zurückbilden [38].

1.12.2.6 Ménard-Shenton-Linie

Maxime Ménard und Edward Shenton beschrieben das radiologische Kriterium als eine verlängerte, bogenförmige Linie zwischen dem Ramus superior ossis pubis und dem medialen Schenkelhals. Die Linie sollte ohne Stufenbildung im Röntgenbild in der Hüftgelenksübersicht zu erkennen sein und kann bei Unterbrechung Hinweis auf eine dezentrierte, luxierte Hüfte sein.

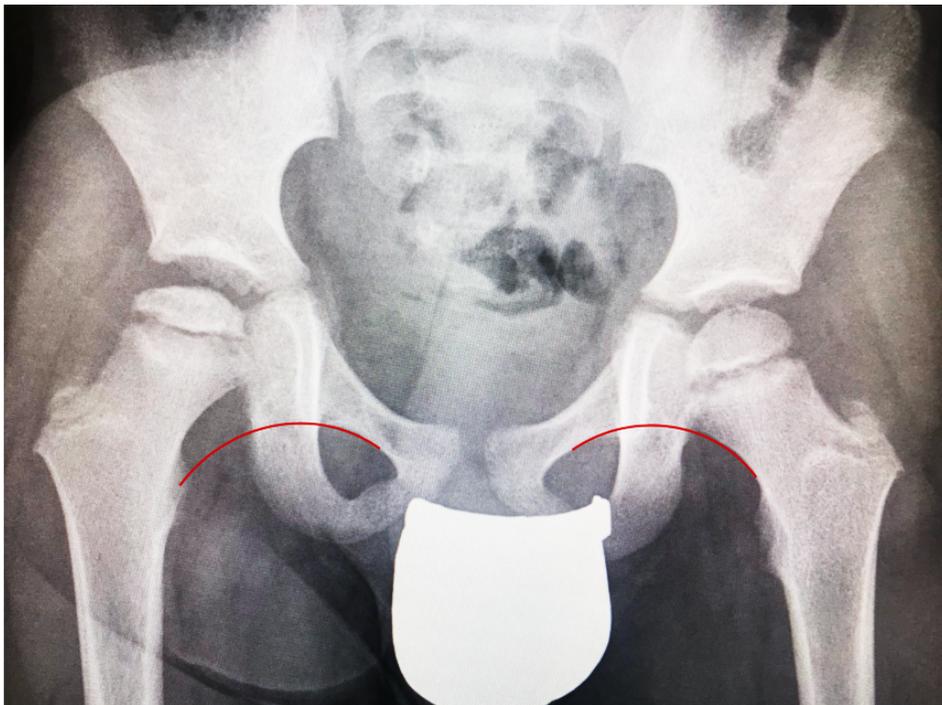


Abb. 7 Ménière-Shenton-Linie

rechte Seite unterbrochene Ménière-Shenton-Linie, linke Seite unauffällig

Laut Ball und Kommenda (1968) kann die Ménière-Shenton-Linie eine Stufe nach cranial bei einer Lordose, bei einer Hüftadduktion und einer Anteversion des Femurs aufweisen [39]. Eine Stufenbildung nach caudal kann folglich bei einer

Kyphose, einer Hüftabduktion und einer Retroversion des Femurs auftreten. Patienten, die zum Beispiel unter einer Beugekontraktur leiden, können somit anhand der Ménard-Shenton-Linie nur eingeschränkt beurteilt werden.

1.12.2.7 Migrationsindex nach Reimers

1980 beschrieb J. Reimers seinen Migrationsindex, der ursprünglich der Einschätzung der Verschiebung von Hüftköpfen nach lateral aus der Gelenkpfanne bei Patienten mit Zerebralpareesen und Meningomyelozelen dienen sollte. Der sichtbare Anteil des Femurkopfes, der in einer a.p.-Röntgenaufnahme über den Azetabulumrand hinausgewandert ist, wird mit dem Index beschrieben und wird mithilfe einer horizontalen Linie, die von senkrecht stehenden Linien auf Höhe der lateralen und medialen Kanten des Femurkopfes und der Perkins-Linie geschnitten wird, bemessen. Die Perkins-Linie ist eine senkrecht gezogene Linie durch die Außenkante des Azetabulums. Die Angabe erfolgt in Prozent und gesunde Hüften werden kleiner 22% eingestuft [20, 40].

$$\text{Migrationsindex} = \frac{a}{a+b} \cdot 100$$

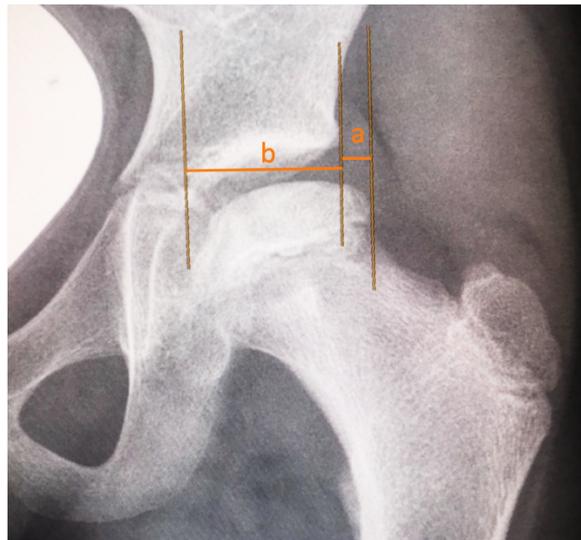


Abb. 8 Migrationsindex nach Reimers 1

In Reimers „The stability of the hip in children“ wird eine Subluxation der Hüfte definitionsgemäß ab 33% beschrieben. Die Dislokation ist definiert mit 100%.

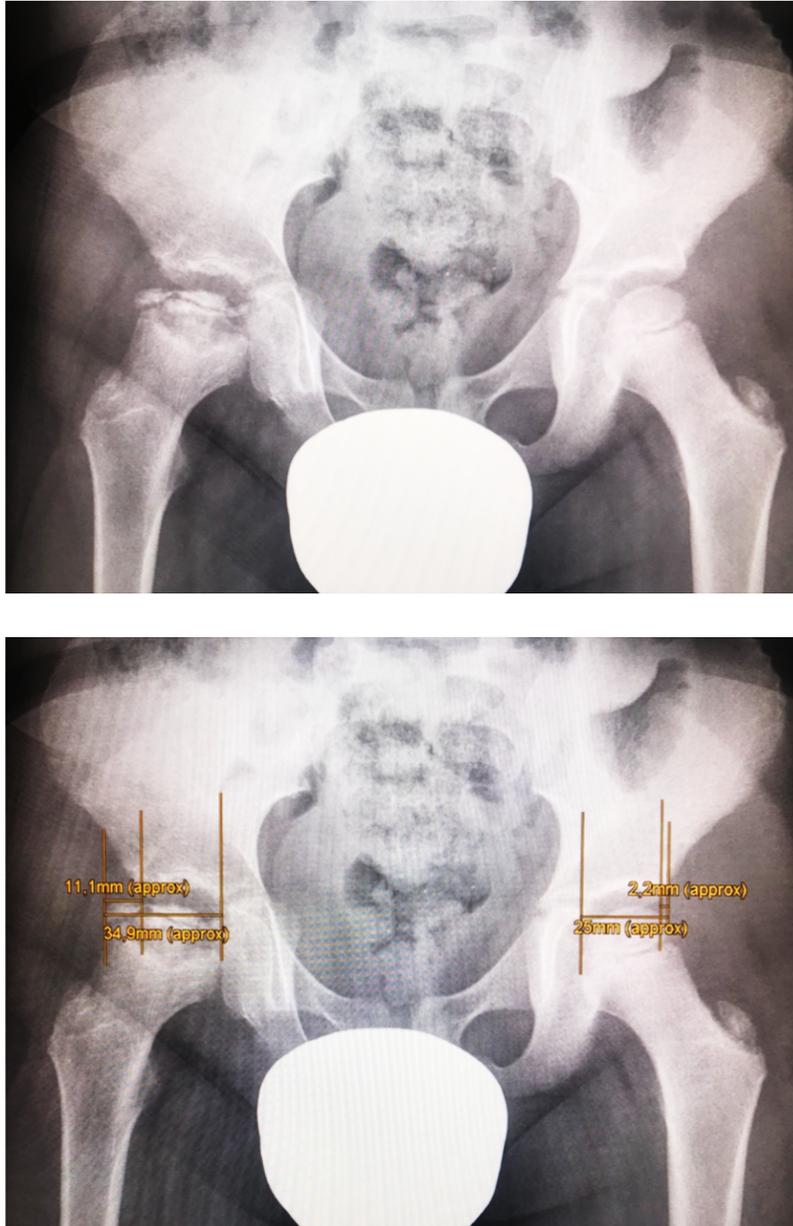


Abb. 9 Migrationsindex nach Reimers 2

$$\text{für Rechts: } MI = \frac{11,1mm}{34,9mm} \cdot 100 = 31,81\%$$

$$\text{für Links: } MI = \frac{2,2mm}{25,0mm} \cdot 100 = 8,8\%$$

1.12.2.8 Epiphysenindex nach Heyman und Herndon

Der Epiphysenindex ist Teil einer Veröffentlichung von Heyman und Herndon aus dem Jahr 1950.

Er setzt sich wie folgt aus Breite und Höhe der Epiphyse zusammen und dient der Einschätzung der Abflachung der Epiphyse.

$$\text{Epiphysenindex} = \frac{\text{Epiphysenhöhe}}{\text{Epiphysenbreite}}$$

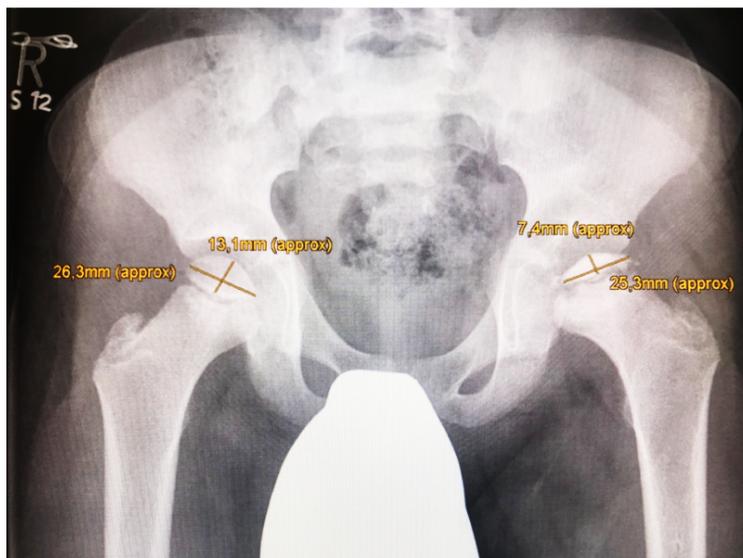
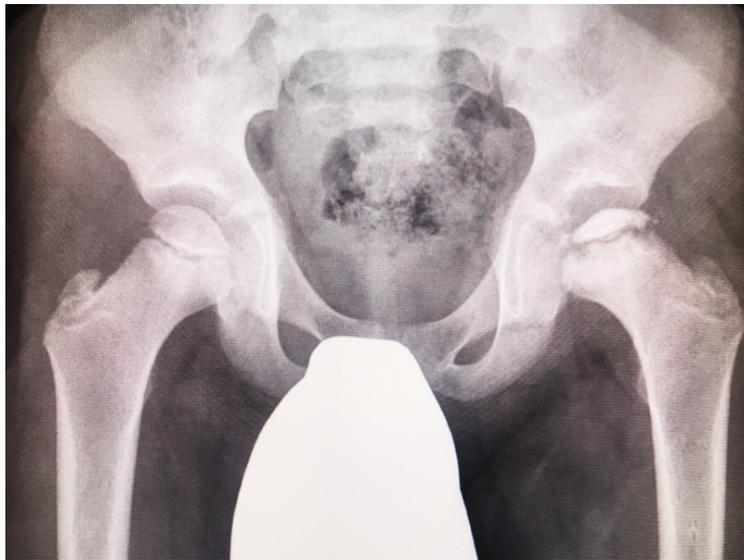


Abb. 10 Epiphysenindex

rechte Seite = 0,50 und linke Seite = 0,29

Heyman und Herndon beschrieben zusätzlich den Epiphysenquotienten:

$$\text{Epiphysenquotient} = \frac{\text{Epiphysenindex (erkrankte Seite)}}{\text{Epiphysenindex (gesunde Seite)}}$$

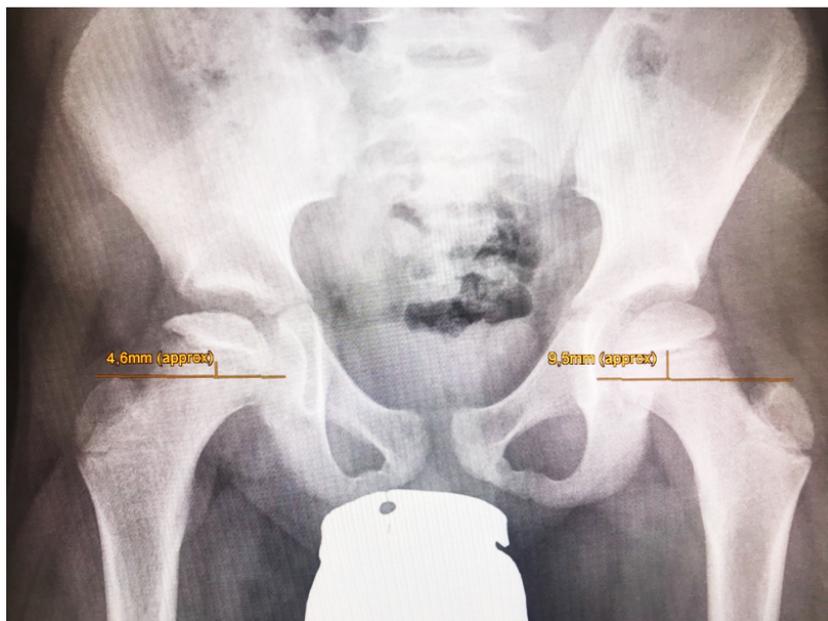
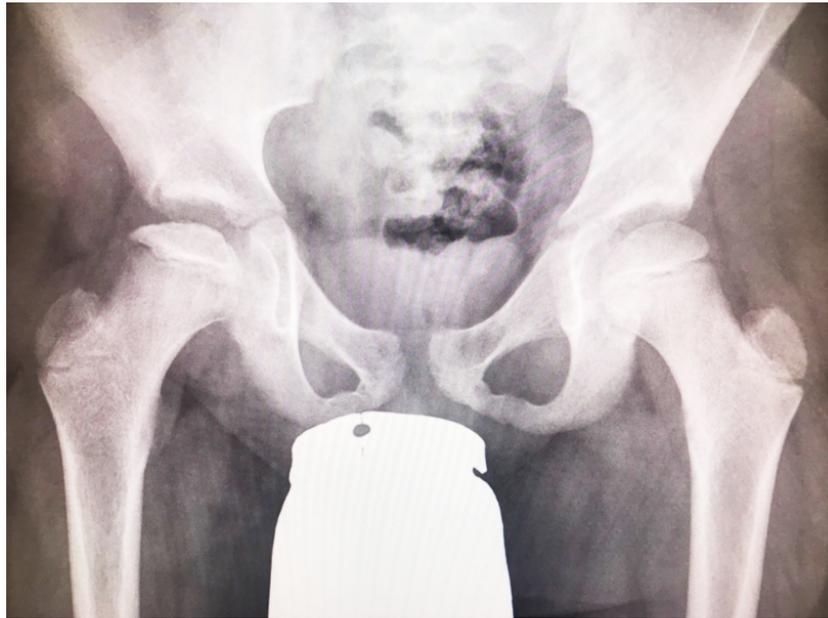
Für das Beispiel aus Abb. 10 gilt: $\text{Epiphysenquotient} = \frac{0,29}{0,50} = 0,58$

Für den Epiphysenquotienten gilt laut Kumar et al. [41]:

- > 0,6: gutes Ergebnis
- 0,4- 0,6: ausreichendes Ergebnis
- < 0,4: schlechtes Ergebnis

1.12.2.9 Centrotrochantäre Distanz

Die Centrotrochantäre Distanz (CTD) ist ein gemessener Parameter in einer Beckenübersichtsaufnahme mit Strahlencentrierung auf die Symphyse, der die Distanz zwischen dem Femurkopffzentrum und der Spitze des Trochanter majors meint. Diese Distanz kann, je nach Längenverhältnis des Schenkelhalses zum Trochanter major, negative oder positive Werte annehmen. Positive Werte sprechen dafür, dass die Spitze des Trochanter majors unterhalb des Niveaus des Femurkopffzentrums liegt. Im negativen Wertebereich liegt ein Trochanterhochstand vor.



*Abb. 11 Centrotrochantäre Distanz
rechte Seite 4,6 mm und linke Seite 9,5 mm*

Die Perthes-Erkrankung per se verändert die CTD aufgrund eines verminderten Schenkelhalswachstums. Morphologische Veränderungen, wie beispielsweise die Coxa magna et brevis, können durch das Hochstehen des Trochanter majors und der beschriebenen Minderung des Schenkelhalswachstums eine negative

CTD mit sich bringen. Kommt es zusätzlich zu einer Varisierung, kann der Wert der CTD zusätzlich verschlechtert werden.

1.12.2.10 Klassifikation nach Stulberg

Die Einteilung des Hüftgelenks nach Stulberg wird an einem Röntgenbild im a.p.-Strahlengang im bereits ausgeheilten Stadium angewandt. Hier wird die Hüftkopf-, die Hüftpfannenform und die Kongruenz beider zueinander bewertet.

Folgende Stadien sind nach Stulberg bekannt:

- I. runder Kopf, normale Hüfte
- II. runder Kopf, Coxa magna
- III. ovaler Kopf, Coxa magna
- IV. flacher Kopf, Kongruenz mit Azetabulum
- V. flacher Kopf, Inkongruenz mit Azetabulum [15]

Das Risiko einer Arthrose ist mit den Stadien steigend [42].

1.12.3 Operative Containment-Therapie

Die operative Containment-Therapie hat eine korrekte Überdachung des Hüftkopfes zum Ziel, um eine optimale Beweglichkeit und Belastbarkeit des Gelenkes ohne Spätfolgen anzustreben. Eine Subluxation oder auch eine Lateralisation der Articulatio coxae kann bei der Ausprägung eines Morbus Perthes vorhanden sein und sollte behandelt werden.

Operativ kann das Containment über eine Korrektur am Femur oder am Os coxae erlangt werden. Dabei sind die Beckenosteotomien in dieser Arbeit auf die einfache Beckenosteotomie nach Salter und die Dreifachbeckenosteotomie nach Tönnis beschränkt.

1.12.3.1 Beckenosteotomie nach Salter

Eine Indikation für eine Salter-Beckenosteotomie besteht bei unzureichendem Containment, bei luxierten Hüften und bei bereits abgeflachten Hüftgelenkspfannen. Voraussetzung ist, dass das Hüftgelenk keine ausgeprägten Deformitäten aufweist und eine knöcherne Bewegung durch eine Abduktion und eine Innenrotation mit dem Einsinken des Caput femoris in das Azetabulum möglich ist. Dabei ist essenziell, dass die Symphyse noch flexibel und anpassungsfähig ist, was bei einer Operation im Kindesalter gegeben ist.

Der Operationszugang wird inguinal bei Rückenlagerung des Patienten geschaffen.

Das Prinzip der Beckenosteotomie nach Salter beinhaltet einen Querschnitt des Os iliums, oberhalb des Azetabulums zwischen Spina iliaca anterior inferior und dem Foramen ischiadicum majus. Dabei wird eine Drehung des distalen Fragmentes des Os ilium möglich und es kommt zum Containment des Caput femoris durch das Azetabulum.

Zur Fixierung dieser neumodellierten Knochenhaltung ist die Positionierung eines Knochenkeils in der Schnittfläche nötig. Dieser Keil wird durch einen abgetrennten Knochenanteil des frontalen Os iliums gewonnen. Um ungewolltes Reponieren zu verhindern, wird dieser Keil mit zwei Gewindedrähten fixiert.

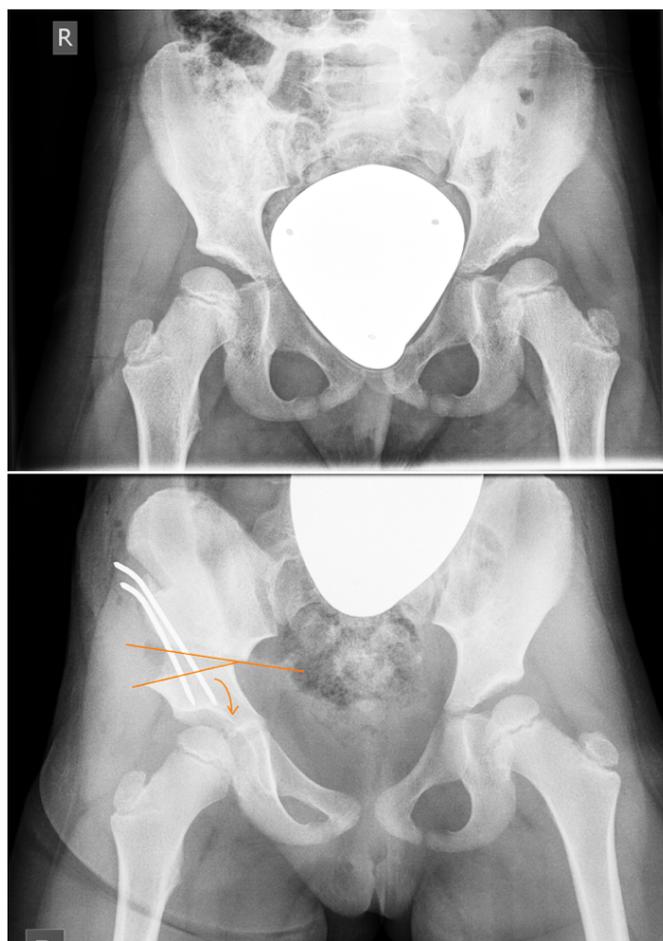


Abb. 12 Beckenosteotomie nach Salter:

Drehung des Azetabulums und Keilentnahme mit Fixation

Der Vorteil bei dieser Operationstechnik ist die vergleichbar einfache Durchführung mit natürlichem Gelenkmaterial.

Ein Nachteil besteht dabei durch die unnatürliche Deformation des Beckens, welche Komplikationen bezüglich Weichteilspannungen mit sich bringen kann. Hierfür ist eine nicht ausgewachsene und noch nachgiebige Symphyse zuträglich.

Außerdem wird durch die Keilentnahme an der Beckenschaufel der Musculus tensor fasciae latae in seinem Ursprung begrenzt, welcher für die Abduktion obligat ist. Ist dies in einem ausgeprägten Fall zutreffend, kann eine Adduktorenentomie notwendig werden [43].

1.12.3.2 Dreifachbeckenosteotomie nach Tönnis

Eine Indikation für eine Dreifachbeckenosteotomie nach Tönnis, auch Tripleosteotomie genannt, besteht bei Patienten mit einem unzureichenden Containment, starken Femurkopfdeformitäten und älteren Patienten, bei denen der Schluss der Epiphysenfugen bereits weiter fortgeschritten und der gesamte Hüftapparat nicht mehr so flexibel wie bei Patienten unter sechs Jahren ist.

Der Operationszugang wird in Seitenlage kontralateral zu der erkrankten Hüfte mit einer Vorwärtsbeugung von 30° geschaffen. Ziel bei der Dreifachbeckenosteotomie ist es, das Azetabulum coxae zu lösen, um ein freies Schwenken zur optimalen Korrektur zu erlangen. Hierfür muss das Ligamentum sacrospinale gelöst werden und das Os ilium, das Os ischii und das Os pubis jeweils durch saubere Schnitte geteilt werden. Mögliche Knochensplitter könnten die Korrektur erschweren oder verhindern und sind deswegen zu vermeiden. Zur korrekten Positionierung der Gelenkpfanne wird eine Schanz-Schraube zur Steuerung verwendet und die Position der korrigierten Pfanne unter einer intraoperativen Bildgebung kontrolliert. Die Osteotomie muss mit Haken gesichert werden und es gilt, eine Verletzung der Blutversorgung und der Hüftpfanne zu vermeiden.

Bei der Einstellung der Kongruenz des Gelenkes sollte keine Überkorrektur erzielt werden, welche mithilfe von Kriterien im Röntgenbild, wie zum Beispiel dem Migrationsindex nach Reimers oder dem Pfannendachwinkel, identifiziert werden kann [18].

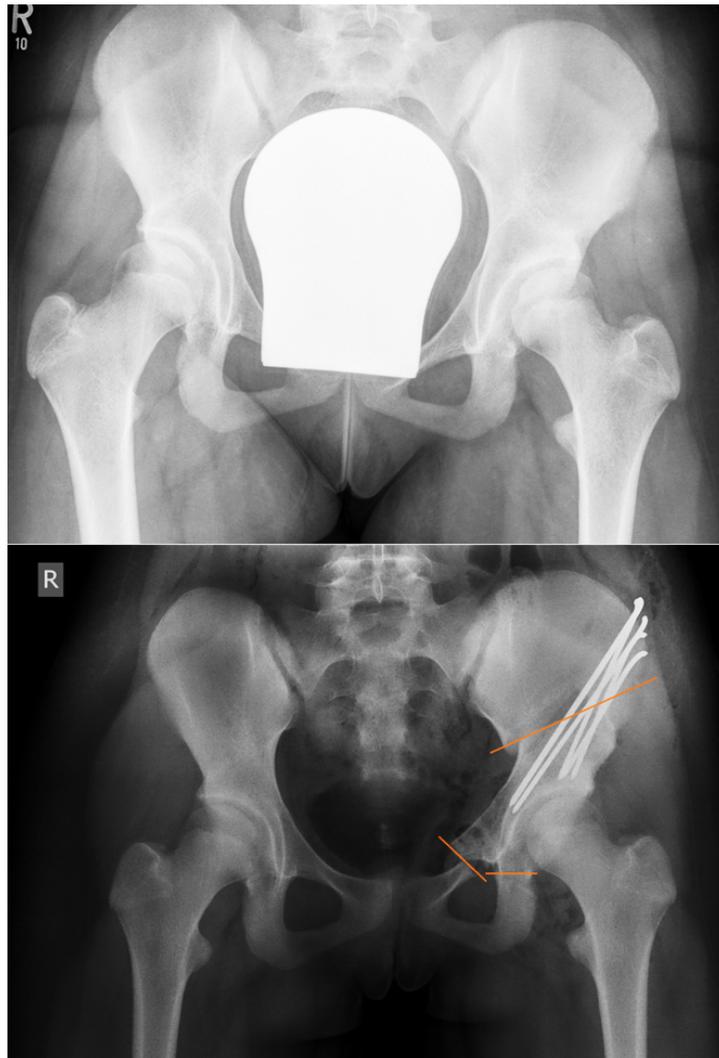


Abb. 13 Dreifachbeckenosteotomie nach Tönnis

1.12.3.3 Intertrochantäre Varisationsosteotomie

Die Intertrochantäre Varisationsosteotomie (IVO) ist ein weiteres Operationsverfahren zur Verbesserung des Containments des Caput femoris mit dem Azetabulum. Bei diesem Verfahren ist Form und Ausmaß des Azetabulums wichtig, da bei einer Dysplasie eine Korrektur am Femur nur bedingt zu einer Überdachung führen kann.

Um einen optimalen Korrekturwinkel für die Operation einzustellen, dienen zwei Markierungsdrähte als richtungsweisende Hilfswerkzeuge und ein Plattensitzinstrument, um die Varisation einzustellen. Das Femur wird parallel zum Plattensitzinstrument durchtrennt und am distalen, medialen Fragment wird

ein Keil abgetragen. Dieser Keil dient der Fixierung des Korrekturwinkels, der an der lateralen Femurseite eingestellt wird. Dabei wird der Osteotomiespalt aufgespreizt und der Keil lateral fixiert. Mithilfe einer Rechtwinkelplatte und eines Plattenspanners wird die korrigierte Position fixiert und komprimiert.

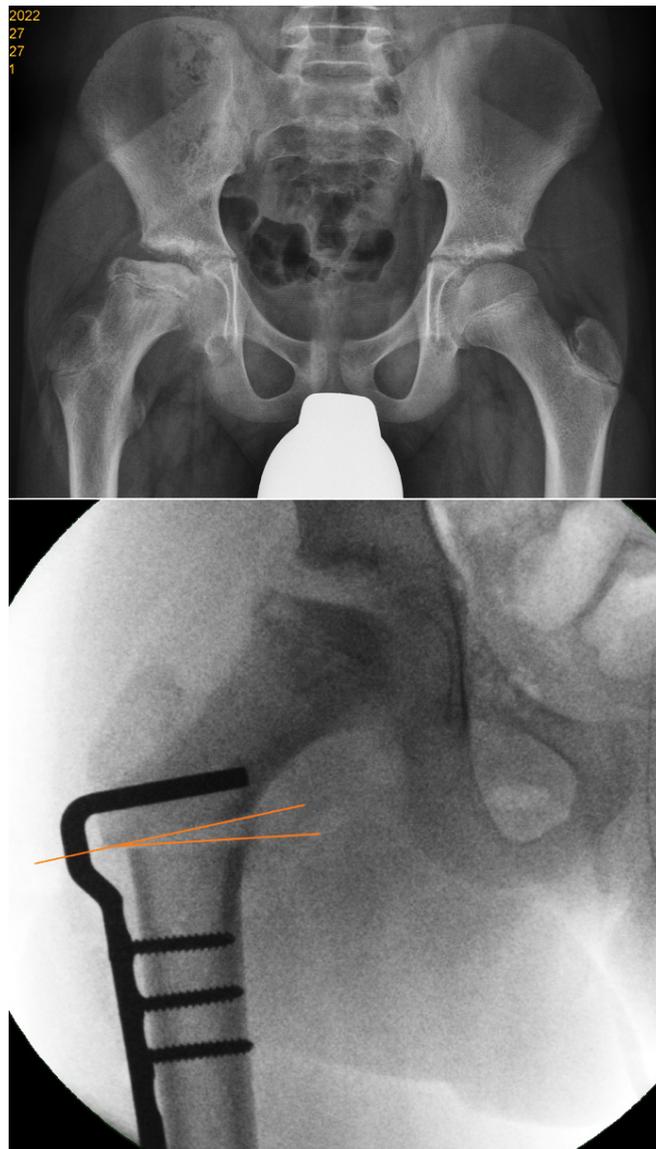


Abb. 14 Intertrochantäre Varisationsosteotomie

Vorab kann eine Planungszeichnung als Schablone und zur Korrekturerleichterung dienen. Mithilfe des bekannten Vergrößerungsmaßstabes

kann der Operateur die Längenverhältnisse kalkulieren und auch infrage kommende Implantate und Winkelplatten bedenken.

Bei der beschriebenen Operation kann durch die Korrektur eine Beinlängendifferenz die Folge sein. Es sollte eine Überkorrektur vermieden werden, da die hieraus resultierende vermehrte Beinlängenverkürzung im späteren Verlauf weitere Beschwerden und Komplikationen verursachen kann.

Durch die Veränderung der anatomischen Lage des Trochanter majors kann es zudem zu einer Entspannung der pelvitrochantären Muskulatur kommen, die bis hin zur muskulären Hüftinsuffizienz führen kann. Eine Versetzung des Trochanter majors nach distal kann die anatomische Ursprungsposition sichern und eine Funktionseinbuße verhindern [43].

1.12.3.4 Kombinierte Interventionen

Eine weitere Option für ein operatives Containment-Verfahren ist die Kombination einer Beckenosteotomie mit einer Femurosteotomie. In diesem Fall wurde entweder die Intertrochantäre Varisationsosteotomie mit einer Tripleosteotomie kombiniert oder eine Intertrochantäre Varisationsosteotomie mit einer Beckenosteotomie nach Salter. Durch diese kombinierten Interventionen kann ein Hypercontainment geschaffen werden, das laut Mosow et al. gegenüber einem einzelnen Verfahren überlegen ist [44].

Durch die Kombination einer IVO mit einer Beckenosteotomie nach Salter wird im Gegensatz zur alleinigen Beckenosteotomie das Risiko für Spätkomplikationen aufgrund einer intraartikulären Druckerhöhung und einer größeren Beinlängendifferenz vermindert [44].

2 Material und Methoden

Die erhobenen Befunde und Daten wurden aus einer für wissenschaftliche Zwecke erhobenen Datensammlung der orthopädischen Fachabteilung des Olgahospitals am Klinikum Stuttgart entnommen und anonymisiert.

Die Studie konzentriert sich auf die klinischen Befunde und Röntgenaufnahmen, die aufgrund der Behandlung der Patienten angelegt wurden. Für den

Studienaufbau wurden die Daten präoperativ, postoperativ und zum Zeitpunkt der letzten Wiedervorstellung erhoben.

Die Einwilligungserklärungen waren zugesichert, da diese inhaltlich im Behandlungsvertrag des Klinikums hinterlegt waren. Die Projektnummer des Ethikvotums der Arbeit lautete 337/2019BO2.

2.1 Patientenkollektiv

Es wurden 123 Kinder, die an Morbus Perthes erkrankt sind und von 2006 bis 2015 mit einer operativen Containment-Therapie behandelt wurden, eingeschlossen.

Patienten, die darüber hinaus an einer Skelettdysplasie oder an Stoffwechselerkrankungen litten oder mithilfe eines Non- Containmentverfahrens behandelt wurden, wurden ausgeschlossen.

2.2 Patientenaktenstudie

Die Patientenakten wurden zu Beginn bezüglich anamnestischer Informationen gesichtet.

2.2.1 Geschlecht

Es wurde das Geschlecht der Kinder in Form von „weiblich“ oder „männlich“ dokumentiert.

2.2.2 Körpermaße

Bei den Körpermaßen wurde das Körpergewicht [kg] und die Körpergröße [cm] notiert. Aus beiden erhobenen Werten wurde der Body-Mass-Index (BMI) berechnet.

2.2.3 Familienanamnese

Familienanamnestisch wurden bereits vorhandene Perthes-Fälle in der Familie mit „positiv“ dokumentiert. Bei negativer Familienanamnese wurde dieses mit „negativ“ und bei fehlenden Angaben mit „nicht-angegeben“ notiert.

2.2.4 Vorerkrankungen

Die Vorerkrankungen wurden als zusätzliche Informationen dokumentiert, jedoch wurden diese später in der Statistik nicht berücksichtigt.

2.2.5 Erkrankungsalter

Das Alter zum Erkrankungszeitpunkt wurde, soweit es sich durch die Beschwerden und Diagnosestellung festlegen ließ, notiert und in folgende zwei Gruppen unterteilt:

- . „1“: < 6 Jahre
- . „2“: > 6 Jahre

2.2.6 Erkrankte Hüftgelenksseite

Die Körperseite, der an Morbus Perthes erkrankten Hüfte, wurde mit „l“ für links, „r“ für rechts und „b“ für beidseits in die Dokumentation aufgenommen.

2.3 Information zur Intervention

2.3.1 Zeitpunkt der Operation

Der Zeitpunkt der Operation wurde anhand des Patientenalters in Jahren und mit Hilfe des Datums am Operationstag festgehalten. Somit konnte der Zeitraum von der Diagnosestellung bis zur Operation und der Zeitraum von der Operation bis zum letzten Vorstellungstermin nachvollzogen werden.

2.3.2 Operationsmethode

Die fünf verschiedenen operativen Containment-Operationen wurden zu Dokumentationszwecken mit Zahlen versehen:

- . 1: Tripleosteotomie nach Tönnis
- . 2: Osteotomie nach Salter
- . 3: Intertrochantäre Varisationsosteotomie
- . 4: Intertrochantäre Varisationsosteotomie + Osteotomie nach Salter
- . 5: Intertrochantäre Varisationsosteotomie + Tripleosteotomie nach Tönnis

2.3.3 Komplikationen und zusätzliche Interventionen

Intraoperative und postoperative Komplikationen wurden notiert, um etwaige schwerwiegende Verläufe nachvollziehbar festzuhalten. Hierfür wurden folgende Komplikationen mit Ziffern versehen:

- . Wundheilungsstörung

- . Revisionspflichtige Blutung
- . Nervenläsion
- . Thrombose/Embolie
- . Korrekturverlust
- . Pseudarthrose
- . Metallbruch
- . Drahtwanderung/Perforation

Ebenso wurde die Notwendigkeit von erneuten Operationen beziehungsweise weiteren diagnostischen oder therapeutischen Interventionen wie Arthrografien, Epiphysiodesen, Adduktorentenotomien, Valgisationsosteotomien erfasst.

Für die Erhebung der Komplikationen und zusätzlichen Interventionen wurden Operationsberichte und weiterfolgende Arztbriefe herangezogen.

2.4 Klinische Daten

2.4.1 Duchenne-Hinken und Trendelenburgzeichen

Das Duchenne-Hinken und das Trendelenburgzeichen wurden mit „negativ“ und „positiv“ präoperativ und zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung dokumentiert.

2.4.2 Harris-Hip-Score

Der Harris-Hip-Score wurde für jeden Patienten zum präoperativen, postoperativen und zum Zeitpunkt der letzten Wiedervorstellung ausgefüllt und bewertet. Im Anschluss wurde folgende Einteilung eingehalten:

- . 90- 100 Punkte: Exzellentes Ergebnis
- . 80- 89 Punkte: Gutes Ergebnis
- . 70- 79 Punkte: Durchschnittliches Ergebnis
- . < 70 Punkte: Schlechtes Ergebnis

Für statistische Tests, in denen eine binäre Darstellung nötig war, wurden die Harris-Hip-Score-Gruppen in folgende zwei Gruppen unterteilt: „Exzellentes“ und „gutes Ergebnis“ (80-100 Punkte) und „durchschnittliches“ und „schlechtes Ergebnis“ (< 80 Punkte).

2.5 Radiologische Daten

2.5.1 Ausgangsparameter

2.5.1.1 Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring

Die Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring erfolgte an dem präoperativen Röntgenbild wie in 1.12.2.1 beschrieben.

2.5.1.2 Klassifikation nach Salter und Thompson

Die subchondrale Frakturlinie aus der Klassifikation nach Salter und Thompson war aufgrund der begrenzten zeitlichen Darstellbarkeit im Röntgenbild in den ersten Wochen der Erkrankung nur bedingt beurteilbar. Bei Beurteilbarkeit wurde sie, wie in 1.12.2.2 beschrieben, präoperativ dokumentiert. Da diese Klassifikation meist nur in den ersten Wochen der Erkrankung nachweisbar ist und dadurch diese Variable nicht vollständig bei jedem Patienten erhoben werden konnte, floss sie nicht in die statistische Analyse mit ein.

2.5.1.3 Klassifikation nach Catterall

Die Einteilung nach Catterall wurde anhand des präoperativen Röntgenbildes durchgeführt und wie die beschriebenen Gruppen I-IV dokumentiert. Wenn eine binäre Darstellung der Daten sinnvoll oder nötig war, wurde die Catterall-Klassifikation in I + II und III + IV unterteilt.

2.5.1.4 Einteilung nach Waldenström

Die Zuordnung nach Waldenström wurde bei der in 1.12.2.4 beschriebenen Modifikation zum präoperativen Zeitpunkt durchgeführt. Hierfür wurden die ebenfalls beschriebenen römischen Abkürzungen für die Stadien verwendet, wie sie in Abb. 5 enthalten sind: IA, IB, IIA, IIB, IIIA, IIIB, IV. Wenn eine binäre Darstellung der Daten sinnvoll oder nötig war, wurde die Waldenström-Einteilung in IA + IB + IIA + IIB und IIIA + IIIB + IV unterteilt.

2.5.1.5 Verbreiterung des Gelenkspaltes

Die Beurteilung eines verbreiterten Gelenkspaltes durch die Distanz [mm] zwischen der Köhler-Tränenfigur und der medialen Metaphyse wurde präoperativ abgemessen und die Differenz zwischen beiden Körperseiten berechnet.

2.5.2 Verlaufsparemeter

2.5.2.1 Ménard-Shenton-Linie

Die Ménard-Shenton-Linie wurde zum Zeitpunkt vor Operation (präoperativ), nach Operation (postoperativ) und auch bei dem jüngsten Röntgenbild, d.h. zur letzten Wiedervorstellung erfasst. Dabei wurde eine harmonisch verlaufende Linie ohne Stufe als „negativ“ und eine Linie mit einer Stufe als „positiv“ gekennzeichnet.

2.5.2.2 Migrationsindex nach Reimers

Der Migrationsindex nach Reimers wurde präoperativ, postoperativ und bei der letzten Nachuntersuchung auf jeweils beiden Seiten erhoben und als Prozentzahl notiert. Für die Auswertung des Migrationsindex nach Reimers wurde stets das erkrankte Hüftgelenk beschrieben und die gesunde Seite für mögliche Vergleiche dokumentiert. Die Werte des Migrationsindex nach Reimers wurden in der binären Auswertung und auch für deskriptive Zwecke anhand eines Cut-off Wertes von 22% unterteilt.

2.5.2.3 Epiphysenindex nach Heyman und Herndon

Der Epiphysenindex wurde präoperativ wie auch im letzten Röntgenbild mit erkennbarer Epiphysenfuge erfasst. Der Epiphysenindex wurde für beide Hüftgelenke berechnet, damit sich später der Epiphysenquotient berechnen ließ. Wie in 1.12.2.8 bereits erwähnt, wurde auch hier die Einteilung des Epiphysenquotienten wie folgt vorgenommen:

> 0,6:	gutes Ergebnis
0,4- 0,6:	ausreichendes Ergebnis
< 0,4:	schlechtes Ergebnis

2.5.2.4 Centrotrochantäre Distanz

Die Centrotrochantäre Distanz (CTD) beider Hüftgelenke wurde zu allen drei Zeitpunkten (präoperativ, postoperativ, letzte Wiedervorstellung) abgemessen und erfasst.

2.5.3 Ergebnisparameter

Wie oben bei den Verlaufsparemtern beschrieben, wurde das Ergebnis mit mehreren klinischen und radiologischen Parametern erhoben. Hier ist die Klassifikation nach Stulberg der einzige Anteil der Daten, der als reiner Ergebnisparameter fungiert.

2.5.3.1 Klassifikation nach Stulberg

Die Einteilung nach Stulberg erfolgte an einem hierfür verwendbaren Röntgenbild, um das Ausheilungsstadium in zulässigem Ausmaß zu bewerten. Hierfür war neben der Femurkopfform und der Ausheilung der Erkrankung auch der Schluss der Epiphysenfuge ein Kriterium für die Anwendung der Einteilung nach Stulberg.

Die fünf Gruppen der Stulberg-Klassifikation wurden für die Auswertung in drei Gruppen unterteilt, die aufgrund der resultierten Femurkopfform als gutes (Stulberg I und II), mittleres (Stulberg III) und als schlechtes Outcome (Stulberg IV und V) bewertet werden konnte.

Für die Tests, die eine binäre Darstellung verlangten, wurden die Stulberg-Gruppen in folgende zwei Gruppen unterteilt: I + II und III + IV + V.

2.6 Statistische Analyse

Grundlegend erhobene Parameter und Eigenschaften wurden mithilfe deskriptiver Statistikmethoden beschrieben. Kategorische Variablen wurden in absoluten oder relativen Häufigkeiten ausgedrückt. Kontinuierliche Variablen wurden durch den Mittelwert und die Standardabweichung oder durch den Median und die Interquartilsabstände der Datenverteilung beschrieben. Die Normalverteilung wurde durch Prüfen der Kurtosis, der Schiefe sowie mit Q-Q-Diagramm und Histogrammen beurteilt.

Um grundlegende Merkmale innerhalb der verschiedenen Ergebnisparameter zu vergleichen, wurde eine bivariate Analyse durchgeführt. Der Chi-Quadrat-Test und der exakte Test nach Fisher wurden bei kategorialen Daten verwendet.

Für den Vergleich von numerischen, normalverteilten Variablen wurde eine Varianzanalyse (ANOVA: analysis of variance) durchgeführt. Diejenigen, die

nicht normalverteilt waren und somit für eine Varianzanalyse nicht in Frage kamen, wurden mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests ausgewertet.

Um eine Assoziation zwischen binären Ergebnissen und dem klinischen Ergebnis, das mit dem Harris-Hip-Score dargestellt wurde, abzuschätzen, wurde eine binäre logistische Regression durchgeführt. Die Auswahl der möglichen Risikofaktoren der Patienten für die multivariate Analyse wurden nach klinischer Argumentation und nach bivariaten Testanalysen ausgesucht. Es wurden „crude odds ratio“ (OR) (einfaches Regressionsmodell) und das „adjusted odds ratio“ (mehrfaches Regressionsmodell) sowie das 95%-Konfidenzintervall berechnet. Der 2log-likelihood (-2LL)-Testwert wurde zur Beurteilung der Anpassungsgüte der Modelle verwendet und die Kalibrierung wurde mit dem Hosmer-Lemeshow-Test überprüft.

Um die klinischen und radiologischen Ergebnisse mit den Ausgangs- und Verlaufsparemtern prä- und postoperativ gegenüberzustellen, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Hierfür wurde die Sphärizität durch den Mauchly-Test geprüft und bei nicht bestätigter Sphärizität die Geissner-Greenhouse-Korrektur verwendet.

Die statistische Analyse wurde mit IBM SPSS Statistics 26 durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Patientenaktenstudie

In dieser Studie wurden 123 Kinder eingeschlossen, die von 2006 bis 2015 aufgrund ihres Morbus Perthes im Olgahospital am Klinikum Stuttgart mittels einer operativen Containment-Therapie behandelt wurden.

3.1.1 Geschlechterverteilung

Unter den 123 Patienten dieser Studie sind 21 (17,1%) weiblich und 102 (82,9%) männlich (Abb. 15).

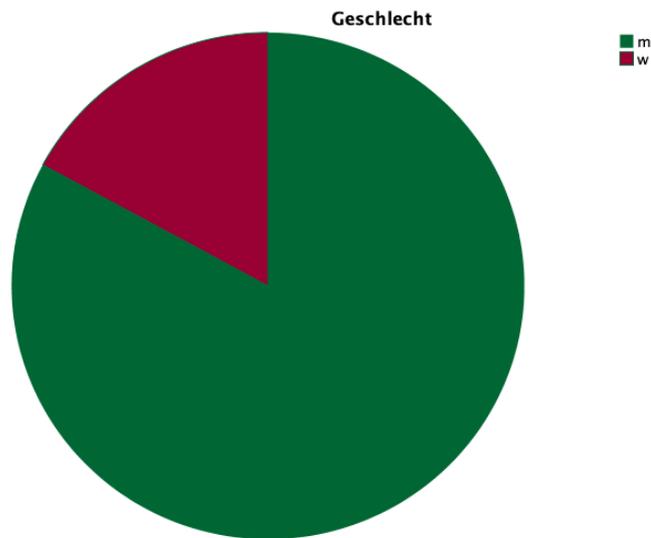


Abb. 15 Kreisdiagramm: Geschlecht

3.1.2 Altersverteilung

Das Patientenalter zum Zeitpunkt der Diagnosestellung reichte laut Patientenakten von einem Alterspektrum von 3 bis 15 Jahre. Der Mittelwert betrug hierbei 6,76 Jahre mit einer Standardabweichung von 2,17 Jahren. Die Variable wurde unterteilt in Patienten jünger/gleich 6 Jahre und älter 6 Jahre (Abb.16). Dies wurde aufgrund der Prognoserelevanz, wie in Kapitel 1.10 bereits erwähnt wurde, vorgenommen. 48,8% der Patienten zählten hierbei in die prognostisch günstigere Gruppe und 51,2% in die prognostisch ungünstigere Gruppe.

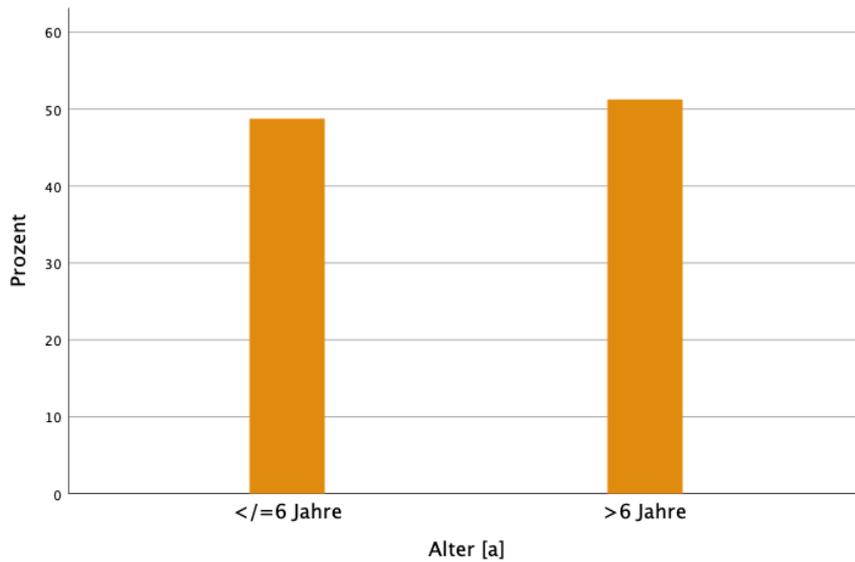


Abb. 16 Balkendiagramm: Alter bei Diagnosestellung

Ebenfalls wurde der Zeitraum zwischen der Diagnosestellung und dem Zeitpunkt der operativen Containment-Therapie erfasst (Abb. 17). Hier vergingen im Durchschnitt 0,94 Jahre. Das Patientenalter hatte zum Zeitpunkt der Operation einen Mittelwert von 8,24 Jahren mit einer Standardabweichung von 2,36 Jahren.

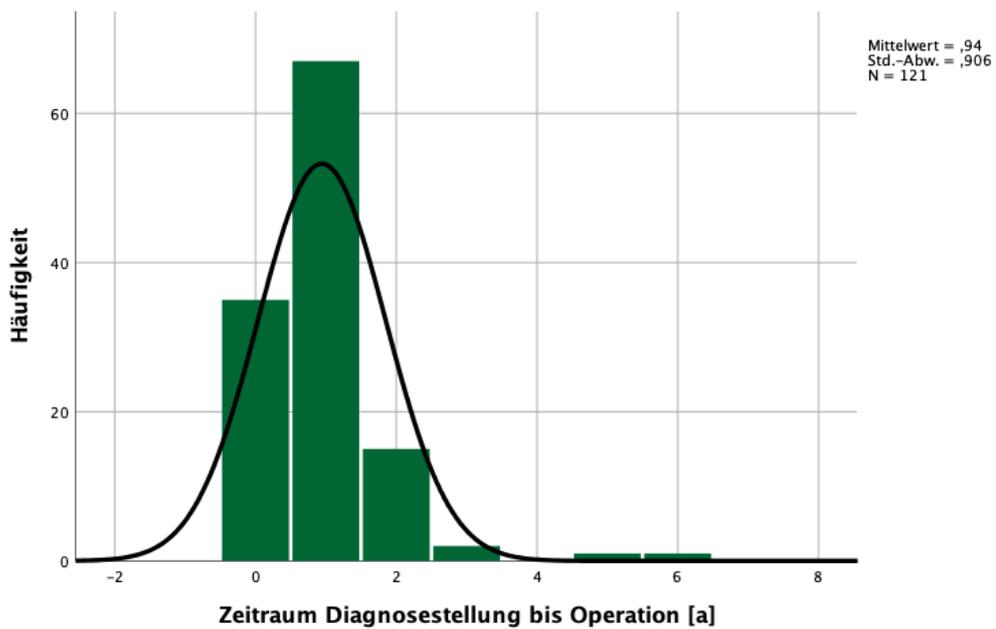


Abb. 17 Histogramm: Zeitraum von der Diagnosestellung bis zur Operation

3.1.3 Erkrankte Hüftgelenksseite

62 Patienten (50,4%) waren auf der linken Körperseite und 61 Patienten (49,6%) auf der rechten Körperseite von der Perthes-Erkrankung betroffen. Drei der eingeschlossenen Patienten hatten einen beidseitigen Morbus Perthes.

3.1.4 Körpermaße im Patientenkollektiv

Das Körpergewicht des Patientenkollektivs lag zwischen 15,0 kg und 65,0 kg. Der Mittelwert betrug 28,64 kg mit einer Standardabweichung von 10,2 kg. Die untersuchten Patienten waren zwischen 101 cm und 163 cm groß, der Mittelwert für die Körpergröße betrug 126,66 cm und die Standardabweichung 13,0 cm. Aus beiden bereits erwähnten Werten wurde der Body-Mass-Index berechnet. Der BMI reichte bei den untersuchten Patienten von 12,4kg/m² bis 30,1 kg/m². Der Mittelwert des BMIs betrug 17,51kg/m² und die Standardabweichung 3,7 kg/m² (Abb. 18).

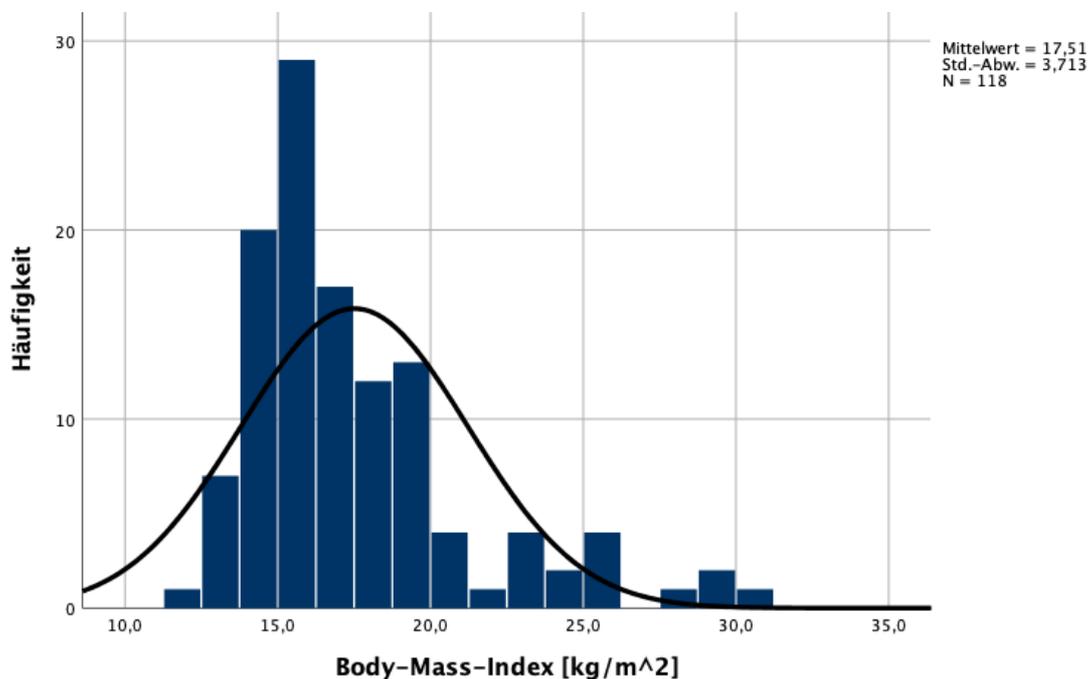


Abb. 18 Histogramm: Body-Mass-Index

Vier Patienten des Kollektivs hatten zum Zeitpunkt der operativen Therapie bereits die Diagnose der Adipositas erhalten, was 3,25% entspricht.

3.2 Ergebnisparameter

Die Zeitspanne zwischen der Operation und der letzten Wiedervorstellung lag bei einem Mittelwert von 4,91 Jahren mit einer Standardabweichung von 2,88 Jahren.

3.2.1 Harris-Hip-Score

Die Auswertung des Harris-Hip-Scores präoperativ, postoperativ und zur letzten Nachuntersuchung geschah gemäß der Unterteilung der Punkte nach dem in 1.12.1.3 genannten Schema (Abb. 19). Es fällt optisch auf, dass sich die Patientengruppe mit einem präoperativen Ausgangswert von kleiner als 70 Punkten (gelbe Säule im Diagramm) von 95 Patienten auf 13 Patienten reduzierte, was für eine klinische Verbesserung von 86,32 % spricht. Die Patientenanzahl in der Gruppe mit 90-100 Punkten (grüne Säule im Diagramm), die ein sehr gutes Ergebnis erzielt hatte, vergrößerte sich hingegen von 2 auf 86 Patienten. Die postoperative Beurteilung des klinischen Verlaufes des Patientenkollektivs lag - verteilt auf alle vier Gruppen - enger beieinander. Im Durchschnitt stieg das Ergebnis zwischen den Untersuchungszeitpunkten im Harris-Hip-Score um 14 Punkte. Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass sich eine deutliche Verbesserung der Klinik verzeichnen lässt.

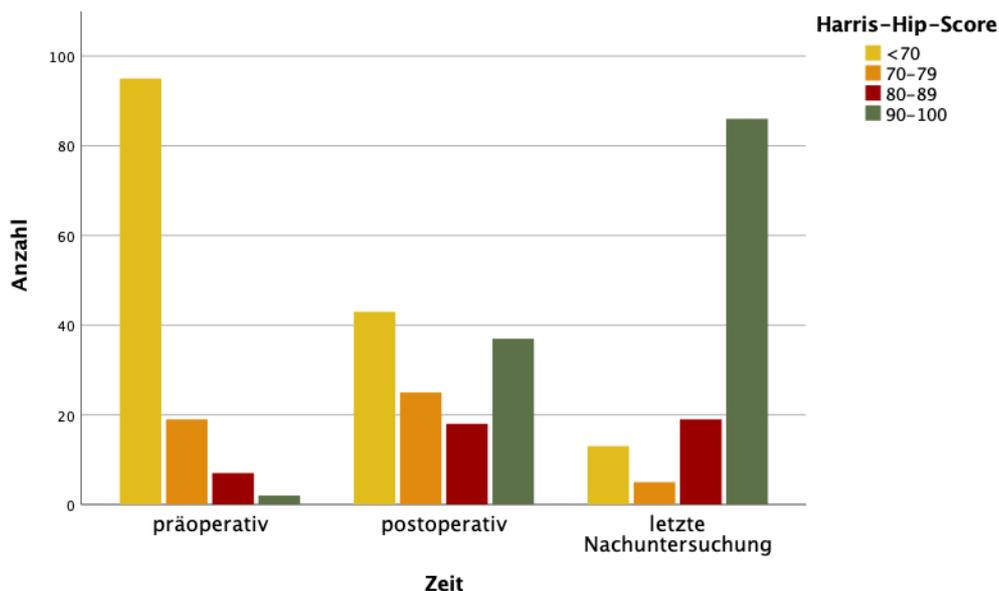


Abb. 19 Balkendiagramm: Harris-Hip-Score im zeitlichen Verlauf

Der prozentuale Zuwachs und die prozentuale Senkung der erreichten Punkte im Harris-Hip-Score in den unterschiedlichen Interventionsgruppen sind in Abb. 20 dargestellt. In der Interventionsgruppe der Tripleosteotomie wurde die Patientenanzahl, die hier absolut 40 Patienten beträgt, in der schlechten Gruppe um 62,5% gesenkt und die Gruppe mit einem guten Score-Ergebnis um 39% gesteigert. Bei den insgesamt 54 Patienten, die mit einer Intertrochantären Varisationsosteotomie behandelt wurden, war ein Rückgang der Patientenanzahl mit einem schlechten Ergebnis im Harris-Hip-Score von 62,96% und einem 70,37%igen Zuwachs der Patienten eines guten Harris-Hip-Scores zu erkennen. In der Interventionsgruppe, der Kombination aus Tripleosteotomie und IVO, waren von den insgesamt 19 Patienten, in 73,68% eine Senkung des „schlechten“ Ergebnisses im Harris-Hip-Score und eine Steigerung um 57,89% in der „exzellenten“ Gruppe erkennbar.

Von den 13 Patienten mit einem Score kleiner als 70 Punkte zur letzten Nachuntersuchung, waren mit jeweils 38,46% die Tripleosteotomie und die IVO und mit 23,08% die Kombination der Tripleosteotomie und der IVO verzeichnet. Die 79 Patienten mit „exzellenten“ Harris-Hip-Score wurden mit 36,71% der Tripleosteotomie, mit 48,10% der IVO und mit 15,19% der Kombination beider zugeschrieben.

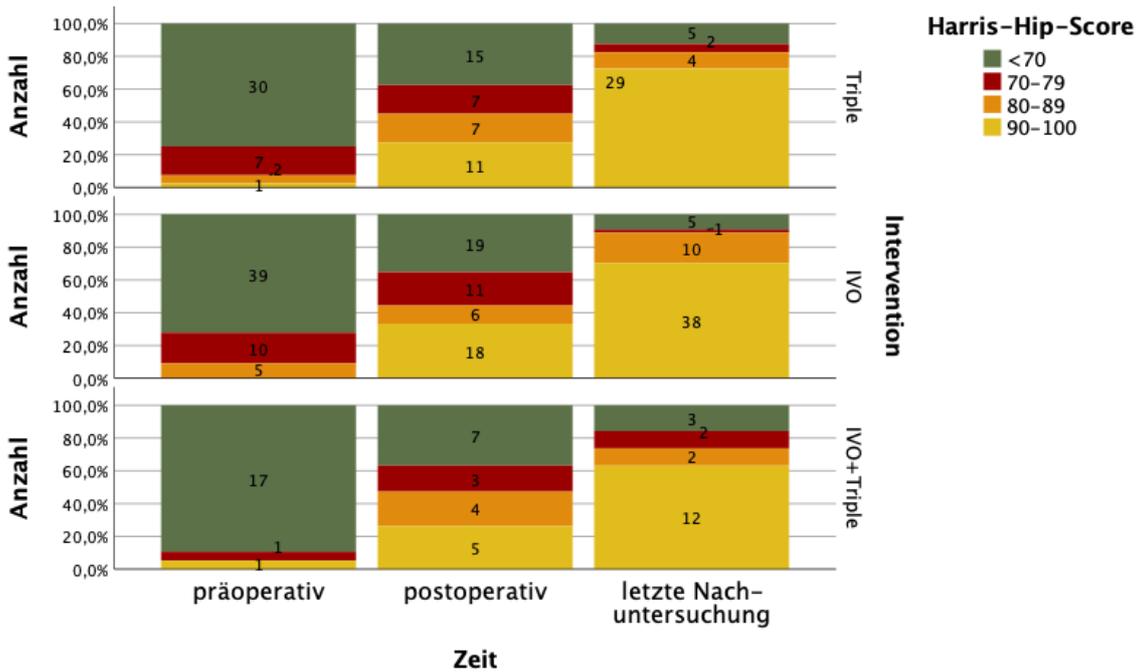


Abb. 20 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des Harris-Hip-Scores in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Im Folgenden wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt, um zu prüfen, inwieweit der Einfluss der Intervention auf das klinische Endergebnis signifikant ist. Die Analyse zeigt hier, dass die Ergebnisse, die das Modell erzielt hat, nicht signifikant sind ($F(1,9, 215) 153,63 p < 0,001$). Das bedeutet, dass der Harris-Hip-Score sich mit der Zeit ohne den Einfluss der unterschiedlichen Interventionen verändert und es keine signifikanten Unterschiede gibt ($F(3,92, 215,4) 0,15 p = 0,96$).

3.2.2 Klassifikation nach Stulberg

Der radiologische Endpunkt, der mit Stulberg dargestellt wurde, lässt sich bezogen auf die Verteilung der Patienten grafisch wie folgt darstellen (Abb. 21). Die Stulberg-Klassifikation wurde anhand der Form des Femurkopfes in drei Gruppen zusammengefasst: Stulberg I und II mit einem runden Hüftkopf, Stulberg III mit einer ovalen Form und Stulberg IV und V mit einem abgeflachten Femurkopf.

Stulberg I und II erreichten nach Wachstumsende 42 Patienten (34,1%), 59 Patienten (48,0%) wurden mit Stulberg III klassifiziert und 22 Patienten (17,9%) wurden mit Stulberg IV und V bewertet.

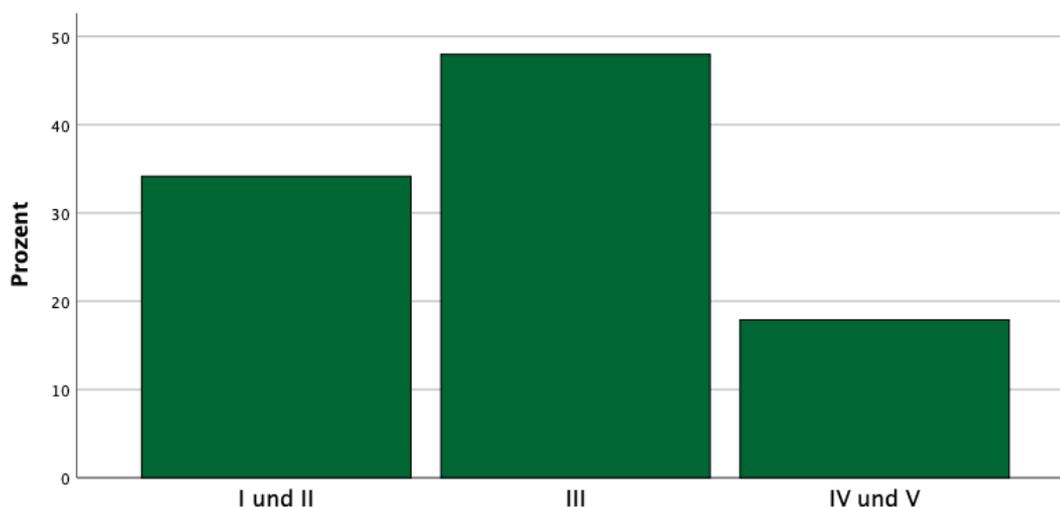


Abb. 21 Balkendiagramm: Stulberg-Klassifikation

Vergleicht man das Endergebnis in der Bildgebung mit dem Geschlecht (Abb. 22), würde man im Mittel ein schlechteres Outcome bei den Mädchen erwarten. Von den Mädchen hatten acht Patientinnen (38,09%) einen Stulberg I und II, sieben Patientinnen (33,3%) einen Stulberg III und sechs Patientinnen (28,5%) einen Stulberg IV und V. Bei den Jungen hatten von den 102 Patienten 34 Patienten (33,3%) einen Stulberg I und II, 52 Patienten (50,98%) einen Stulberg III und 16 Patienten einen Stulberg IV und V (15,69%). Bei den Mädchen sind die Gruppen Stulberg I + II und Stulberg IV + V prozentual in dieser Studie häufiger vertreten.

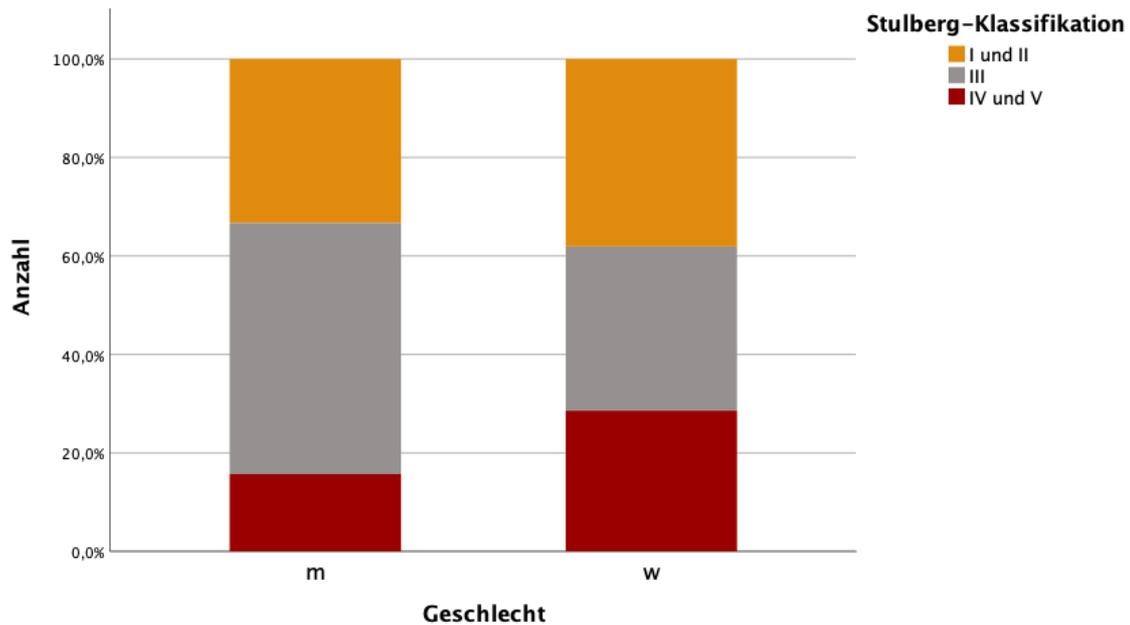


Abb. 22 Gestapeltes Säulendiagramm: Stulberg-Klassifikation nach Unterteilung des Geschlechts

In Abb. 23 ist das klinische und das radiologische Outcome im Vergleich zueinander abgebildet. 42 Patienten erhielten zum Wachstumsende ein radiologisches Endergebnis mit Stulberg I und II. Davon waren 35 Patienten auch im klinischen Outcome mit „exzellent“ zu bewerten. Fünf Patienten erreichten ein „gutes“, ein Patient ein „durchschnittliches“ und ein Patient ein „schlechtes“ klinisches Endergebnis bei einem radiologisch sehr guten Endergebnis. Einen ovalen Hüftkopf mit oder ohne einer Coxa magna hatten zu Therapieende 59 Patienten, wovon 44 Patienten ein „exzellentes“ klinisches Endergebnis, neun Patienten ein „gutes“, vier Patienten ein „durchschnittliches“ und zwei Patienten ein „schlechtes“ klinisches Outcome erreichten. Ein radiologisch schlechtes Endergebnis (Stulberg IV und V) erhielten 22 Patienten. Sieben dieser Patienten erreichten jedoch einen „exzellenten“ Harris-Hip-Score, fünf Patienten einen „guten“ Wert, ein Patient einen „durchschnittlichen“ Wert und neun Patienten einen „schlechten“. In der Summe nahmen das radiologische und das klinische Endergebnis in acht Patientenfällen gegenteilige Positionen ein. In den anderen Fällen stimmten die Beurteilungen der Klinik und der Bildgebung annähernd überein.

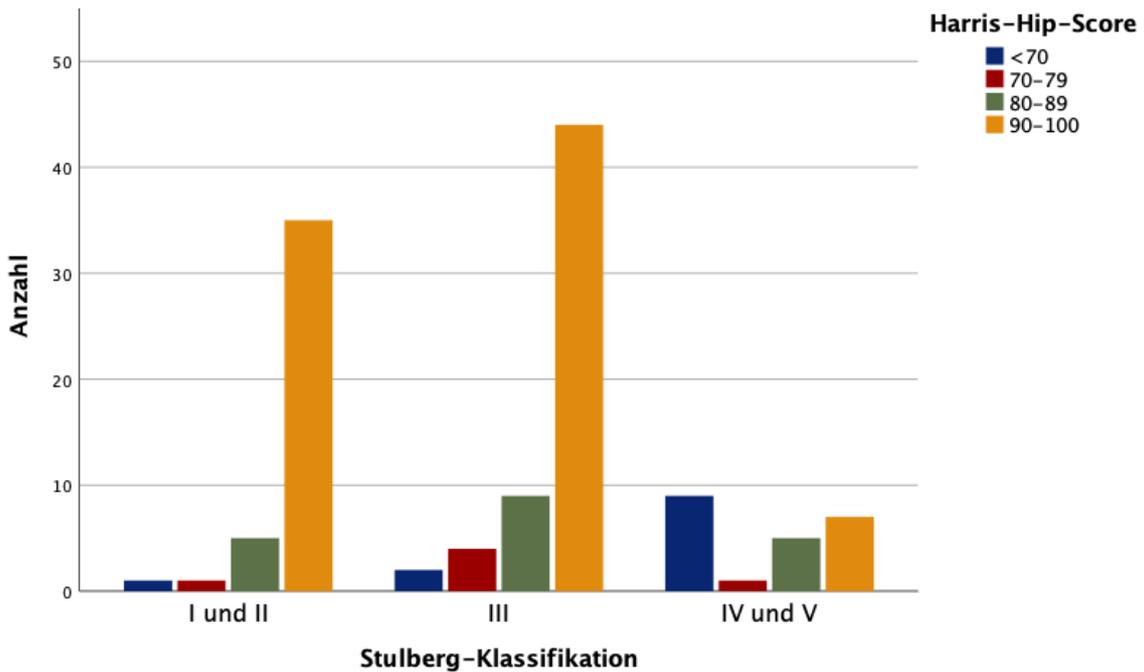


Abb. 23 Gruppieretes Balkendiagramm: klinisches und radiologisches Endergebnis im Vergleich

3.3 Behandlungsvorgehen

Die operative Containment-Therapie wurde, bezogen auf die Anzahl, wie folgt durchgeführt (Abb. 24):

- 40 Patienten (32,5%): Tripleosteotomie
- 3 Patienten (2,4%): Osteotomie nach Salter
- 54 Patienten (43,9%): Intertrochantäre Varisationsosteotomie
- 7 Patienten (5,7%): Intertrochantäre Varisationsosteotomie + Osteotomie nach Salter
- 19 Patienten (15,4%): Intertrochantäre Varisationsosteotomie + Tripleosteotomie

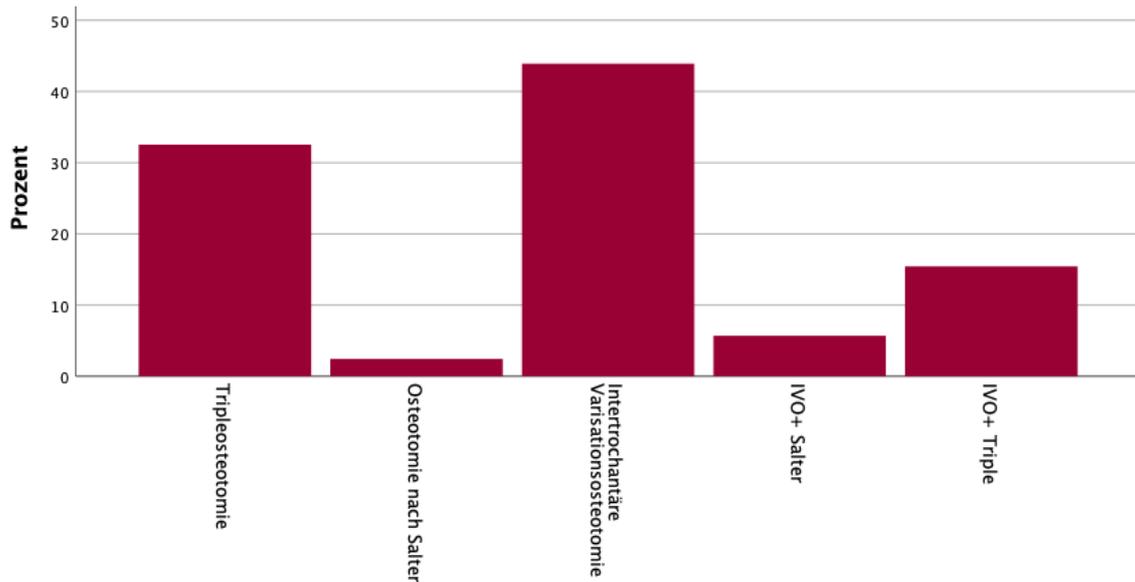


Abb. 24 Balkendiagramm: Interventionsgruppen

Aufgrund geringer Fallzahlen der Osteotomie nach Salter und der Intertrochantären Varisationsosteotomie kombiniert mit einer Osteotomie nach Salter, wurden diese beiden Verfahren in der weiteren Berechnung nicht einkalkuliert, da sie keine repräsentative Aussage geben würden.

Für die deskriptive Darstellung wurde in Abb. 25 und Abb. 26 das klinische und das radiologische Endergebnis auf die Interventionsgruppen zugeteilt.

Mit einem „guten“ bzw. „exzellenten“ klinischen Harris-Hip-Score (das bedeutet 80-100 Punkte) gingen 48 Patienten (42,5%) aus der Intertrochantären Varisationsosteotomie, 33 Patienten (29,2%) aus der Tripleosteotomie und 14 Patienten (12,4%) aus der Kombination der Tripleosteotomie und der Intertrochantären Varisationsosteotomie hervor. Die IVO erzielte prozentual den größten Anteil an Patienten mit einem sehr guten klinischen Outcome.

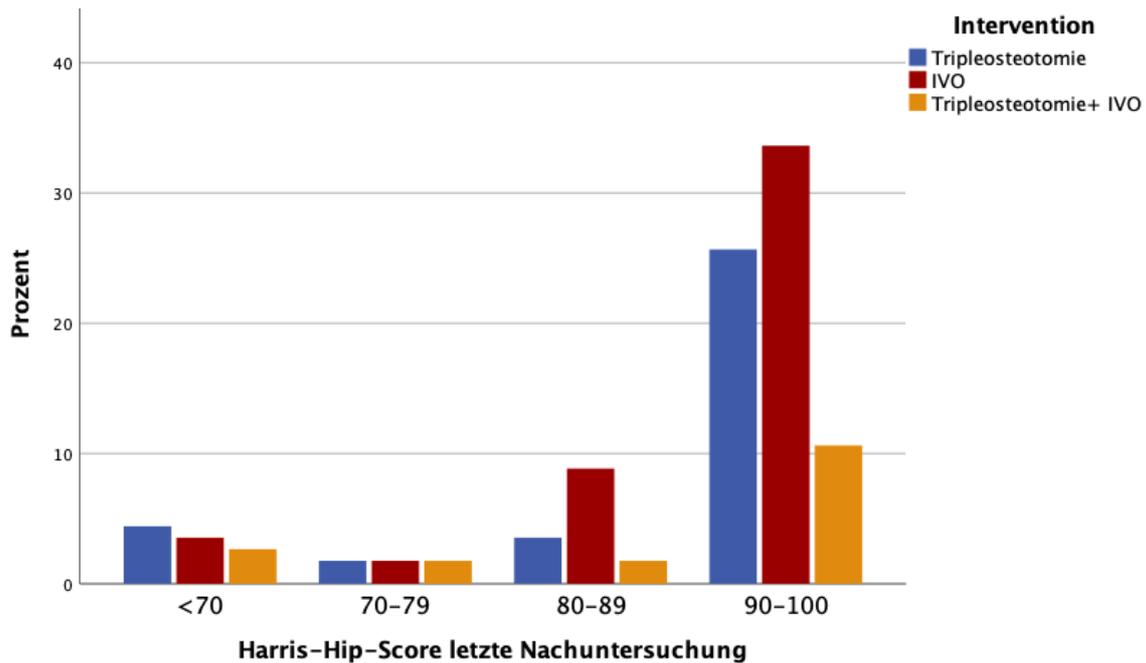


Abb. 25 Balkendiagramm: Harris-Hip-Score zur letzten Nachuntersuchung in den Interventionsgruppen

Radiologisch stellen sich die Ergebnisse der verschiedenen Interventionen mit einem guten Stulberg-Ergebnis (gemeint ist Stulberg I und II) ähnlich dar (Abb. 26). Hier schneidet die IVO mit 24 Patienten (21,2%) mit diesem Ergebnis ab, gefolgt von 11 Patienten (9,7%) nach einer Tripleosteotomie und vier Patienten (3,5%) mit einer kombinierten Tripleosteotomie mit einer IVO. Das Ergebnis eines Stulberg III wurde von 21 Patienten (18,6%) der IVO-Gruppe, 20 Patienten (17,7%) der Gruppe mit einer Tripleosteotomie und 12 Patienten (10,6%) mit einer Kombination der beiden Interventionen erreicht. Auch radiologisch ist die Intertrochantäre Varisationsosteotomie hier die Intervention mit den besten Ergebnissen im Kollektiv, vor den Ergebnissen der Patienten mit einer Tripleosteotomie und der Kombination der beiden Interventionen.

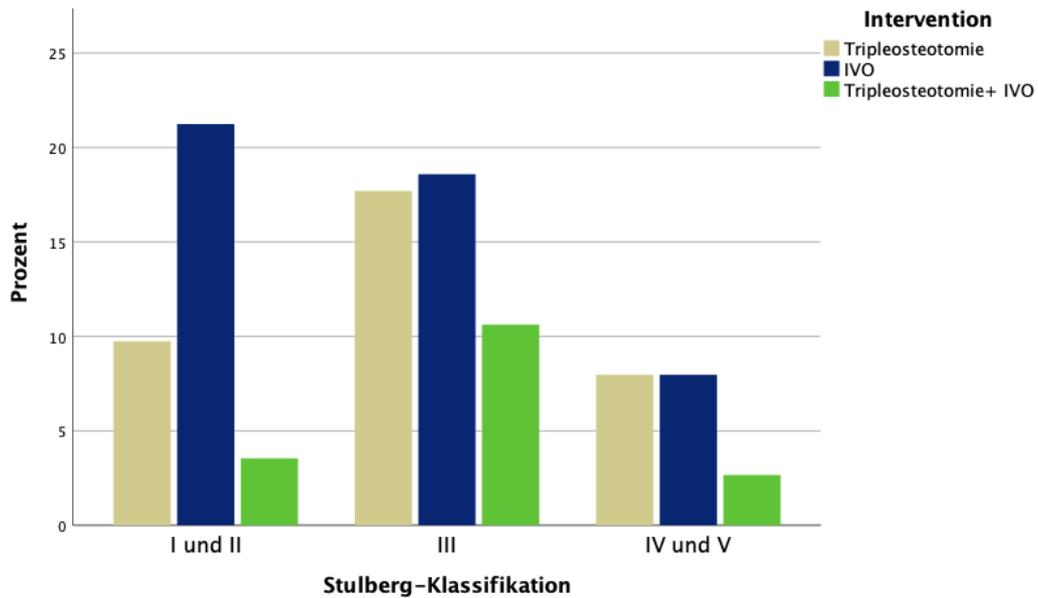


Abb. 26 Balkendiagramm: Stulberg-Klassifikation in den Interventionsgruppen

3.3.1 Altersverteilung in den Interventionsgruppen

Das Patientenkollektiv wurde deskriptiv in zwei Altersgruppen (≤ 6 Jahre und > 6 Jahre) zum Zeitpunkt der Operation unterteilt und mit der Intervention in Bezug gesetzt (Abb. 27). In der jüngeren Patientengruppe erhielten 13 Patienten eine Tripleosteotomie, 33 Patienten eine IVO und acht Patienten eine kombinierte Intervention. In dem älteren Patientenanteil wurden 27 Patienten einer Tripleosteotomie, 21 Patienten einer IVO und neun Patienten einer Kombination aus beiden Operationstechniken unterzogen. 61,11% der Patienten aus dem jüngeren Patientenkollektiv wurden mittels einer IVO operativ versorgt.

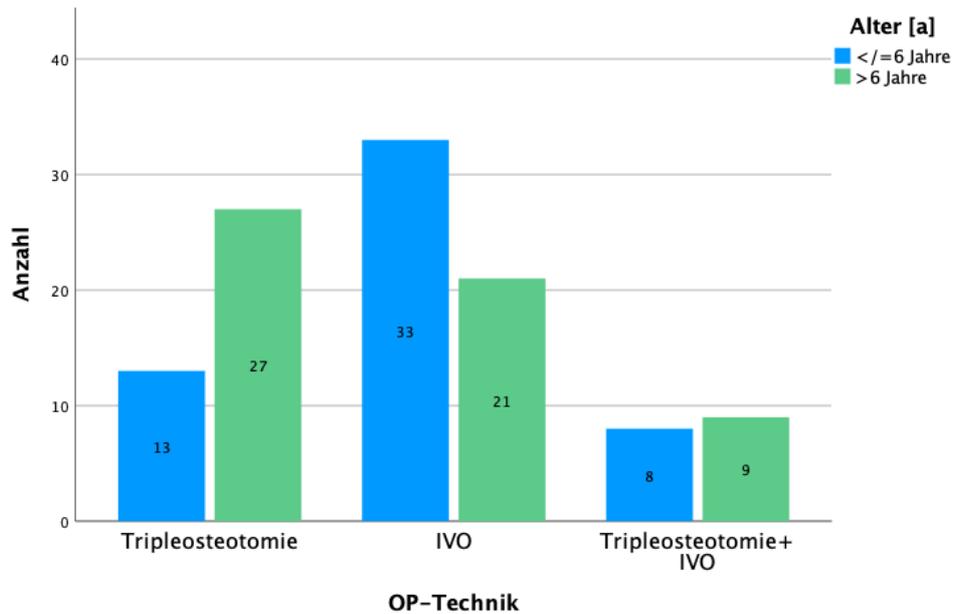


Abb. 27 Balkendiagramm: Altersverteilung in den Interventionsgruppen

3.3.1.1 Ergebnisse nach Stulberg anhand des Alters in den Interventionsgruppen

In folgender Abbildung ist das radiologische Endergebnis anhand der Altersunterteilung in den Interventionsgruppen dargestellt (Abb. 28). Die Gruppen setzen sich wie folgt zusammen:

- Stulberg I und II:
 - 22 Patienten mit ≤ 6 Jahre
(3 Pat. Triple, 19 Pat. IVO, 0 Pat. IVO+Triple)
 - 17 Patienten mit > 6 Jahre
(8 Pat. Triple, 5 Pat. IVO, 4 Pat. IVO+Triple)
- Stulberg III:
 - 27 Patienten mit ≤ 6 Jahre
(8 Pat. Triple, 11 Pat. IVO, 8 Pat. IVO+Triple)
 - 25 Patienten mit > 6 Jahre
(12 Pat. Triple, 10 Pat. IVO, 3 Pat. IVO+Triple)
- Stulberg IV und V:
 - 5 Patienten mit ≤ 6 Jahre
(2 Pat. Triple, 3 Pat. IVO, 0 Pat. IVO+Triple)
 - 15 Patienten mit > 6 Jahre
(7 Pat. Triple, 6 Pat. IVO, 2 Pat. IVO+Triple)

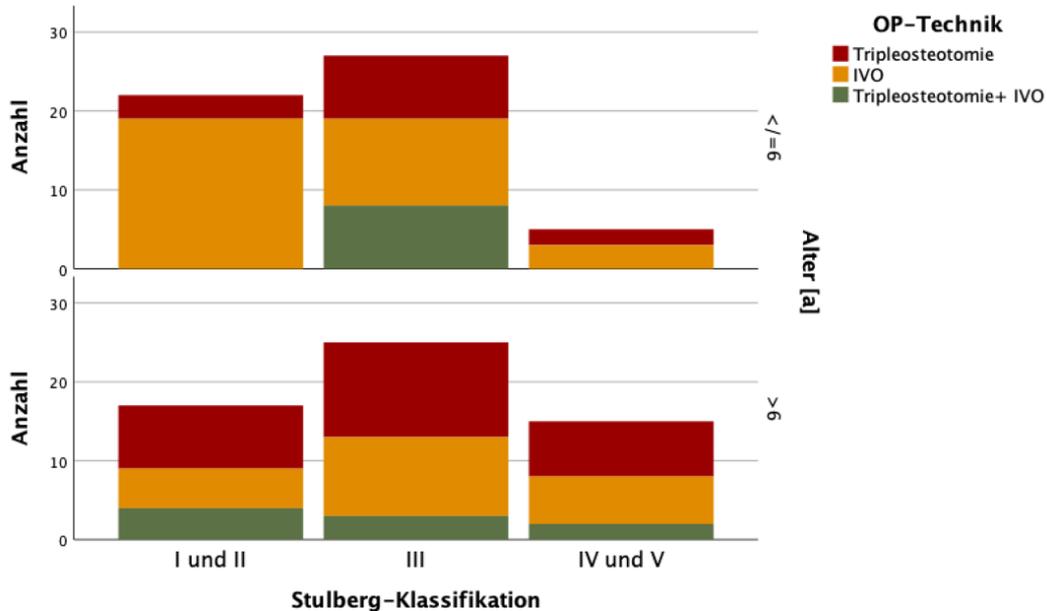


Abb. 28 Gruppieretes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis anhand des Alters in den Interventionsgruppen

3.3.1.2 Ergebnisse des Harris-Hip-Scores anhand des Alters in den Interventionsgruppen

Das klinische Endergebnis anhand der Interventionen in den Altersgruppen unterteilt sich wie folgt und ist grafisch in folgender Abbildung dargestellt (Abb. 29):

- HHS 90-100 Punkte: 38 Patienten mit <= 6 Jahre
(9 Pat. Triple, 24 Pat. IVO, 5 Pat. IVO+ Triple)
40 Patienten mit > 6 Jahre
(20 Pat. Triple, 14 Pat. IVO, 6 Pat. IVO+ Triple)
- HHS 80-89 Punkte: 8 Patienten mit <= 6 Jahre
(2 Pat. Triple, 6 Pat. IVO, 0 Pat. IVO+ Triple)
7 Patienten mit > 6 Jahre
(2 Pat. Triple, 4 Pat. IVO, 1 Pat. IVO+ Triple)
- HHS 70-79 Punkte: 3 Patienten mit <= 6 Jahre

- (0 Pat. Triple, 1 Pat. IVO, 2 Pat. IVO+ Triple)
 - 3 Patienten mit > 6 Jahre
 - (2 Pat. Triple, 1 Pat. IVO, 0 Pat. IVO+ Triple)
- 5 Patienten mit <= 6 Jahre
 - (2 Pat. Triple, 2 Pat. IVO, 1 Pat. IVO+ Triple)
 - 7 Patienten mit > 6 Jahre
 - (3 Pat. Triple, 2 Pat. IVO, 2 Pat. IVO+ Triple)

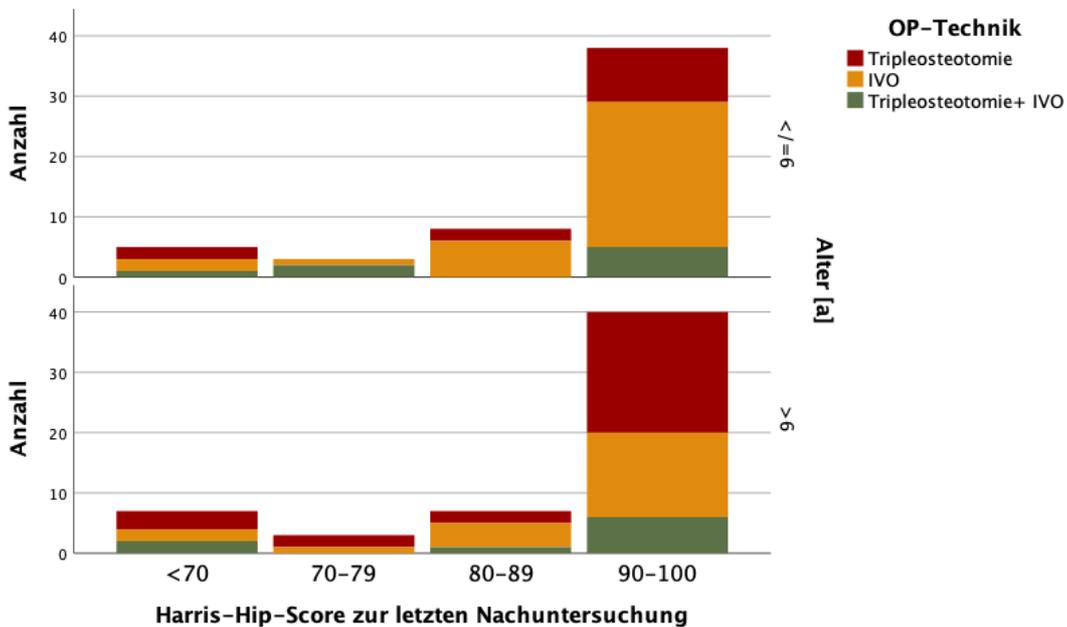


Abb. 29 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis anhand des Alters in den Interventionsgruppen

3.4 Ausschließlich präoperativ beurteilte radiologische Variablen

3.4.1 Klassifikation nach Catterall

Bei der Erhebung der Klassifikation nach Catterall zählten 40 Patienten zu Gruppe IV, 78 Patienten zu Gruppe III, vier Patienten zu Gruppe II und ein Patient zu Gruppe I (Abb. 30). Insgesamt zählten somit 118 Patienten zu der prognostisch ungünstigeren Gruppe, wie in 1.12.2.3 bereits beschrieben wurde.

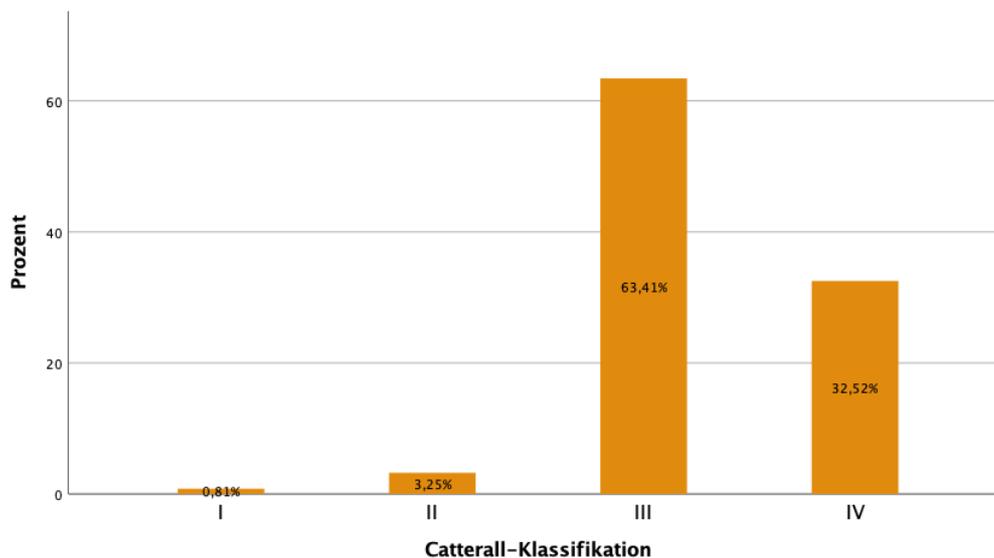


Abb. 30 Balkendiagramm: Klassifikation nach Catterall

Die Zuteilung einer Intervention entsprechend der Einteilung nach Catterall ist in dem folgenden Balkendiagramm abgebildet (Abb. 31). In der Catterall-Gruppe III und IV erhielten 52 Patienten eine IVO (III: 34 Patienten, IV: 18 Patienten), 39 Patienten eine Tripleosteotomie (III: 25 Patienten, IV: 14 Patienten) und 17 Patienten eine Kombination der beiden Interventionen (III: 11 Patienten, IV: 6 Patienten). Hierbei ist die IVO mit dem größten Anteil vertreten.

Patienten mit Catterall-Stadien III und IV wurden somit nicht zwingend einer Tripleosteotomie als Maximaltherapie unterzogen, sondern erfüllten häufiger die Indikationskriterien einer IVO.

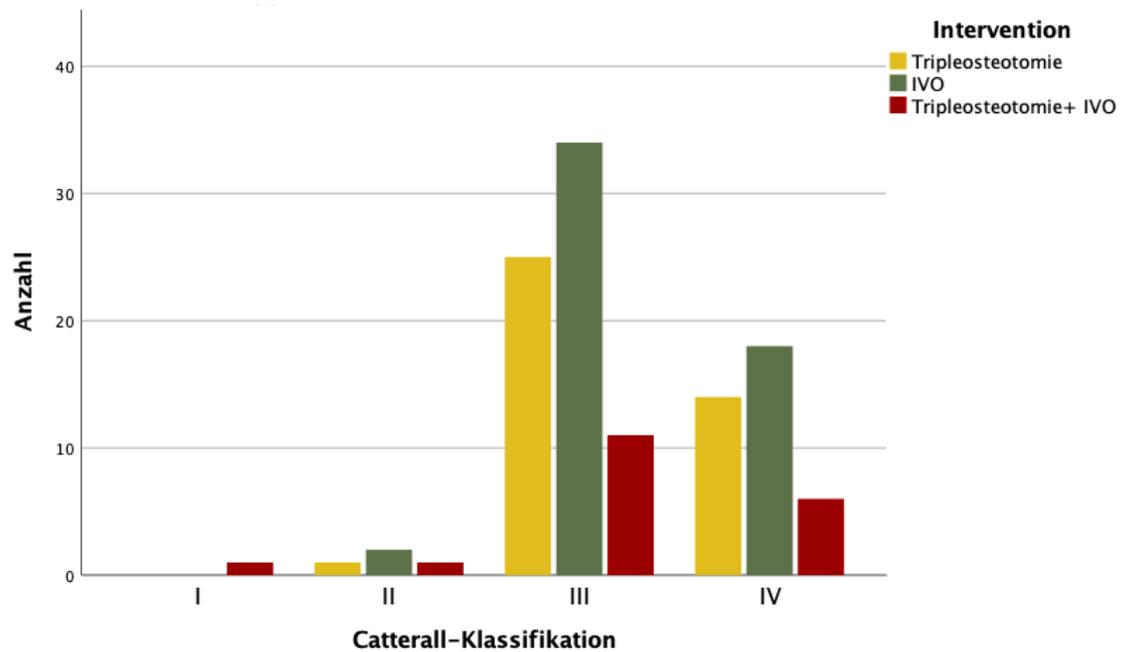


Abb. 31 Balkendiagramm: Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen

Weiterhin erfolgte die deskriptive Analyse der Catterall-Gruppen anhand des radiologischen und klinischen Endergebnisses (Tab. 2, Abb. 32, Tab. 3, Abb. 33). Patienten mit einem Hüftkopfbefall nach Catterall-Gruppe III und IV haben eine ungünstigere Prognose als Catterall-Gruppe I und II. Es stellt sich die Frage, wie viele Patienten aus einer ungünstigen Catterall-Gruppe trotzdem später ein gutes radiologisches Endergebnis mit Stulberg I und II erreicht haben. Das trifft auf 11 Patienten der Tripleosteotomie, vier Patienten der Kombination einer Tripleosteotomie und einer Intertrochantären Varisationsosteotomie und 22 Patienten der Intertrochantären Varisationsosteotomie zu.

Tab. 2 Kreuztabelle: Radiologisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen

Anzahl

Stulberg-Klassifikation			Intervention			Gesamt
			Triple	IVO	Triple+IVO	
I	Catterall	III		2		2
	Gesamt			2		2
II	Catterall	II	0	2	0	2
		III	8	12	3	23
		IV	3	8	1	12
	Gesamt		11	22	4	37
III	Catterall	I	0	0	1	1
		II	1	0	1	2
		III	13	12	6	31
		IV	6	9	4	19
	Gesamt		20	21	12	53
IV	Catterall	III	1	3	2	6
		IV	1	1	1	3
	Gesamt		2	4	3	9
V	Catterall	III	3	5		8
		IV	4	0		4
	Gesamt		7	5		12
Gesamt	Catterall	I	0	0	1	1
		II	1	2	1	4
		III	25	34	11	70
		IV	14	18	6	38
	Gesamt		40	54	19	113

In der Catterall-Gruppe IV wurden 14 Patienten einer Tripleosteotomie und 18 Patienten einer Intertrochantären Varisationsosteotomie unterzogen. Von den 14 Patienten mit der Intervention der Tripleosteotomie konnten drei Patienten mit einem guten Stulberg-Endergebnis (I und II) die Behandlung beenden. Von den 18 IVO-Patienten beendeten 10 Patienten die Behandlung mit einem radiologisch guten Endergebnis mit Stulberg I und II. Die operative Kombination der Tripleosteotomie und der IVO wurde bei sechs Patienten mit einer präoperativen Catterall-Gruppe IV durchgeführt, wovon ein Patient mit einem Stulberg IV, vier Patienten mit Stulberg III und ein Patient mit Stulberg II die Therapie beendete (Abb. 32).

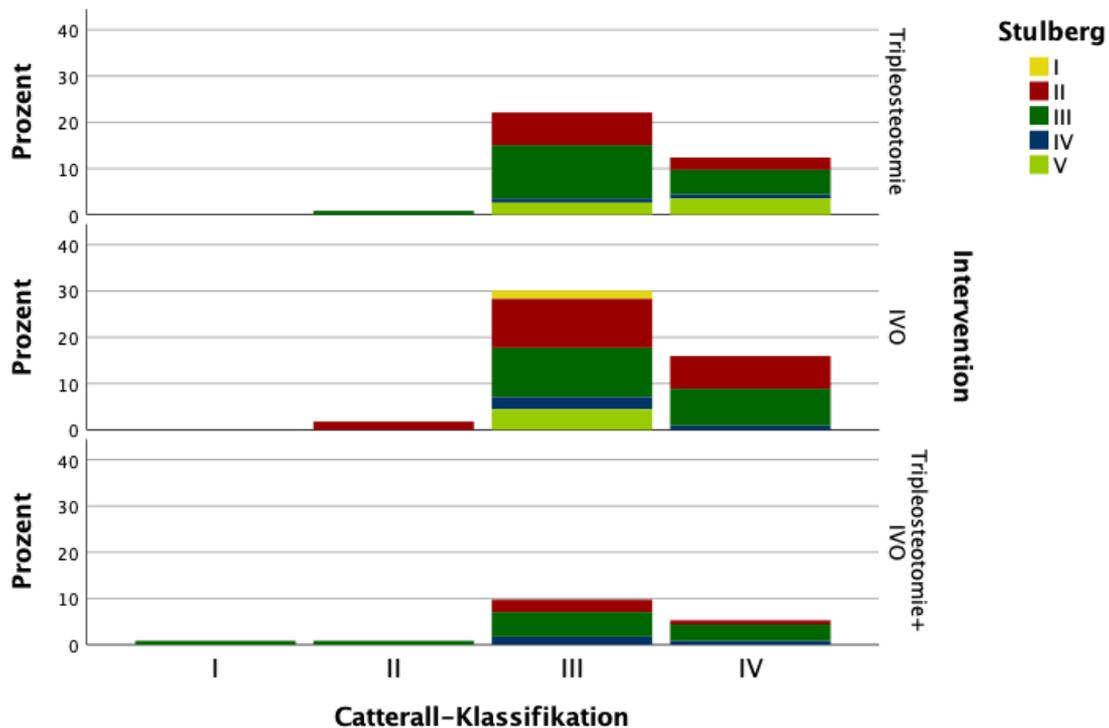


Abb. 32 Gruppieretes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen

Das klinische Endergebnis, gemessen mit dem Harris-Hip-Score im Bezug der Einteilung nach Catterall und unterteilt anhand der Intervention, wurde ebenfalls deskriptiv wie folgt dargestellt (Abb. 33). In Tab. 3 sieht man, dass die Catterall-Gruppen III und IV als die beiden einzigen Gruppen mit einem unzureichenden Harris-Hip-Score (< 80 Punkte) zur letzten Wiedervorstellung, unabhängig der erhaltenen Intervention, vertreten sind. Patienten mit Catterall-Gruppe III und IV und einem „guten“ bzw. „exzellenten“ klinischen Harris-Hip-Score zur letzten Nachuntersuchung wurden in 46 Fällen mit einer IVO, in 32 Fällen mit einer Tripleosteotomie und in 12 Fällen mit einer Kombination der beiden versorgt. Die erhobenen Patienten, die eine Zuteilung in Catterall-Gruppe I und II hatten, erreichten später alle auch ein „exzellentes“ klinisches Endergebnis (Harris-Hip-Score 90-100 Punkte).

Tab. 3 Kreuztabelle: Klinisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen

Harris-Hip-Score			Intervention			Gesamt
			Triple	IVO	Triple+IVO	
<70	Catterall	III	2	3	2	7
		IV	3	1	1	5
	Gesamt	5	4	3	12	
70-79	Catterall	III	1	1	2	4
		IV	1	1	0	2
	Gesamt	2	2	2	6	
80-89	Catterall	III	4	8	1	13
		IV	0	2	1	3
	Gesamt	4	10	2	16	
90-100	Catterall	I	0	0	1	1
		II	1	2	1	4
		III	18	22	6	46
		IV	10	14	4	28
	Gesamt	29	38	12	79	
Gesamt	Catterall	I	0	0	1	1
		II	1	2	1	4
		III	25	34	11	70
		IV	14	18	6	38
	Gesamt	40	54	19	113	

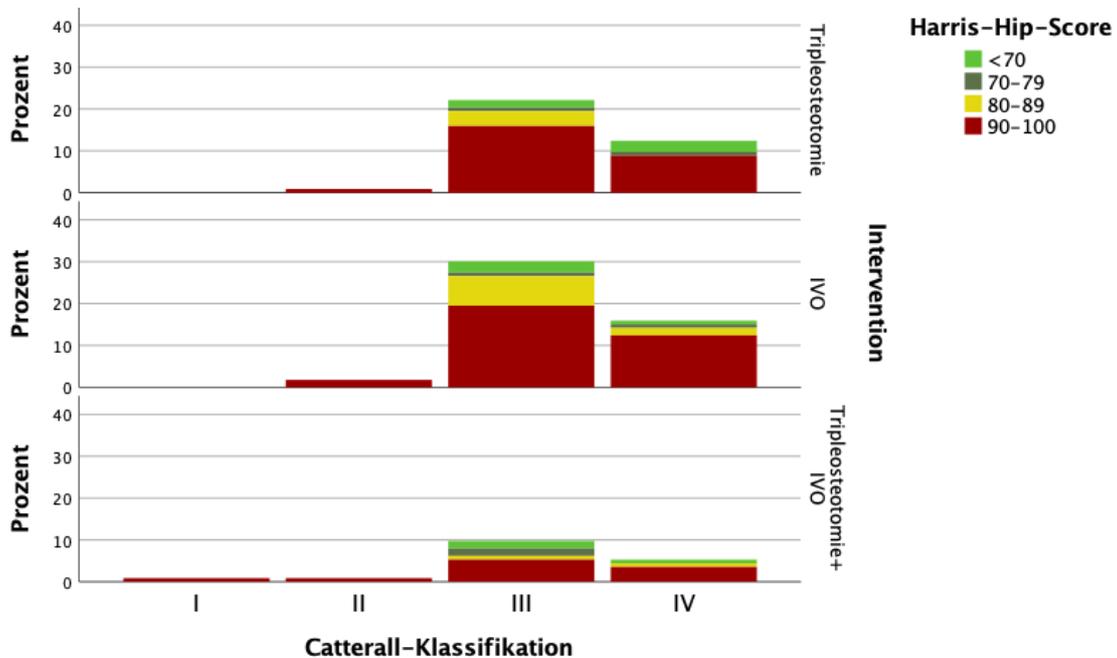


Abb. 33 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis der Catterall-Klassifikation in den Interventionsgruppen

3.4.2 Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring

Die Röntgenbilder der Patienten wurden anhand der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring zugeteilt. 1,6% (zwei Patienten) der Morbus Perthes befallenen Hüften wurden Gruppe A, 58,5% (72 Patienten) der Gruppe B, 4,9% (sechs Patienten) der Gruppe B/C und 35,0% (43 Patienten) der Gruppe C zugeteilt (Abb. 34).

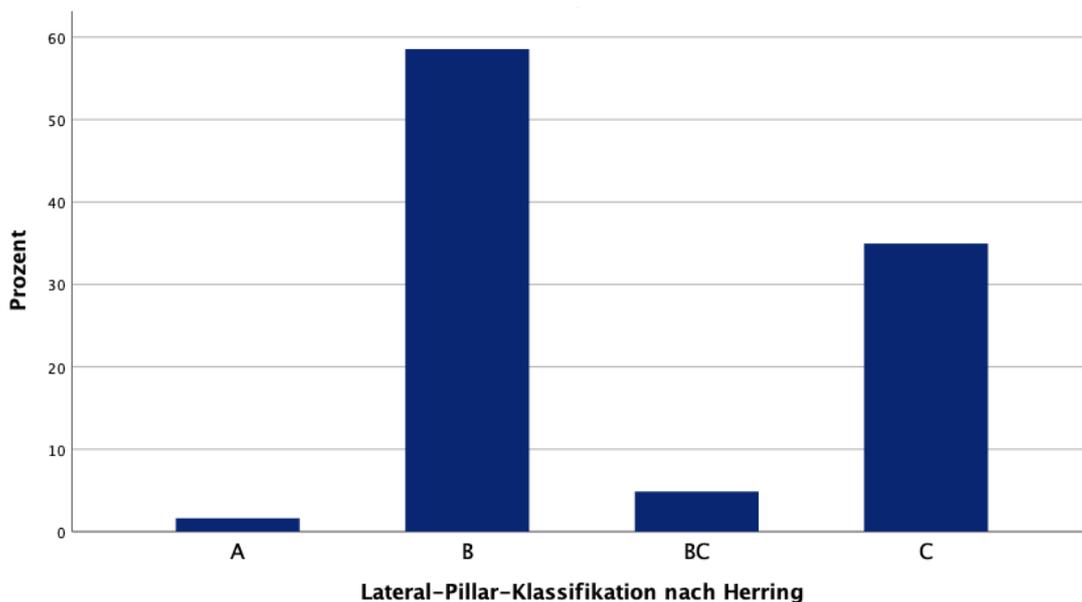


Abb. 34 Balkendiagramm: Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring

In der folgenden Abbildung ist die Zuteilung der Patienten anhand der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring in die verschiedenen Interventionsgruppen dargestellt (Abb. 35).

Eine Tripleosteotomie erhielten 18 Patienten mit Herring B, drei Patienten mit Herring BC und 19 Patienten mit Herring C. Einer IVO wurde ein Patient mit Herring A, 39 Patienten mit Herring B, drei Patienten mit Herring BC und 11 Patienten mit Herring C unterzogen. Die hypercontainment erzeugende Interventionsgruppe setzte sich aus einem Patienten mit Herring A, neun Patienten mit Herring B und neun Patienten mit Herring C zusammen.

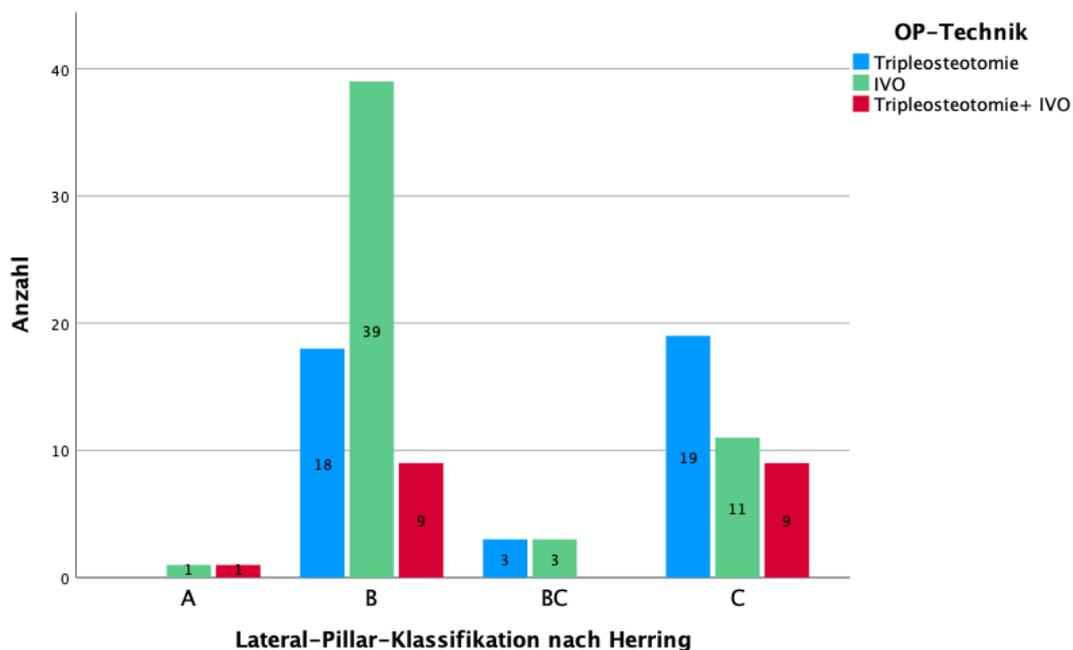


Abb. 35 Balkendiagramm: Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring in den Interventionsgruppen

Zur Darstellung des radiologischen Endergebnisses anhand der Interventionen dient Abb. 36. Hierbei ist interessant, wie viele Patienten mit schlechten Voraussetzungen, das heißt mit einer schlechten Lateral-Pillar-Gruppe (Herring BC und C), dennoch ein gutes Ergebnis nach Stulberg (I und II) erlangten und mit welcher Operationstechnik sie behandelt wurden. Vier der Patienten erreichten dieses Ergebnis nach einer Tripleosteotomie, sechs Patienten nach einer IVO. Keiner hatte eine Kombination aus beiden Interventionen, um ein Hypercontainment anzustreben. Das bedeutet, dass die IVO hierbei die Intervention mit dem besten Ergebnis ist.

In der Gruppe, die mit einem ovalen Hüftkopf und einer Coxa magna (Stulberg III) ihr Endergebnis erreichten, wurden 31 Patienten mit Herring A + B und 22 Patienten Herring BC + C präoperativ bewertet. In dem Patientenkollektiv der Tripleosteotomie waren zehn Patienten aus Gruppe Herring A + B und zehn Patienten aus Gruppe BC + C. Das Patientenkollektiv der IVO wurde aus vier Patienten der Gruppe Herring A + B und 17 Patienten der Gruppe Herring BC + C zusammengesetzt. Vier Patienten aus Gruppe Herring A + B und acht

Patienten aus Herring BC + C erhielten die kombinierte Intervention, die ebenfalls Stulberg III als Endergebnis erreichte.

Acht Patienten erreichten trotz einer über 50% erhaltenen lateralen Säule (Herring B) ein schlechtes radiologisches Endergebnis (Stulberg IV und V). Hiervon wurde ein Patient mit einer Tripleosteotomie, fünf Patienten mit einer IVO und zwei Patienten mit einer IVO und einer Tripleosteotomie behandelt.

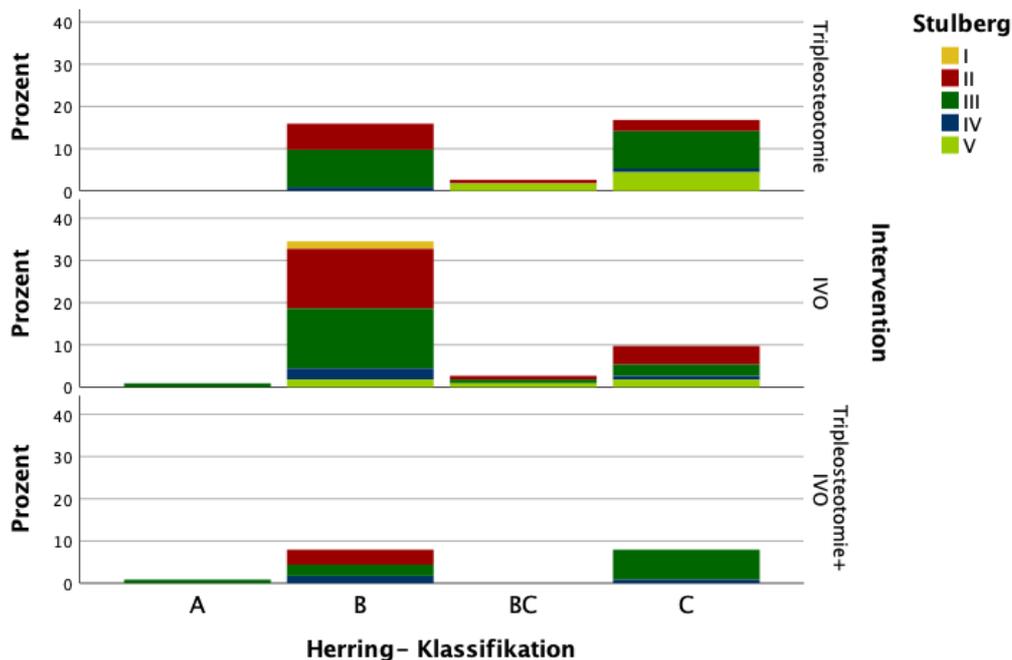


Abb. 36 Gruppierendes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring in den Interventionsgruppen

Betrachtet man das klinische Endergebnis in Bezug auf die Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring vor der Operation, fällt auf, dass 95 Patienten aus jeder Gruppe der Lateral-Pillar-Klassifikation ein „gutes“ bis „exzellentes“ Ergebnis im Harris-Hip-Score (> 80 Punkte) erreichten (Abb. 37). 18 Patienten erreichten ein Ergebnis im Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte. Ein „durchschnittliches“ bis „schlechtes“ klinisches Endergebnis, trotz einer präoperativ lateral erhaltenen Säule kleiner als 50%, erreichten zwei Patienten mit einer Tripleosteotomie, fünf Patienten mit einer IVO und zwei Patienten mit einer IVO und einer Tripleosteotomie. Neun weitere Patienten erreichten mit

Lateral-Pillar-Klassifikation BC und C einen Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte. Hierbei ist die Tripleosteotomie mit fünf Patienten die am meist vertretene Intervention.

Ein „gutes“ bis „exzellentes“ klinisches Outcome (Harris-Hip-Score 80-100 Punkte) trotz einer Lateral-Pillar-Klassifikation der Gruppe BC und C, erlangten 36 Patienten. 17 Patienten zählten hierbei zu dem Patientenkollektiv der Interventionsgruppe einer Tripleosteotomie, 13 Patienten zu der Gruppe mit einer IVO und sechs Patienten zu der Gruppe mit einer IVO und einer Tripleosteotomie. Die Tripleosteotomie schneidet deskriptiv mit einer unzureichenden präoperativen Lateral-Pillar-Klassifikation und einem trotzdem guten klinischen Ergebnis am besten ab.

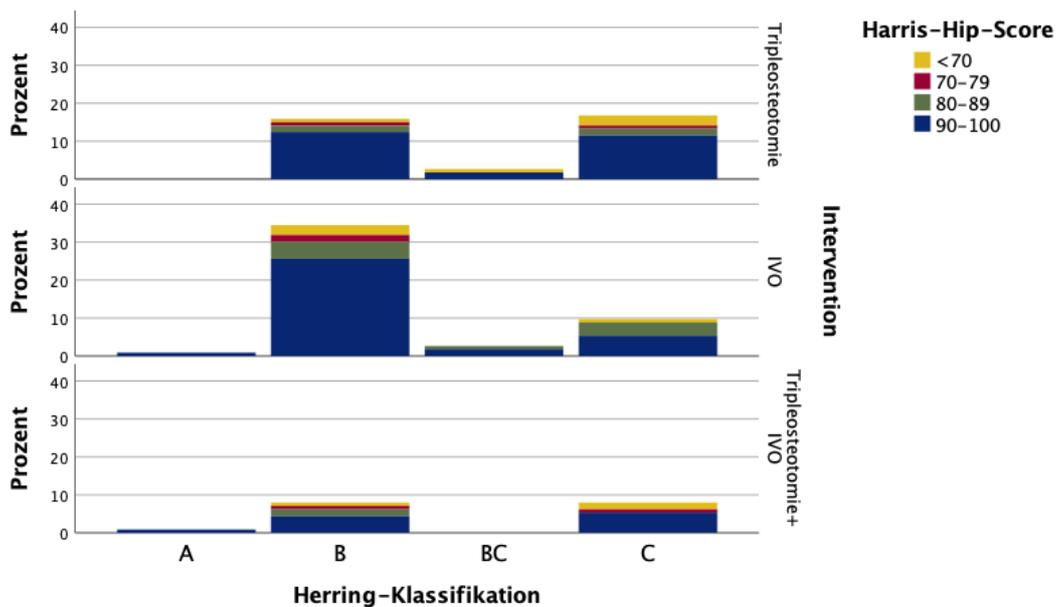


Abb. 37 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring in den Interventionsgruppen

3.4.3 Einteilung nach Waldenström

Die Einteilung nach dem modifizierten Waldenströmstadium ergab die Verteilung von vier Patienten (3,3%) in Gruppe IB, 17 Patienten (13,8%) in Gruppe IIA, 60 Patienten (48,8%) in Gruppe IIB, 41 Patienten (33,3%) in Gruppe IIIA, und einem Patienten (0,8%) in Gruppe IIIB. Es gab keine Patienten in der Gruppe nach

Waldenström IA und IV. Dieses Ergebnis ist grafisch in der folgenden Abb. 38 dargestellt, hierbei ist das Kondensations- und das Fragmentationsstadium farblich vom Reparationsstadium abgehoben.

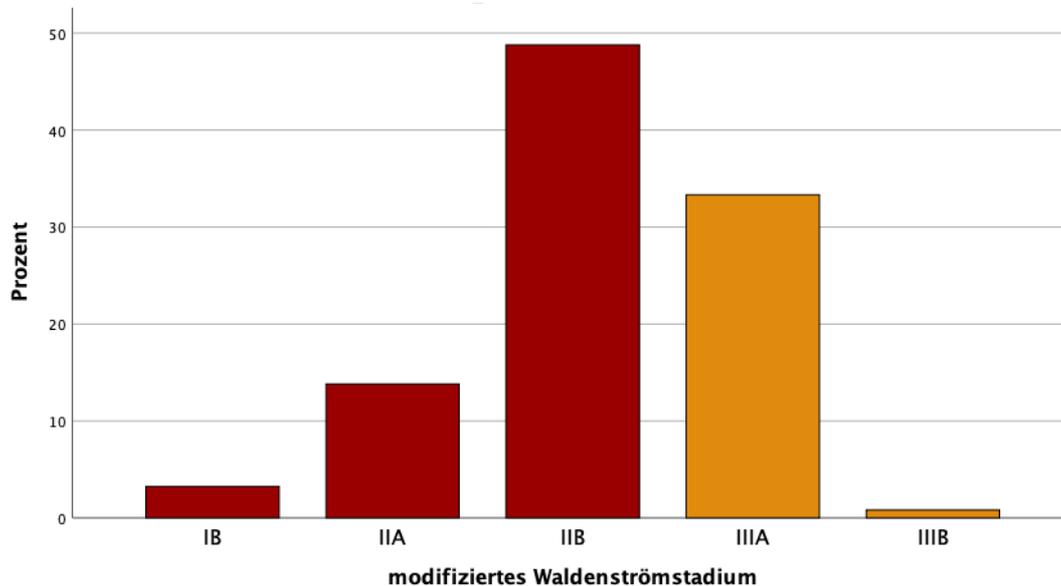


Abb. 38 Balkendiagramm: modifiziertes Waldenströmstadium

In Tab. 4 ist die Verteilung der Patienten der jeweiligen Waldenströmstadien auf die Intervention dargestellt. Es wurden vier Patienten mit Stadium IB, 17 Patienten mit Stadium IIA, 54 Patienten mit Stadium IIB, 37 Patienten mit Stadium IIIA und ein Patient mit Stadium IIIB operiert. Die IVO ist mit 54 Patienten die meistvertretene Intervention.

Tab. 4 Kreuztabelle: Waldenströmstadium in den Interventionsgruppen

Anzahl		Intervention			Gesamt
		Triple	IVO	Triple + IVO	
Mod. Waldenströmstadium	IB	0	3	1	4
	IIA	8	7	2	17
	IIB	17	27	10	54
	IIIA	14	17	6	37
	IIIB	1	0	0	1
Gesamt		40	54	19	113

Das radiologische Endergebnis nach Stulberg ist in Tab. 5 dargestellt. Deskriptiv zeigt sich, dass ein fortgeschrittenes Stadium nach Waldenström mit jeder Intervention mehr gute (Stulberg I und II) und durchschnittliche (Stulberg III) radiologische Endergebnisse hervorbringt als schlechte (Stulberg IV und V). 23 Patienten der Gruppe IIB und 11 Patienten der Gruppe IIIA erzielten Stulberg I und II, 25 Patienten der Gruppe IIB und 18 Patienten der Gruppe IIIA erzielten Stulberg III und acht Patienten der Gruppe IIB und ein Patient der Gruppe IIIA erzielten Stulberg IV und V. 44 Patienten davon wurden mit einer IVO behandelt, 31 Patienten mit einer Tripleosteotomie und 16 Patienten mit der Kombination beider Interventionen. Die IVO ist im Verhältnis gesehen die Intervention, die in der Anzahl bessere radiologische Endergebnisse hervorbrachte. Zur grafischen Veranschaulichung dient zusätzlich das gestapelte Histogramm (Abb. 39).

Tab. 5 Kreuztabelle: Radiologisches Endergebnis des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen

Stulberg-Klassifikation			Intervention			Gesamt
			Triple	IVO	Triple+IVO	
I und II	Mod.	IB	0	1	0	1
		Waldenström	IIA	2	1	1
		IIB	8	13	2	23
		IIIA	1	9	1	11
		Gesamt	11	24	4	39
III	Mod.	IB	0	2	1	3
		Waldenström	IIA	6	1	0
		IIB	7	11	7	25
		IIIA	7	7	4	18
		Gesamt	20	21	12	53
IV und V	Mod.	IIA	0	5	1	6
		Waldenström	IIB	2	3	1
		IIIA	6	1	1	8
		IIIB	1	0	0	1
		Gesamt	9	9	3	21
Gesamt	Mod.	IB	0	3	1	4
		Waldenström	IIA	8	7	2
		IIB	17	27	10	54
		IIIA	14	17	6	37
		IIIB	1	0	0	1
		Gesamt	40	54	19	113

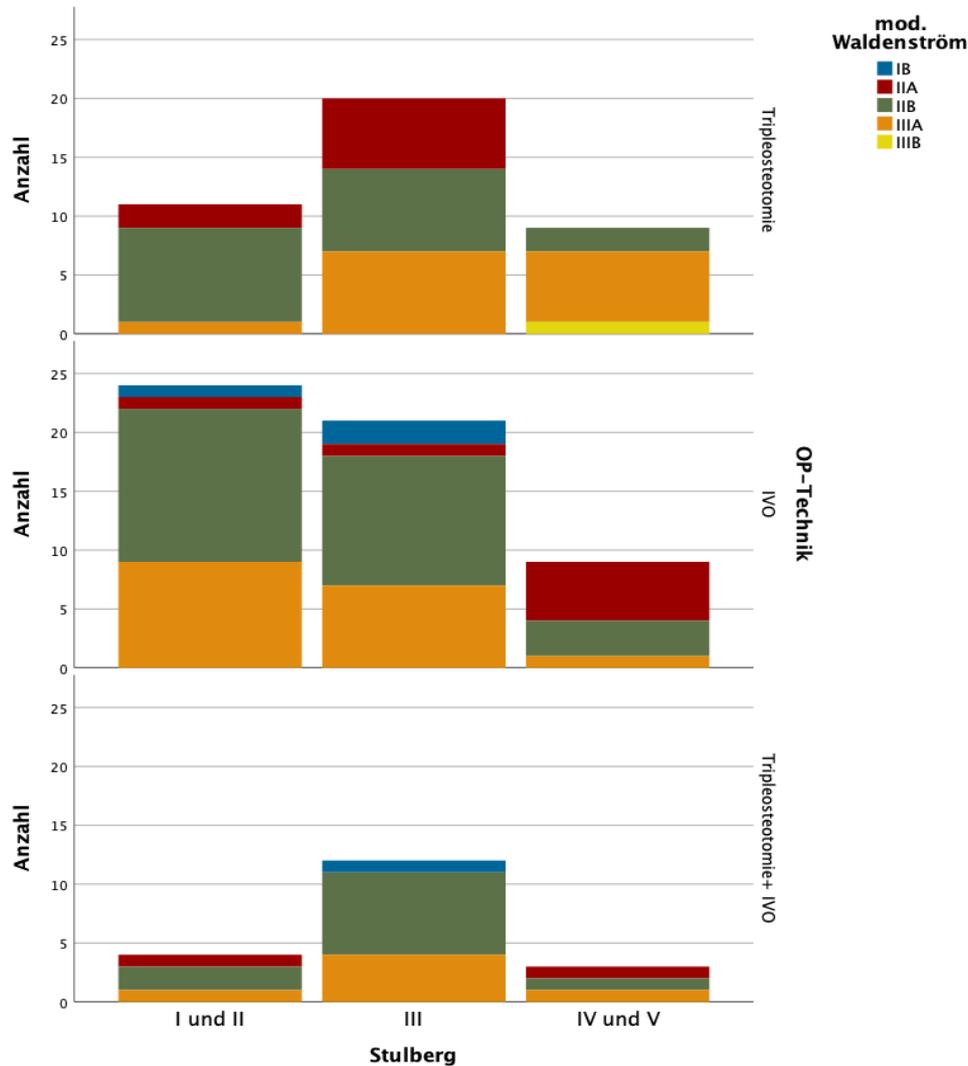


Abb. 39 Gruppieretes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis anhand des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen

In der Beschreibung des klinischen Endergebnisses, wie in Tab. 6 dargestellt, zeigt sich, dass von 38 Patienten mit einem fortgeschrittenen Waldenström-Ergebnis 29 Patienten nach der Behandlung einen „guten“ bis „exzellenten“ Harris-Hip-Score von über 80 Punkten erreicht haben. Die Patienten mit der Einschätzung eines frühen Waldenströmstadiums erreichten mit 85,7% einen Harris-Hip-Score über 80 Punkte. 47,6% der Patienten mit diesem Harris-Hip-Score wurden einer IVO unterzogen, 38,1% erhielten eine Tripleosteotomie und 14,3% eine kombinierte Intervention beider. Grafisch sind diese Zahlen in Abb. 40 verdeutlicht.

Tab. 6 Kreuztabelle: Klinisches Endergebnis des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen

Anzahl			Intervention			Gesamt
Harris-Hip-Score			Triple	IVO	Triple+IVO	
0-79	Mod.	IIA	1	2	0	3
		Waldenström	IIB	0	4	2
		IIIA	5	0	3	8
		IIIB	1	0	0	1
		Gesamt	7	6	5	18
80-100	Mod.	IB	0	3	1	4
		Waldenström	IIA	7	5	2
		IIB	17	23	8	48
		IIIA	9	17	3	29
		Gesamt	33	48	14	95
	Gesamt	40	54	19	113	

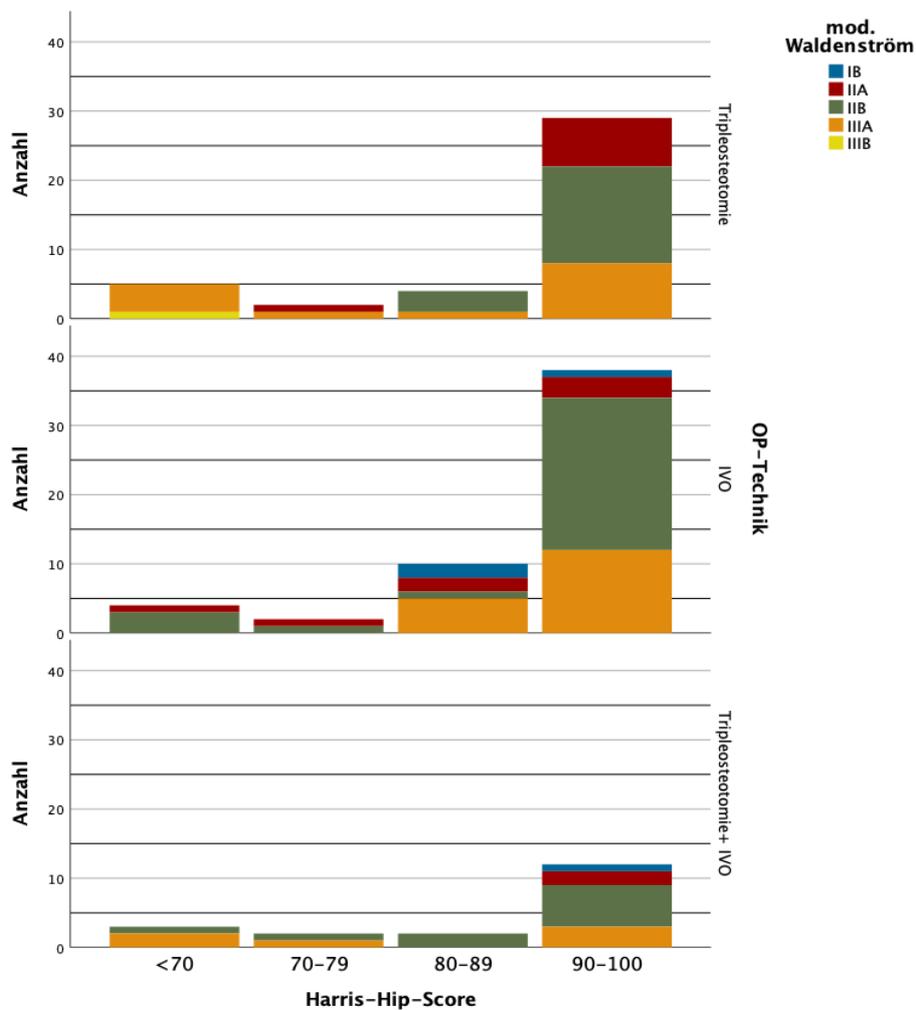


Abb. 40 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis anhand des modifizierten Waldenströmstadiums in den Interventionsgruppen

3.4.4 Abmessung des Gelenkspaltes

Die bemessene Differenz der Distanz zwischen der Köhler-Tränenfigur und der medialen Epiphyse ist im folgenden Histogramm dargestellt (Abb. 41). Der Mittelwert betrug hier 5,86 mm bei einer Standardabweichung von 3,254 mm.

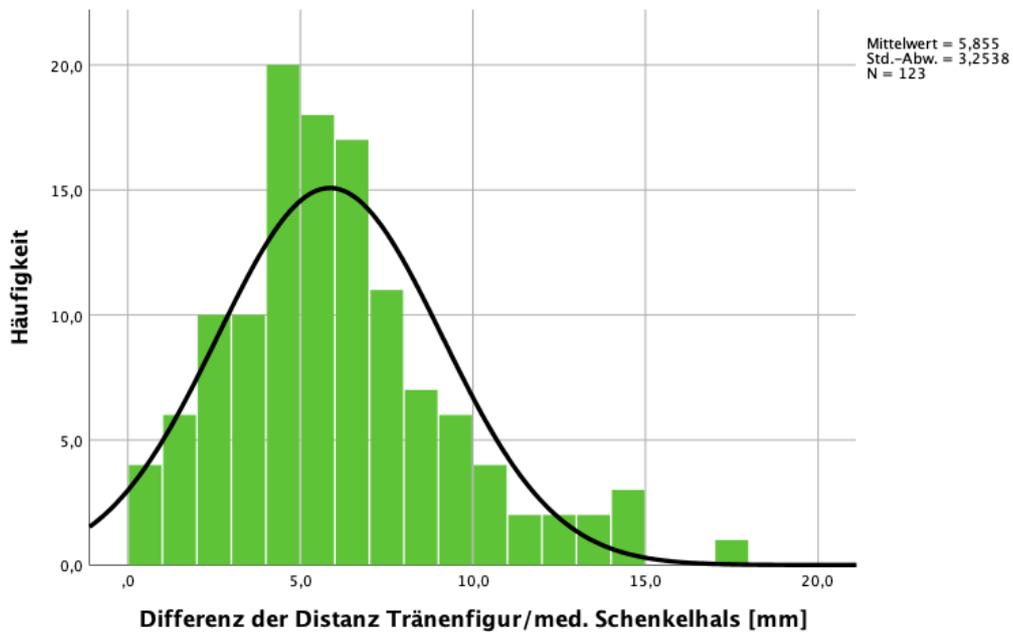


Abb. 41 Histogramm: Differenz der Distanz des Gelenkspaltes

Im folgenden Boxplot (Abb. 42), der eine Verbindung zwischen der Differenz aus den subtrahierten Gelenkspalten der gesunden und der erkrankten Seite und der zugewiesenen Intervention darstellen soll, ist sichtbar, dass Patienten mit durchschnittlich höheren Werten einer Tripleosteotomie unterzogen wurden.

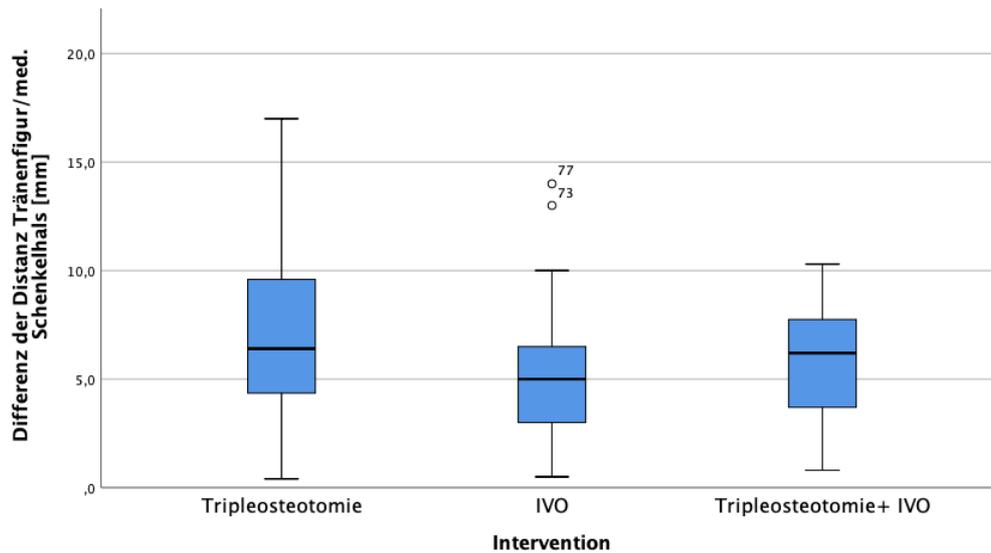


Abb. 42 Boxplot: Differenz der Distanz des Gelenkspaltes in den Interventionsgruppen

3.5 Klinische Parameter im Verlauf

3.5.1 Duchenne-Hinken

Ein klinisches Duchenne-Hinken konnte präoperativ bei 35 Patienten als „positiv“ und bei 54 Patienten als „negativ“ beurteilt werden (Abb. 43). Bei der letzten Nachuntersuchung hingegen wiesen lediglich 14 Patienten ein Duchenne-Hinken auf und 84 Patienten wurden ohne hinkendes Gangbild nach Duchenne beurteilt. Das positive Duchenne-Hinken war bei der letzten Nachuntersuchung um 60% gesunken.

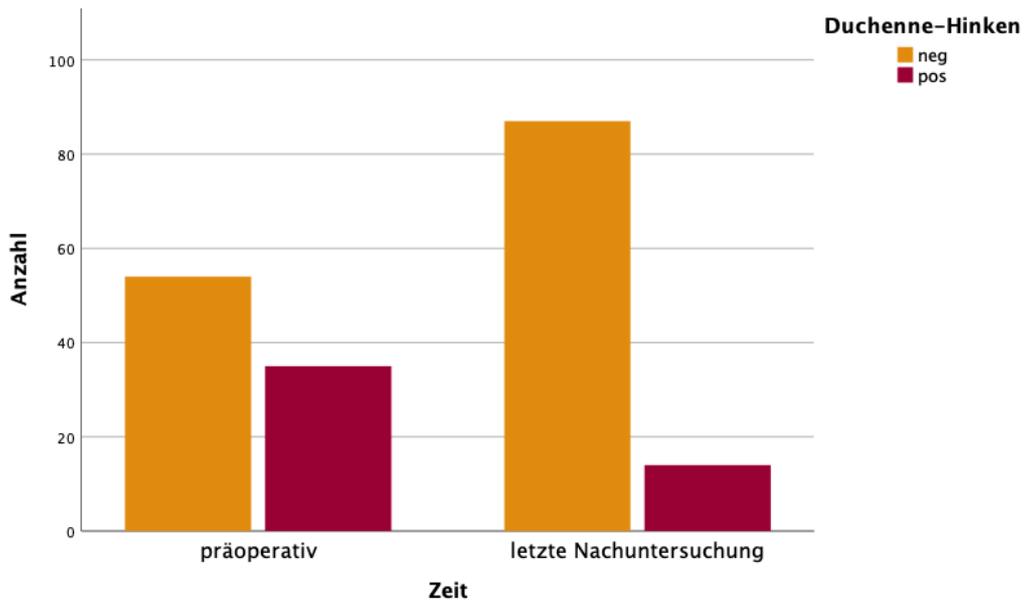


Abb. 43 Balkendiagramm: Duchenne-Hinken im zeitlichen Verlauf

3.5.2 Trendelenburgzeichen

Die Untersuchung eines vorliegenden positiven Trendelenburgzeichens fiel präoperativ bei 43 Patienten auf und konnte im Verlauf um 44,2 % auf 24 Patientenfälle reduziert werden (Abb. 44). Negativ war das Trendelenburgzeichen bei 34 Patienten präoperativ und bei 74 Patienten in der letzten Wiedervorstellung der Datenerhebung zu erfassen.

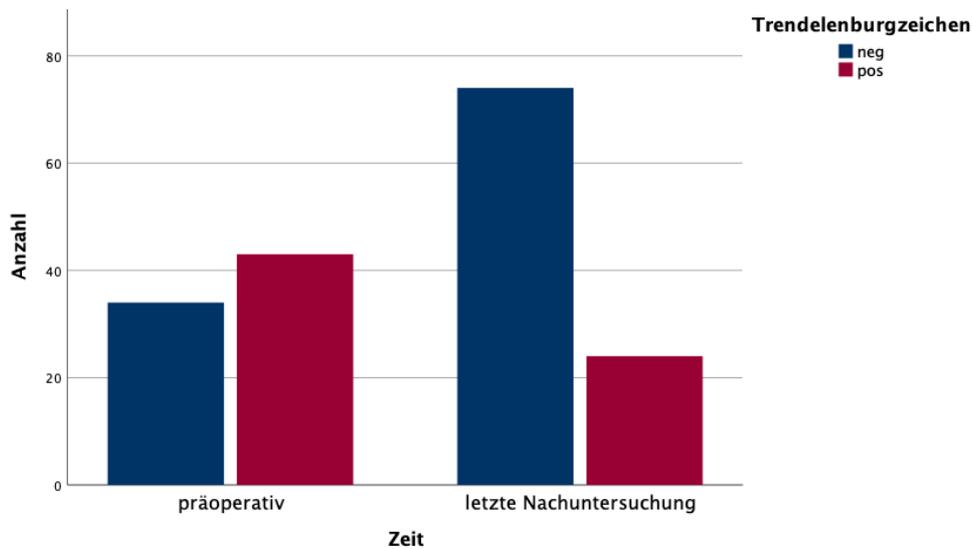


Abb. 44 Balkendiagramm: Trendelenburgzeichen im zeitlichen Verlauf

In jeder Interventionsgruppe verringerte sich das positive Trendelenburgzeichen von dem Zeitpunkt vor der Operation bis zu der letzten Nachuntersuchung (Abb. 45). In der Patientengruppe, die eine Tripleosteotomie erhielt, war der Rückgang des Trendelenburgzeichens 19,37%, hingegen in der Kollektivgruppe der IVO 42,01%. In 23,33% der Fälle der Kombination von IVO und Triple war ebenso eine Senkung des Trendelenburgzeichens vorhanden. Deskriptiv schneidet somit die Tripleosteotomie im Vergleich schlechter ab als die beiden anderen Interventionen.

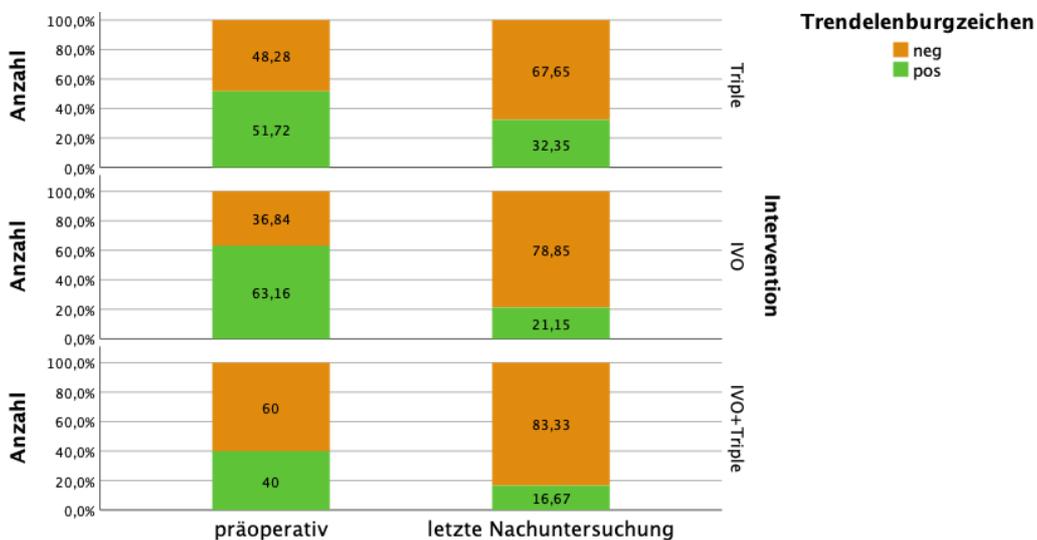


Abb. 45 Gruppierendes Balkendiagramm: Trendelenburgzeichen in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Vergleicht man die Interventionen bezüglich ihrer guten radiologischen Endergebnisse (Stulberg I und II) und dem Ausbleiben des Trendelenburgzeichens (Abb. 46), schneidet die Tripleosteotomie mit 20,58%, die IVO mit 42,0% und die Kombination mit 16,67% ab. Hierbei scheint die IVO deskriptiv das beste Outcome dieser beiden Parameter zu bringen.

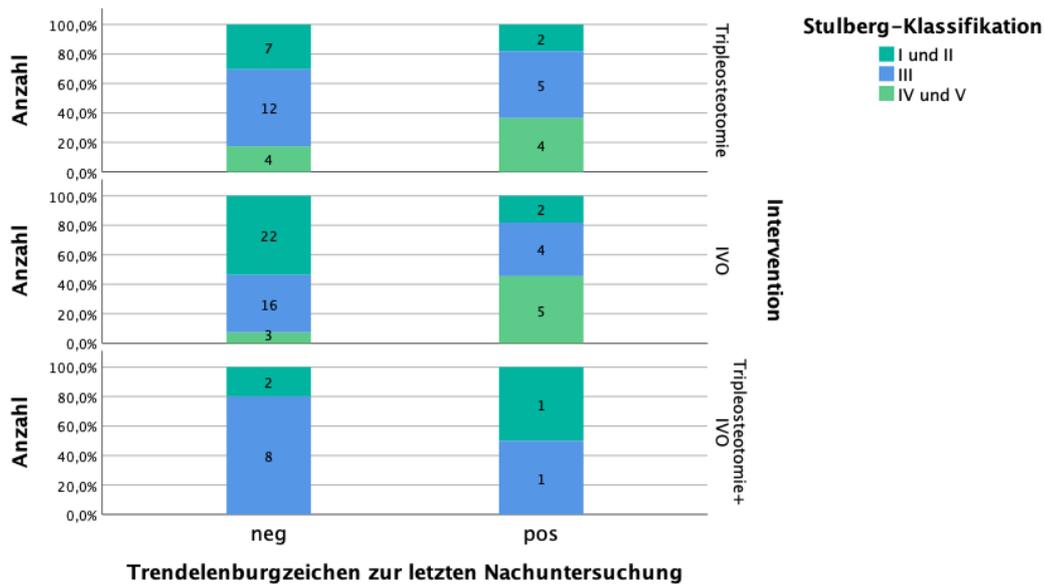


Abb. 46 Gruppieretes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis des Trendelenburgzeichens in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Ein klinisch sehr gutes Endergebnis (Harris-Hip-Score 90-100 Punkte) mit dem Ausbleiben des Trendelenburgzeichens, fokussiert auf die operative Methode, ist bei 55,88% der Tripleosteotomie-Patienten, 65% der IVO-Patienten und 75% der IVO-Tripleosteotomie-Patienten eingetreten (Abb. 47). Das Erreichen eines Harris-Hip-Scores von 80-89 Punkten ohne einem Trendelenburgzeichen erreichten 2,94% aus dem Kollektiv der Tripleosteotomie, 11,53% aus dem Kollektiv der IVO und 8,3% aus dem Kollektiv der kombinierten Therapie. Bezüglich des klinischen Outcomes schnitt die Kombination aus Tripleosteotomie und IVO am besten ab.

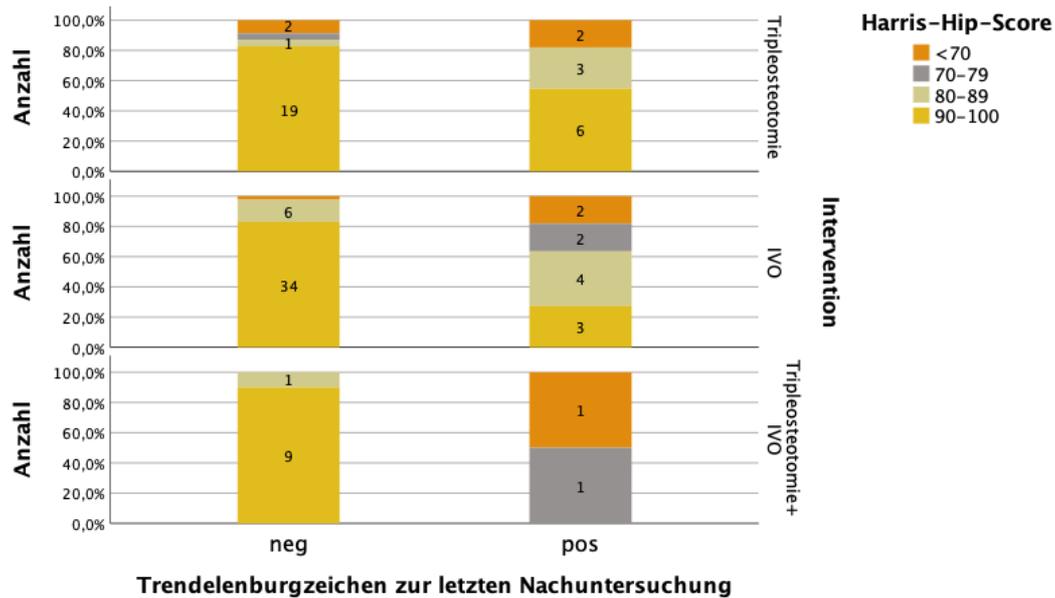


Abb. 47 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des Trendelenburgzeichens in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

3.6 Radiologische Parameter im Verlauf

3.6.1 Migrationsindex nach Reimers

Der Migrationsindex nach Reimers (Abb. 48) nahm präoperativ im Median den Wert 18,81%, in der 25%-Perzentile 12,50% und in der 75%-Perzentile 26,09% an. Zum postoperativen Zeitpunkt senkte sich der Median auf 12,30%, 7,37% in der 25%-Perzentile und 18,46% in der 75%-Perzentile. Zuletzt war der erhobene Wert des Medians 13,21% bei einem 25%-Perzentil-Wert von 8,61% und einem 75%-Perzentil-Wert von 20,61%. Die Mittelwerte lagen zu diesen Zeitpunkten bei 19,62%, 12,79% und 15,21%. Somit wurde zuerst ein Abfall im Mittelwert des Migrationsindexes von 6,83% verzeichnet, gefolgt von einem kleineren Anstieg um 2,42%.

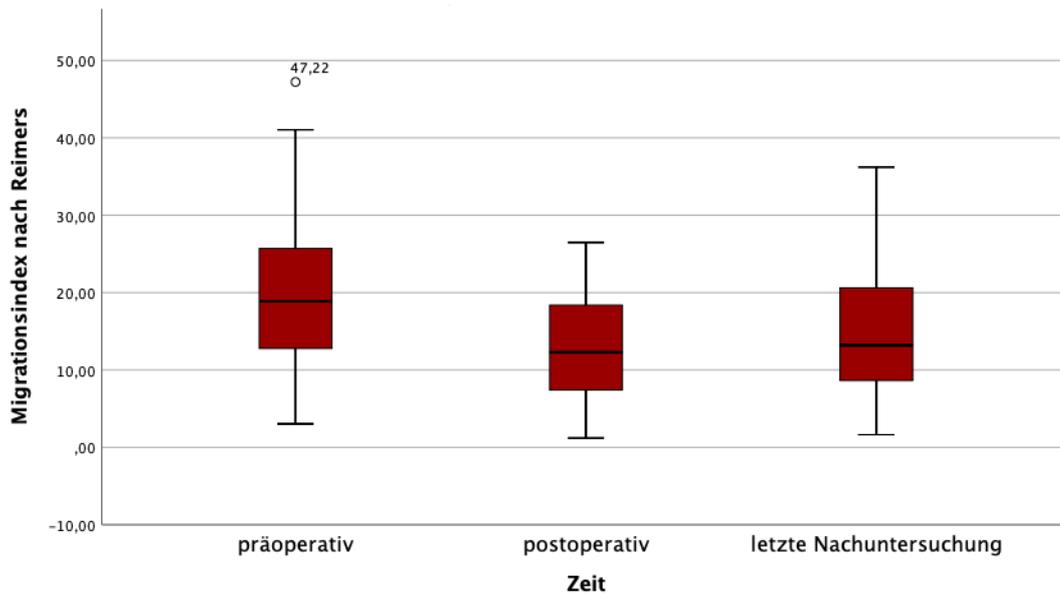


Abb. 48 Boxplot: Migrationsindex nach Reimers im zeitlichen Verlauf

Der Mittelwert des Migrationsindex nach Reimers, aufgeteilt in die verschiedenen Interventionsgruppen (Abb. 49), sank bei der Tripleosteotomie um 8,87% und stieg darauffolgend um 1,33%. Bei der IVO fiel der Migrationsindex nach Reimers nach der Operation um 2,81% und stieg um 4,17% wieder an. Der Mittelwert fiel bei der hypercontainmentbringenden Interventionsgruppe um 11,12% und konnte mit weiteren 1,99% gesenkt werden. Dabei fällt die Differenz zwischen den präoperativ erhobenen Indizes von 20,19%, 16,87% und 23,85% auf und unterstreicht damit die Schwere des Befundes. Die Kombination der Tripleosteotomie und der IVO war die einzige Methode, bei der zwischen den Zeitpunkten ein zweimaliges Absinken der Prozentzahlen beobachtet werden konnte und die am Ende den geringsten Mittelwert aufwies und somit das beste Containment im Vergleich der Interventionen hervorbrachte.

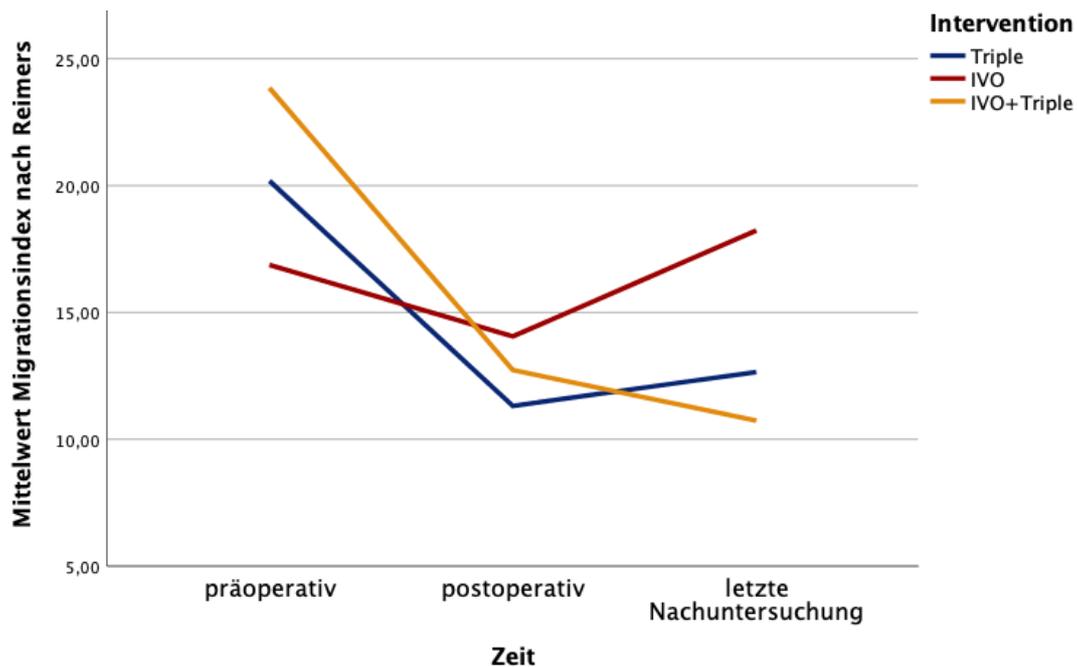


Abb. 49 Liniendiagramm: Migrationsindex nach Reimers in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Es stellte sich die Frage, ob der Migrationsindex nach Reimers als zuverlässiger Prädiktor in Bezug auf das klinische Outcome, das mit dem Harris-Hip-Score erhoben wurde, fungieren kann und sich so ein Cut-off-Wert berechnen ließe. Daraufhin wurde eine ROC-Kurve berechnet und die Fläche unter der Kurve (AUC) ergab mit 0,703 einen ausreichend hohen Wert, um einen Cut-off von 22% bei einer Sensibilität von 72,2% und einer Spezifität von 67,6% festzulegen. Im darauffolgenden wurde die Variable mit dem neuen Wert von 22% umcodiert und ausgewertet.

Im folgenden Diagramm ist der Migrationsindex bei 22% unterteilt und auf die Interventionen im Verlauf aufgetragen (Abb. 50). Hierbei wird die bereits beschriebene Tendenz in den Interventionsgruppen aufgrund der eingetragenen Patientenzahlen noch einmal dargestellt.

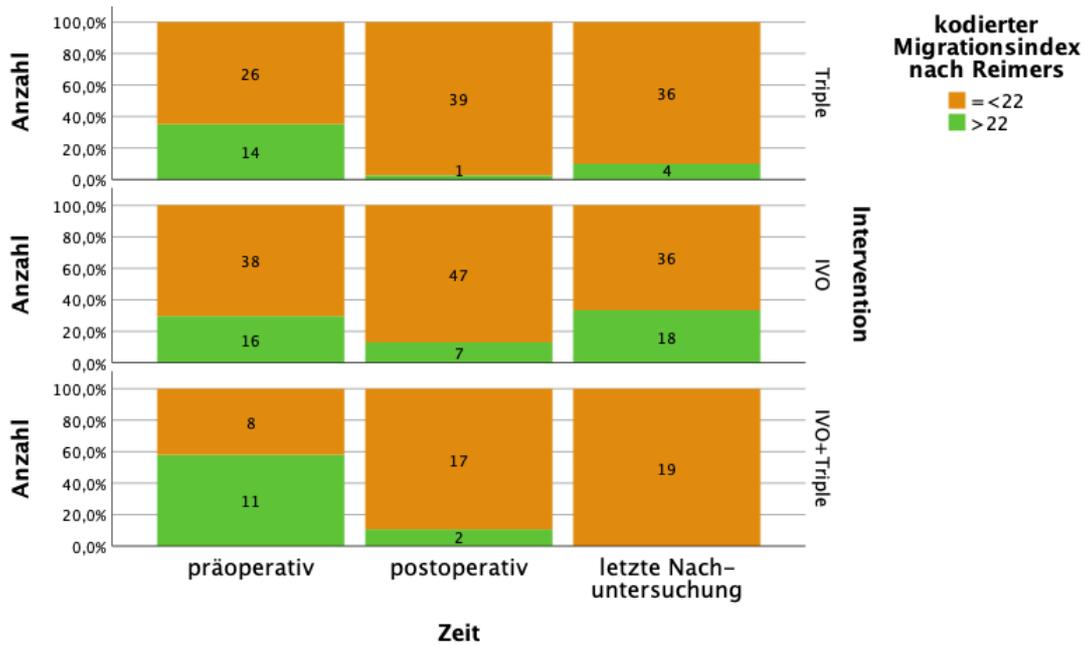


Abb. 50 Gruppieretes Balkendiagramm: Migrationsindex nach Reimers in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Im Folgenden wurde in den Interventionsgruppen der präoperative Migrationsindex nach Reimers mit der resultierenden Stulberg-Klassifikation in Bezug gesetzt (Abb. 51). In der Patientengruppe der Tripleosteotomie resultierten trotz eines beginnenden schlechten Migrationsindex ($\geq 22\%$) vier Patienten (30,77%) mit einem Stulberg I und II. Ebenso erreichten vier Patienten (33,33%) bei einem guten Migrationsindex präoperativ einen unbefriedigenden Stulberg IV und V bei der letzten Nachuntersuchung. In der Gruppe der IVO beendeten sechs Patienten (46,15%), die mit einem schlechten Migrationsindex ($\geq 22\%$) in die Therapie gestartet sind, ihre Behandlung mit Stulberg I und II. Wiederum sechs Patienten (50%) beendeten die Therapie trotz guten Migrationsindex ($< 22\%$) mit einem Stulberg IV und V. In der kombinierten Intervention betrug die Gruppe mit präoperativ schlechtem Migrationsindex ($\geq 22\%$) und einem finalen Stulberg I und II drei Patienten (23,08%). Die Gruppe mit einem guten Migrationsindex und einem schlechten Stulberg IV und V konnte bei zwei Patienten (16,67%) beobachtet werden. Insgesamt ist das Patientenkollektiv mit Stulberg I und II und einem Migrationsindex nach Reimers von kleiner 22% am häufigsten durch 18 Patienten der IVO vertreten, gefolgt von

sieben Patienten mit einer Tripleosteotomie und einem Patienten mit der Kombination beider Interventionen.

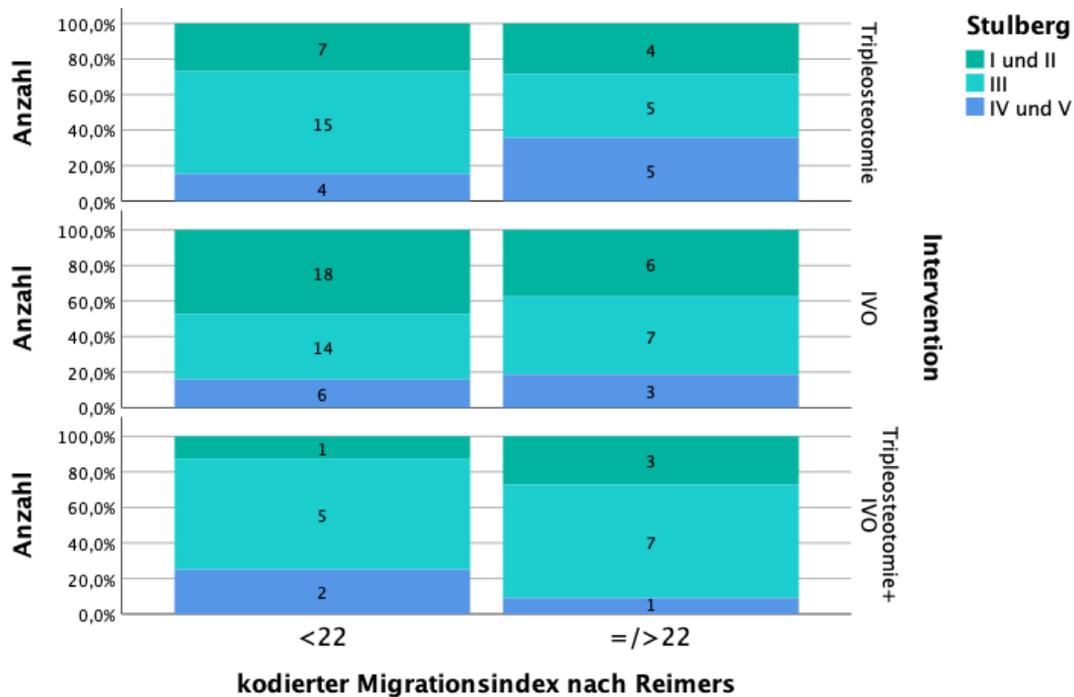


Abb. 51 Gruppierendes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis des kodierten MI nach Reimers präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Die Auswertung des klinischen Ergebnisses wurde aufgrund der ROC-Kurve mit der binären Unterteilung des Harris-Hip-Scores vorgenommen (Abb. 52). Die Gruppe des Patientenkollektivs, die mit einem Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte abschnitt, bestand präoperativ aus fünf Patienten mit einem guten Migrationsindex nach Reimers und 13 Patienten mit einem schlechten Migrationsindex nach Reimers. Die Patienten, die trotz des besseren Incomes ein schlechtes Outcome hatten, waren jeweils 40% des Kollektivs der Tripleosteotomie und der IVO, 20% betrug der Patientenanteil der kombinierten Intervention. In der Gruppe eines guten Harris-Hip-Scores zum Ende der Behandlung hatten 67 Patienten zuvor einen guten Migrationsindex und 28 Patienten einen schlechten Migrationsindex. Das bedeutet, dass in 42,86% die IVO, in 32,14% die Tripleosteotomie und in 25% die kombinierte Operation den Patienten trotz schlechten Migrationsindex nach Reimers präoperativ zu einem

guten Outcome verhalfen. Hier ist die IVO dezent besser zu bewerten als die anderen Interventionen.

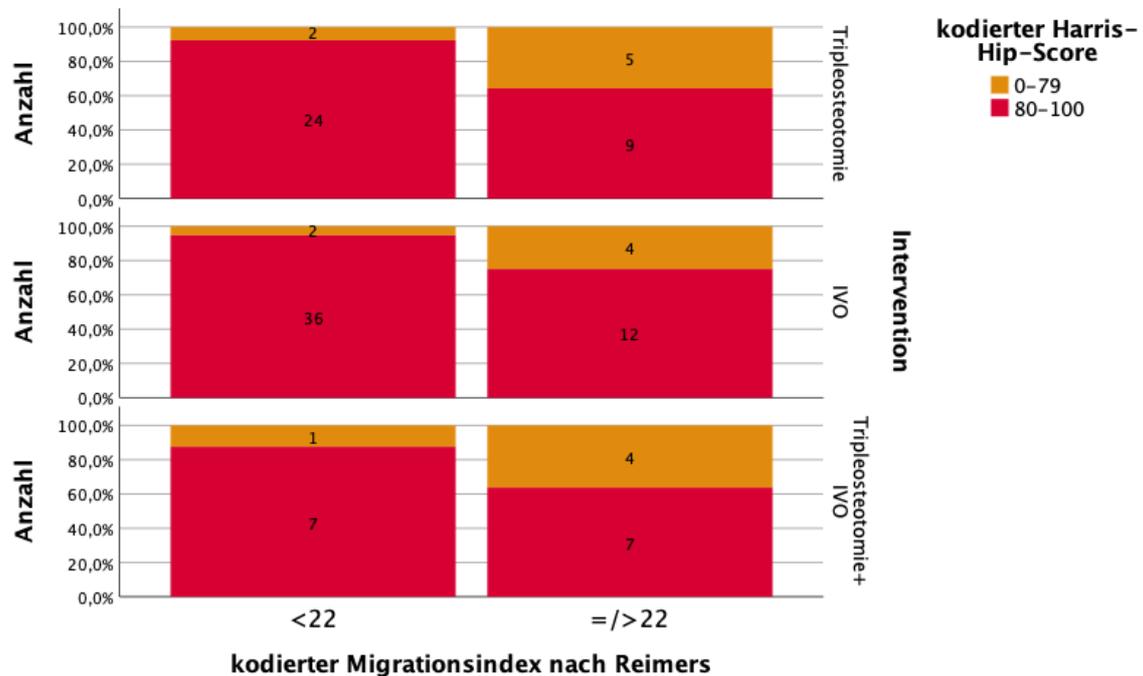


Abb. 52 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des kodierten MI nach Reimers präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

3.6.2 Ménard-Shenton-Linie

Die Ménard-Shenton-Linie war in den Röntgenbildern präoperativ bei 85 Patienten unterbrochen, postoperativ reduzierte sich dieses röntgenologische Phänomen auf 37 Patienten und bei der letzten Nachuntersuchung auf 33 Patienten (Abb. 53). Bei 37 Patienten war die Ménard-Shenton-Linie präoperativ negativ, diese Gruppe steigerte sich postoperativ auf 84 Patienten und bei der letzten Nachuntersuchung auf 90 Patienten.

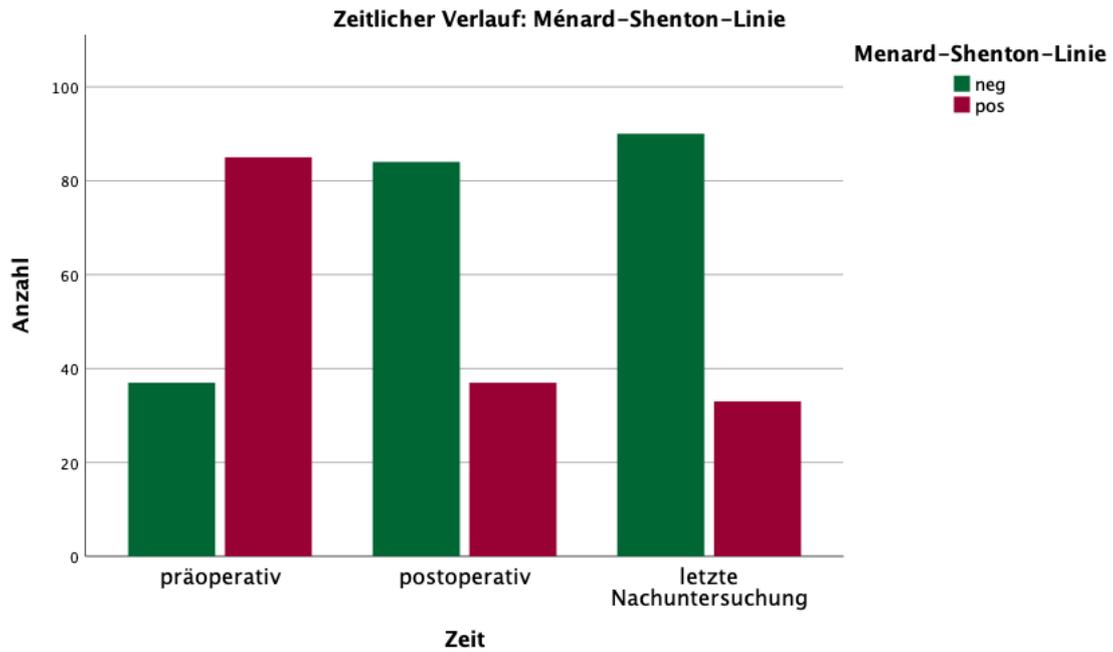


Abb. 53 Balkendiagramm: Ménard-Shenton-Linie im zeitlichen Verlauf

Es stellte sich auch hier im Folgenden die Frage nach der Zuteilung der Gruppen auf die verschiedenen Interventionen.

Wie dargestellt (vgl. Tab. 7), nahm die Anzahl der unterbrochenen Ménard-Shenton-Linie im Röntgen bei jeder Intervention ab:

Tab. 7 Kreuztabelle: Ménard-Shenton-Linie in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Ménard-Shenton-Linie positiv	Intervention		
	Triple	IVO	IVO+Triple
präoperativ	30	34	16
postoperativ	9	16	6
Letzte Nachuntersuchung	12	14	6

Bei der Tripleosteotomie fällt hierbei auf, dass sich die radiologischen Ergebnisse bei der letzten Nachuntersuchung im Vergleich zu dem postoperativen Ergebnis wieder verschlechtert hatten. Bei der IVO war das Gegenteil der Fall.

Im postoperativen Ergebnis hat die Tripleosteotomie mit dem reduzierten Vorkommen einer positiven Ménard-Shenton-Linie um 42% ein besseres

Ergebnis als die Reduktion durch die IVO um 36% (Abb. 54). Dies ändert sich in den untersuchten Röntgenbildern der letzten Nachuntersuchung, indem die Ménard-Shenton-Linie im Vergleich zur präoperativen Ausgangslage bei der IVO um 40% und bei der Tripleosteotomie um 36% reduziert wurde. Die kombinierte Therapie erreichte eine Senkung der positiven Ménard-Shenton-Linie um 52,63% zur postoperativen Kontrolle. Dieses Ergebnis blieb bis zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung stabil. Dieses höhere Prozentzahl verglichen mit den Ergebnissen der anderen Interventionen, beinhaltet 10 Patienten und ist aufgrund der relativ geringen Fallzahl im Verhältnis kritisch zu betrachten.

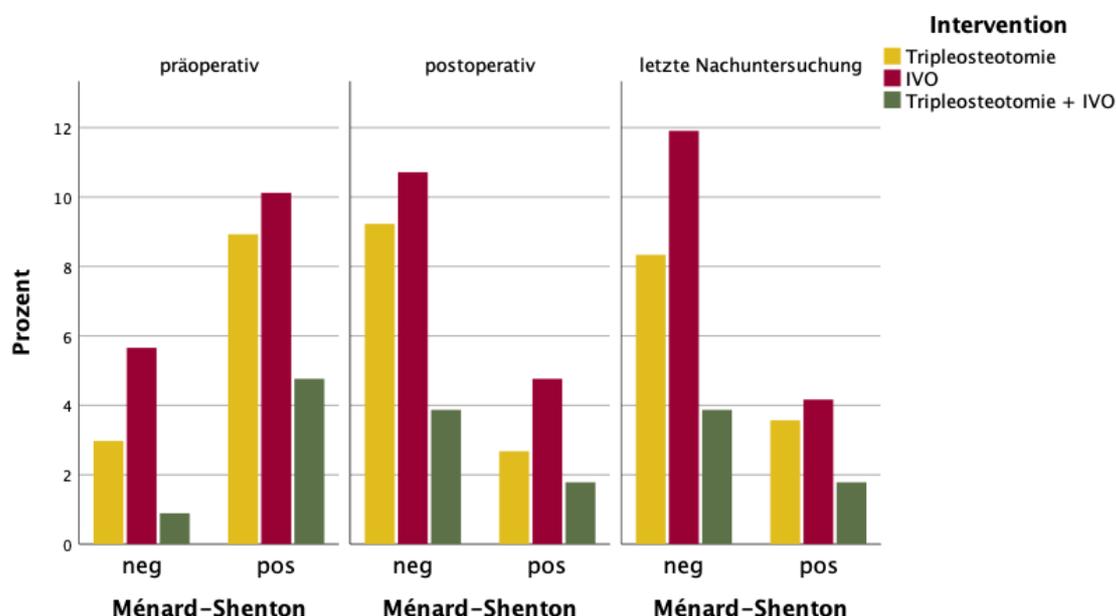


Abb. 54 Gruppieretes Balkendiagramm: Ménard-Shenton-Linie in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Das Outcome, bewertet mit der Stulberg-Klassifikation innerhalb der verschiedenen Interventionsgruppen bezogen auf die präoperative Ménard-Shenton-Linie, ist in Abb. 55 abgebildet. 71,43% der Patienten hatten vor Therapiebeginn eine positive Ménard-Shenton-Linie im Röntgenbild. Im radiologischen Endergebnis nach Stulberg I und II wiesen 15 Patienten eine negative und 23 Patienten eine positive Linie auf. In der Patientengruppe mit dem Ergebnis nach Stulberg III hatten 12 Patienten eine ununterbrochene und 41

Patienten eine unterbrochene Ménard-Shenton-Linie nach dem Therapieabschluss. In der Gruppe mit einem schlechten Stulberg IV und V hatten insgesamt fünf Patienten eine negative und 16 Patienten eine positive Ménard-Shenton-Linie. Vergleicht man die Verhältnisse von relativer und absoluter Zahl der Patienten mit positiver Ménard-Shenton-Linie in der jeweiligen Interventionsgruppe, erzielte die IVO prozentual die besten radiologischen Ergebnisse nach Stulberg I und II.

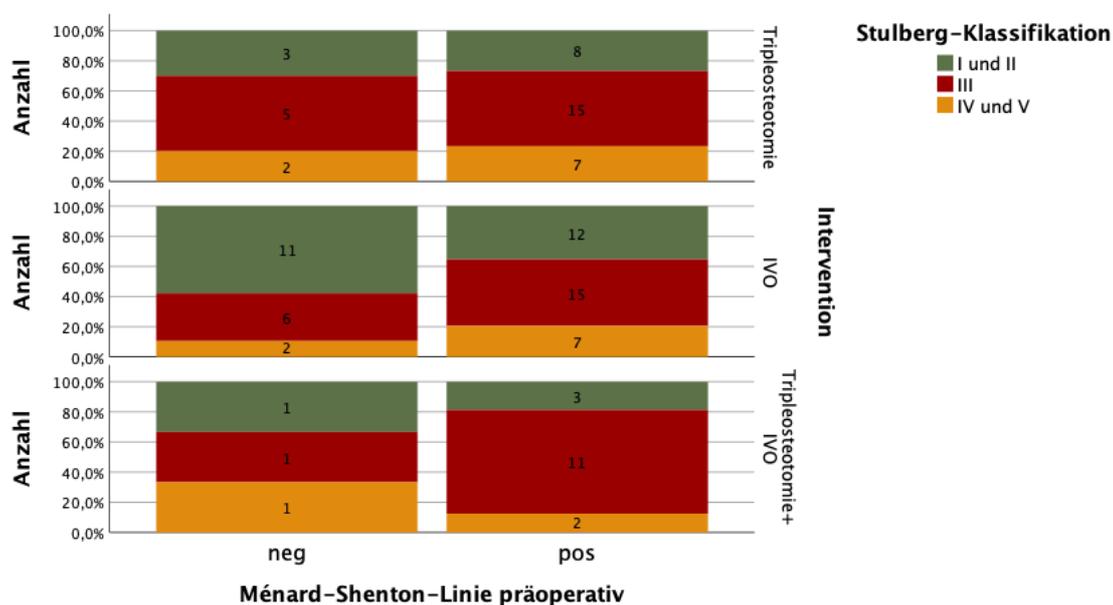


Abb. 55 Gruppierendes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis der Ménard-Shenton-Linie präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Das klinische Endergebnis, bewertet mit dem Harris-Hip-Score innerhalb der verschiedenen Interventionsgruppen und bezogen auf die präoperative Ménard-Shenton-Linie, ist in Abb. 56 abgebildet. Im klinischen Endergebnis wiesen bei einem Harris-Hip-Score von 90-100 Punkten 27 Patienten eine negative und 51 Patienten eine positive Linie auf. Die IVO war hierbei die Methode, die mit dem höchsten Prozentsatz an nicht-unterbrochenen und mit dem niedrigsten Prozentsatz an unterbrochenen Ménard-Shenton-Linien mit einem „exzellenten“ Harris-Hip-Score abschnitt.

In der Gruppe eines schlechten Harris-Hip-Score-Ergebnisses mit kleiner als 70 Punkten, waren insgesamt drei Patienten negativ und neun Patienten positiv. Hier sind die Interventionen fast als gleichauf zu bewerten, da die Ergebnisse sehr eng beieinander liegen und die geringe Anzahl an Patienten nicht genug Trennschärfe zulässt.

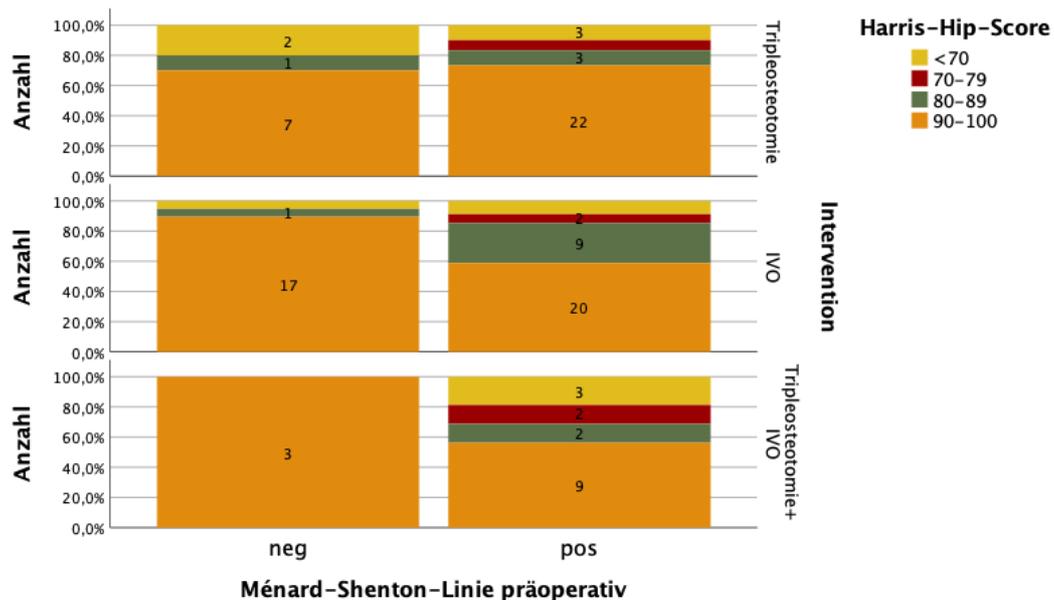


Abb. 56 Gruppierendes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis der Ménéard-Shenton-Linie präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

3.6.3 Epiphysenquotient nach Heyman und Herndon

Der Epiphysenquotient nahm präoperativ Werte im Bereich von 0 bis 2,64 an (Abb. 57). Hier betrug der Mittelwert 0,55, mit einer Standardabweichung von 0,53. Im letzten Röntgenbild, in dem ein Epiphysenspalt gerade noch erkennbar war, also das Wachstum bereits weit fortgeschritten war, betrug der Quotient im Minimum 0,2 und im Maximum 3,43. Hierbei lag der Mittelwert bei 0,56, bei einer Standardabweichung von 0,37. Die Mittelwerte lagen im Bereich „fair“ (zwischen 0,4 und 0,6), jedoch nahm die Patientenanzahl, die im guten Bereich lag (> 0,6) ab und die, die mit „poor“ und „fair“ beurteilt wurden, zu. Das bedeutet, dass diese Patienten eine Einbuße in der Höhe der Epiphyse und dafür einen im Verhältnis breiten Hüftkopf bekamen.

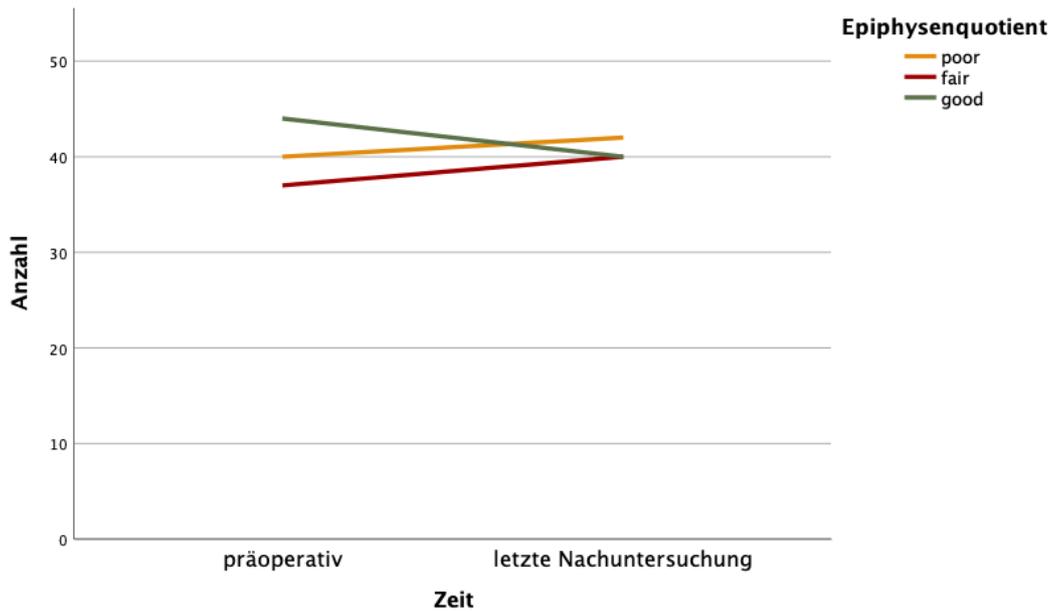


Abb. 57 Liniendiagramm: Epiphysenquotient im zeitlichen Verlauf

Zur Veranschaulichung des möglichen Unterschiedes zwischen den Interventionen und der Entwicklung des Epiphysenquotienten dient Tab. 8.

Tab. 8 Kreuztabelle: Epiphysenquotient in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Intervention		präoperativ	letzte Untersuchung	Gesamt
Triple	poor	16	14	30
	fair	10	12	22
	good	14	14	28
	Gesamt	40	40	80
IVO	poor	17	15	32
	fair	15	21	36
	good	22	18	40
	Gesamt	54	54	108
Triple+IVO	poor	3	8	11
	fair	9	4	13
	good	6	6	12
	Gesamt	18	18	36
Gesamt	poor	36	37	73
	fair	34	37	71
	good	42	38	80
	Gesamt	112	112	224

In keiner Interventionsgruppe konnte eine gesteigerte Anzahl an guten Epiphysenquotienten nach der Behandlung beobachtet werden. Bei der Tripleosteotomie und der IVO bestand bei beiden Interventionen ein Rückgang in der Gruppe „poor“ (Tripleosteotomie: 5%, IVO: 3,7%) und ein Zuwachs in der Gruppe „fair“ (Tripleosteotomie: 5%, IVO: 11,11%). In der Gruppe der kombinierten Intervention stieg die Gruppe „poor“ um 16,67% an, die Gruppe „fair“ fiel um 16,67% ab. Somit schneidet hier die kombinierte Intervention schlechter ab als jeweils die beiden Operationsmethoden für sich gesehen. Dieses Ergebnis ist grafisch in folgendem Diagramm abgebildet (Abb. 58).

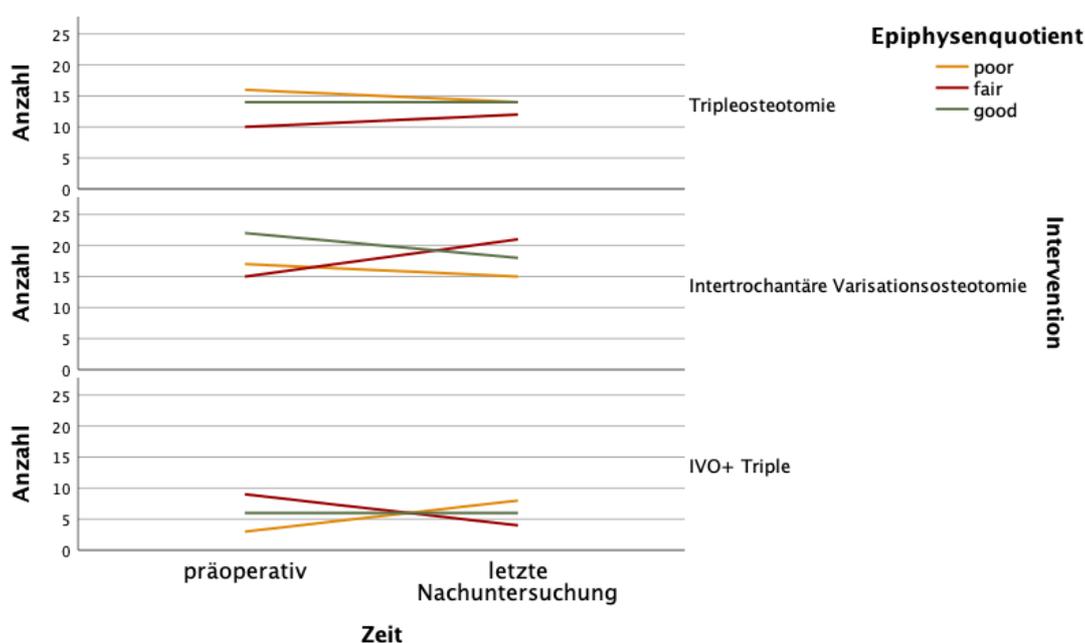


Abb. 58 Gruppierendes Liniendiagramm: Epiphysenquotient präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Das radiologische Outcome der Interventionsgruppen ergab bei sieben Patienten mit einem schlechten Epiphysenquotienten („poor“) und bei 15 Patienten mit einem guten Epiphysenquotienten („good“) einen Stulberg I und II. In beiden Fällen trägt die IVO den prozentual höheren Anteil. Ein radiologisch schlechtes Ergebnis (Stulberg IV und V) trat bei 11 Patienten mit einem schlechten Epiphysenquotienten („poor“) und bei sieben Patienten mit einem guten Epiphysenquotienten („good“) auf. In beiden Fällen wurden die Patienten

prozentual betrachtet am häufigsten mit einer Tripleosteotomie behandelt (Abb. 59).

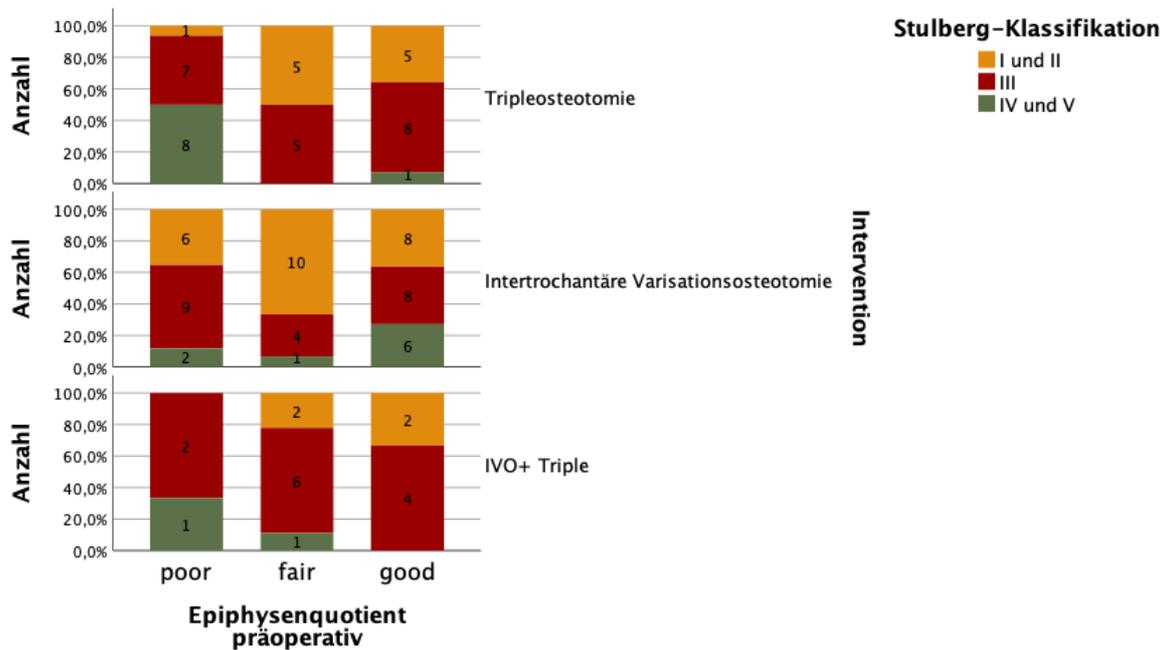


Abb. 59 Gruppieretes Balkendiagramm: Radiologisches Endergebnis des Epiphysenquotienten präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Das klinische Endergebnis wird in Abb. 60 dargestellt. Von den 78 Patienten, die einen „exzellenten“ Harris-Hip-Score erreichten, wurde der Epiphysenquotient bei 24 Patienten mit „poor“, 26 Patienten mit „fair“ und 28 Patienten mit „good“ eingestuft. Die IVO war in diesen guten Ergebnissen prozentual die am häufigsten verwendete Intervention. Einen schlechten Harris-Hip-Score (< 70 Punkte) erreichten 12 Patienten, darunter bezüglich dem Epiphysenquotienten sieben Patienten mit „poor“, ein Patient mit „fair“ und vier Patienten mit „good“. In der Personengruppe, die hierbei mit „poor“ und Harris-Hip-Score kleiner als 70 Punkte eingestuft wurden, war die Tripleosteotomie die prozentual am häufigsten durchgeführte Intervention.

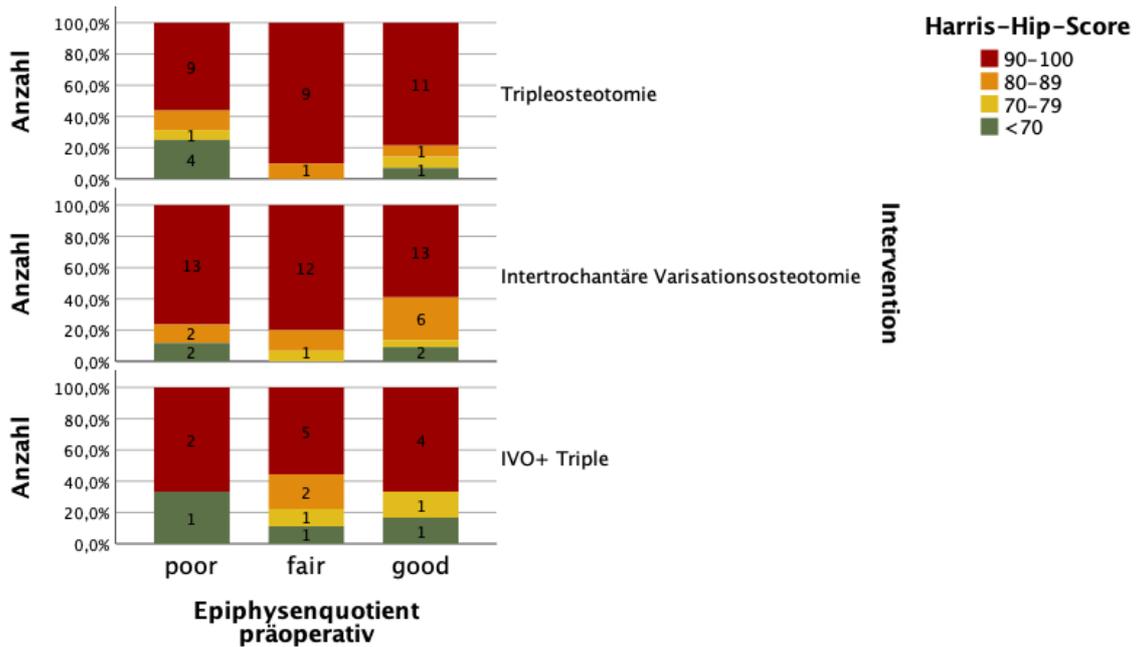


Abb. 60 Gruppieretes Balkendiagramm: Klinisches Endergebnis des Epiphysenquotienten präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

3.6.4 Centrotrochantäre Distanz

Die erhobenen Werte der Centrotrochantären Distanz nahmen minimal -33,30 mm und maximal 28,20 mm an. Der unabhängig von der Intervention gemessene Mittelwert betrug -2,64 mm mit einer Standardabweichung von 8,88 mm.

In Abb. 61 ist die CTD anhand der Intervention unterteilt und im zeitlichen Verlauf aufgetragen. Im Verlauf sieht man eine Verschiebung der Werte in den negativen Bereich des Mittelwerts, was die Tendenz des Überraagens der Trochanter major-Spitze über das Femurkopfzentrum bedeuten kann.

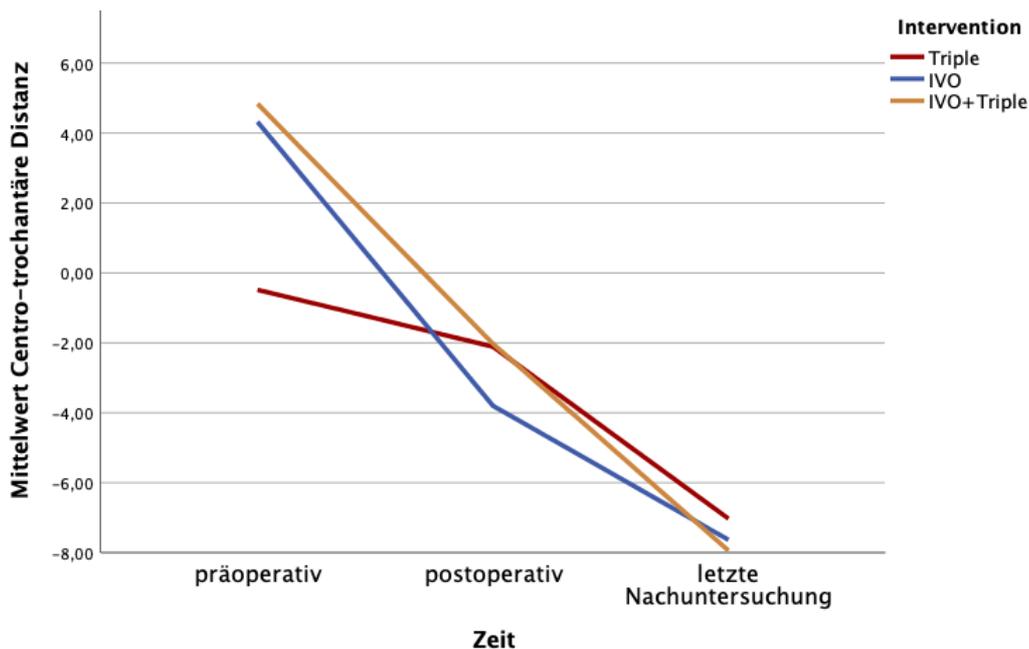


Abb. 61 Liniendiagramm: Mittelwerte der CTD in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Die Senkung des Mittelwerts der CTD unterschied sich zwischen den verschiedenen Interventionen wie folgt (Tab. 9): Tripleosteotomie -6,55 mm, IVO -11,95 mm, Tripleosteotomie und IVO -12,78 mm. Daraus ist zu schlussfolgern, dass die Tripleosteotomie mit dem minimal höheren Mittelwert zur letzten Nachuntersuchung einen Trochanterhochstand in diesem Patientenkollektiv am ehesten verhindern könnte.

Tab. 9 Kreuztabelle: CTD-Mittelwerte in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

		Mittelwert	Standard- abweichung
Tripleosteotomie	präoperativ	-0,48	7,52
Tripleosteotomie	postoperativ	-2,11	6,40
Tripleosteotomie	Letzte Nachuntersuchung	-7,03	8,27
IVO	präoperativ	4,32	5,56
IVO	postoperativ	-3,80	5,57
IVO	Letzte Nachuntersuchung	-7,63	9,48
IVO+Tripleosteotomie	präoperativ	4,84	7,61
IVO+ Tripleosteotomie	postoperativ	-2,03	11,43
IVO+Tripleosteotomie	Letzte Nachuntersuchung	-7,94	9,55

Aufgrund der krankheitsbedingten Verschiebung der Längenverhältnisse des Trochanter majors zum Femurkopfzentrum wurde die ROC-Kurve berechnet, um zu sehen, ob die Centrotrochantäre Distanz ein geeigneter Prädiktor für den klinischen Krankheitsverlauf ist und ein sogenannter Cut-off-Wert berechnet werden kann. Dies bestätigte sich nicht. Die Fläche unter der Kurve (AUC) betrug mit 0,5 einen zu geringen Wert, um als Prädiktor standzuhalten. Daraus ließ sich schließen, dass nicht die Wahl der Operationsmethode, sondern das Ausmaß der Erkrankung für die CTD-Werte verantwortlich war. Die CTD wurde daraufhin rein deskriptiv verwendet, da die statistische Auswertung aufgrund der Heterogenität der Erkrankung keine sinnvollen Ergebnisse erbrachte.

Das radiologische Endergebnis, im Vergleich der Intervention und der präoperativ gemessenen CTD, ist in Abb. 62 dargestellt. Vergleicht man die Mittelwerte der CTD der Tripleosteotomie-Patienten fällt auf, dass die Mittelwerte mit dem radiologischen Outcome abnehmen. Patienten mit einem Stulberg I und II hatten präoperativ eine CTD von 1,48 mm, Stulberg III-Patienten von 0,56 mm und Patienten mit Stulberg IV und V eine CTD von -2,71 mm. In der Gruppe der Patienten einer IVO wurde ein Mittelwert der CTD von 4,18 mm gemessen, der bei einem Endergebnis mit Stulberg III einen Mittelwert von 5,19 mm annahm und den niedrigsten Mittelwert dieser Interventionsgruppe bei einem Endergebnis mit Stulberg IV und V erhielt. In der Interventionsgruppe der Tripleosteotomie mit einer IVO wurde präoperativ der höchste Mittelwert von 13,83 mm im Vergleich zu den anderen Operationstechniken gemessen. Der Mittelwert der Gruppe mit Stulberg III betrug 3,60 mm und -2,20 mm bei einem schlechten radiologischen Outcome (Stulberg IV und V). Die IVO schneidet im Vergleich dieser Parameter mit dem Fokus auf das radiologische Outcome am besten ab, da ein Trochanterhochstand im Mittel vermieden wird und die wenigsten negativen CTD-Werte erhoben werden konnten. Dabei belief sich der Patientenanteil der IVO mit einem guten Endergebnis auf 60,0% des Kollektivs.

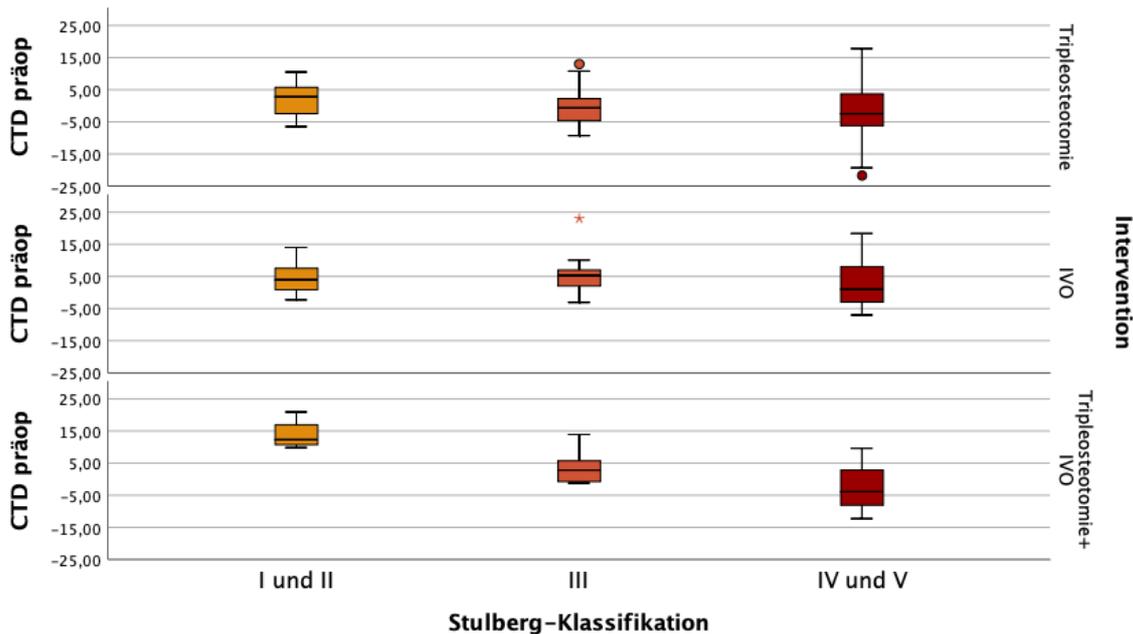


Abb. 62 Gruppierter Boxplot: Radiologisches Endergebnis der CTD präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

Im Vergleich der klinischen Endergebnisse (Abb. 63) mit den CTD-Werten in den verschiedenen Interventionsgruppen zeigt sich, dass die Tripleosteotomie mit 72,5% ihres Patientenkollektivs einen „exzellenten“ Harris-Hip-Score mit einem CTD-Mittelwert von -0,11 mm erzielte. In der Interventionsgruppe erreichten die Patienten mit einem Mittelwert von -5,14 mm ein Ergebnis kleiner als 70 Punkte, -2,65 mm und 3,70 mm betrug der Mittelwert für die „durchschnittliche“ (70-79 Punkte) und die „gute“ (80-89 Punkte) Punktezahl des Harris-Hip-Scores. In der Interventionsgruppe der IVO ist aufgrund der Ambivalenz der Mittelwerte kein deskriptiver Zusammenhang zwischen der CTD und dem Outcome im Harris-Hip-Score erkennbar. Die Mittelwerte, beginnend mit einer schlechten (< 70 Punkte) bis hin zu einer sehr guten (90-100 Punkte) Punktezahl im Harris-Hip-Score sind 2,69 mm, 9,45 mm, 5,35 mm bis 3,95 mm. Vor einer kombinierten Intervention der Tripleosteotomie und der IVO waren die CTD-Mittelwerte der Patienten, die im Endergebnis weniger als 70 Punkte erreichten, 12,17 mm, für die mit einem Ergebnis zwischen 70 und 79 Punkten 0,45 mm, bei einem Ergebnis zwischen 80 und 89 Punkten -1,25 mm und 4,75 mm bei einem Score-Ergebnis zwischen 90 und 100 Punkten.

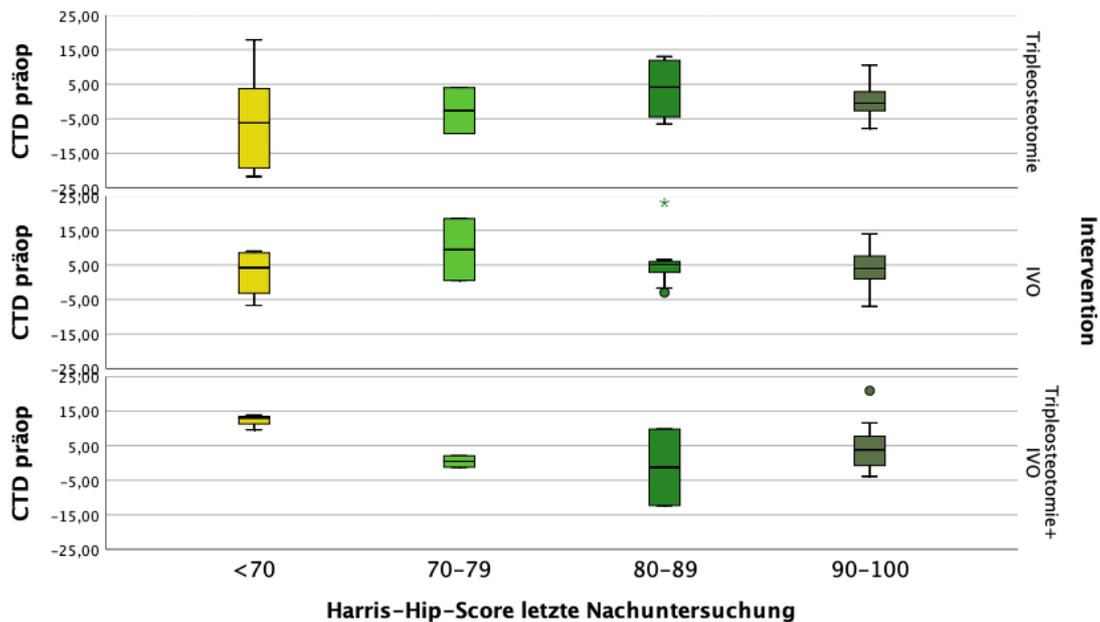


Abb. 63 Gruppierter Boxplot: Klinisches Endergebnis der CTD präoperativ in den Interventionsgruppen im zeitlichen Verlauf

3.7 Korrelation des Trendelenburgzeichens und der Centrotrochantären Distanz

Das radiologische und auch klinische Phänomen eines hochstehenden Trochanter majores kommt, wie in Kapitel 1.12.2.3 und 1.12.2.9 beschrieben, durch die Nekrose zustande und kann durch die Intertrochantäre Varisationsosteotomie verstärkt werden. Um eine mögliche Korrelation zu zeigen und einen Rückschluss auf die Rolle der Intervention zu ziehen, wird hier deskriptiv versucht, einen radiologisch-klinischen Verlauf anhand der Parameter der CTD, des Trendelenburgzeichens und dem damit verbundenen Ergebnis im Harris-Hip-Score darzustellen. Hierbei stellen sich folgende Fragen: Haben Patienten mit einer schlechten CTD zusätzlich häufiger ein positives Trendelenburgzeichen? Bestätigt sich der Zusammenhang, dass Patienten mit positiven Trendelenburgzeichen auch eine geringere Punktezahl im Harris-Hip-Score haben?

In folgender Abbildung (Abb. 64) sind die Patienten mit positiven und negativen Trendelenburgzeichen im Vergleich zu den Werten der CTD in der letzten Nachuntersuchung dargestellt.

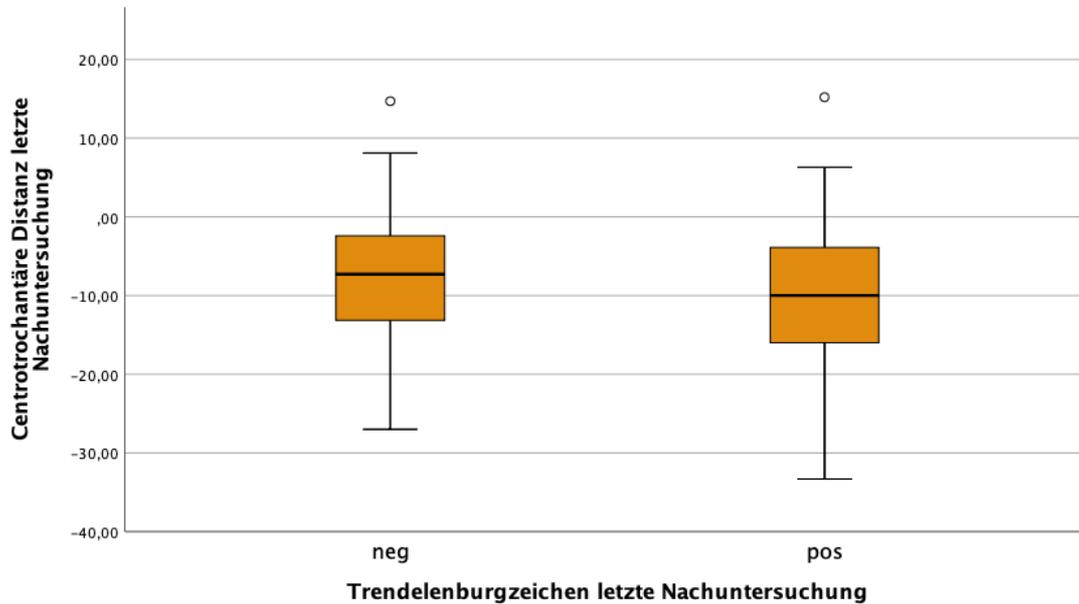


Abb. 64 Boxplot: Trendelenburgzeichen und CTD zur letzten Nachuntersuchung

Aufgrund der nicht signifikanten Mediane der CTD von -8,23 mm bei negativen Trendelenburg und -10,26 mm bei positiven Trendelenburg (Tab. 10), lässt sich hieraus kein Unterschied zwischen den Werten in Bezug auf die Vergleichsgruppe erkennen. Somit muss ein Patient mit einem Trochanterhochstand nicht zwingend ein positives Trendelenburgzeichen vorweisen.

Tab. 10 Mittelwert der CTD bezüglich Trendelenburgzeichen

	Negatives Trendelenburgzeichen Letzte Nachuntersuchung	Positives Trendelenburg Letzte Nachuntersuchung	P-Wert (t-test)
Centrotrochantäre Distanz Letzte Nachuntersuchung Mittelwert (SA)	-8,23 (8,05)	-10,16 (11,08)	0,426

Im folgenden Boxplot ist das Vorkommen eines positiven Trendelenburgzeichens mit einem Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte abgebildet (Abb. 65).

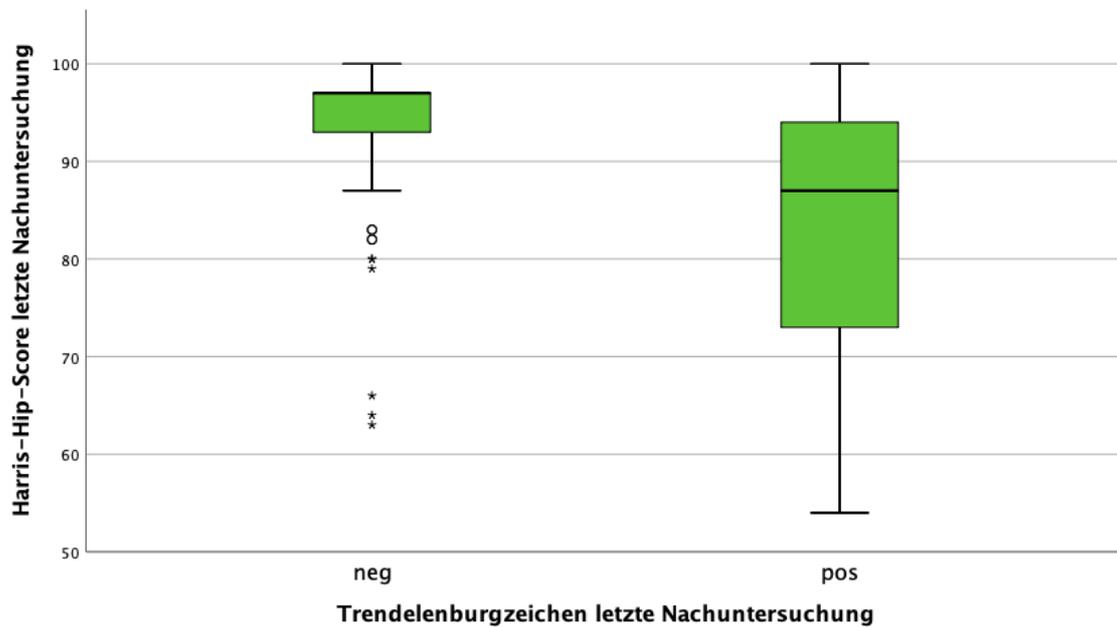


Abb. 65 Boxplot: Trendelenburgzeichen und Ergebnis im Harris-Hip-Score zur letzten Nachuntersuchung

Der Mann-Whitney-Test ergab hierfür einen signifikanten p-Wert und somit wird bestätigt, dass ein positives Trendelenburgzeichen mit einem schlechteren Ergebnis im Harris-Hip-Score korreliert (Tab. 11). Der Median lag für dieses Ergebnis bei 87 Punkten mit einer 25%-Perzentile von 71,5 Punkten und einer 75%-Perzentile von 95 Punkten.

Tab. 11 Median des Ergebnisses im Harris-Hip-Score bezüglich Trendelenburgzeichen

	Negatives Trendelenburgzeichen Letzte Nachuntersuchung	Positives Trendelenburg Letzte Nachuntersuchung	P-Wert (Mann-Whitney Test)
Harris Hip Letzte Nachuntersuchung Median (p25-p75)	97 (93-97)	87 (71,5-95)	<0,001

Zusammenfassend unter Einschluss der Ergebnisse aus Kapitel 3.5.2 und 3.6.4 kann man sagen, dass Patienten des Kollektivs der IVO seltener ein positives Trendelenburgzeichen aufwiesen, dies jedoch aber nicht mit der höheren CTD, verglichen zu den anderen Interventionen, korrelierte. Dieses Ergebnis erscheint widersprüchlich, da durch die Intertrochantäre Varisationsosteotomie eine Versetzung des Trochanter majors vollzogen wird und diese die CTD so verändern würde, dass bei beiden Faktoren mit einem positiven Trendelenburgzeichen gerechnet hätte werden können.

Das klinische Ergebnis im Harris-Hip-Score zur letzten Nachuntersuchung erreichte in der Interventionsgruppe der IVO ebenso die besseren Ergebnisse, wie in Kapitel 3.3 dargestellt.

3.8 Baseline characteristics

In der Beschreibung der „baseline characteristics“ wird die Vergleichbarkeit der Erhebungsmerkmale in den verschiedenen Interventionsgruppen dargestellt (Tab. 12). Hierbei wurden der Chi-Quadrat-Test und der exakte Test nach Fisher bei kategorialen Variablen, die Varianzanalyse (ANOVA) für nominale, normalverteilte Daten und der Kruskal-Wallis-Test für nominal, nicht-normalverteilte Variablen verwendet, um die p-Werte zu ermitteln.

Für einen Vergleich der verschiedenen Interventionen ausreichend ähnliche Merkmale sind hierbei das männliche Geschlecht, der BMI, ein positives Duchenne-Hinken präoperativ, ein positives Trendelenburgzeichen präoperativ, der Mittelwert im Harris-Hip-Score präoperativ, die Einteilung nach Catterall, das modifizierte Waldenströmstadium, eine positive Ménard-Shenton-Linie präoperativ, der Epiphysenquotient präoperativ und die Anzahl der Monate nach der Intervention bis zur letzten Kontrolle.

Für folgende Erhebungsmerkmale muss aufgrund des p-Wertes die Idee, einen Vergleich zwischen den Interventionen zu ziehen, verworfen und der Einfluss der unterschiedlichen Gegebenheiten in den Interventionsgruppen bedacht werden: das Erkrankungsalter, der Zeitraum von der Diagnosestellung bis zur Intervention, die Körpergröße, das Körpergewicht, die Ergebnisse der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring, die Differenz der Gelenkspalten (Köhlersche

Tränenfigur zu medialer Epiphyse) im Seitenvergleich, der Migrationsindex nach Reimers und die Centrotrochantäre Distanz.

Tab. 12 Baseline Characteristics

	n	Triple (n=40)	IVO (n=54)	IVO + Triple (n=19)	p
Erkrankungsalter Median (p25-75)	111	7 (6-8,75)	6 (4,75-8)	7 (6-8)	0,047*
Zeitraum Diagnose bis OP Median (p25-75)	111	1 (1-1,75)	1 (0-1)	1 (1-1,5)	0,007*
Geschlecht männlich n(%)	123	32 (80%)	43 (79,6%)	18 (94,7%)	0.324**
Körpergröße Mittelwert (SA)	109	130,7 (12,5)	122,4 (13,1)	131,4 (9,4)	0,002***
Gewicht Mittelwert (SA)	109	31,2 (9,9)	26,1 (10,2)	32,1 (11,3)	0,024***
BMI Median (p25-75)	109	16,9 (15-19,6)	15,9 (14,9-17,8)	17,8 (14,3-19,8)	0.127*
Duchenne-Hinken positiv präoperativ n(%)	89	12 (37,5%)	18 (39,1%)	5 (45,5%)	0,909****
Trendelenburgzeichen positiv präoperativ n(%)	77	15 (51,7%)	24 (63,2%)	4 (40%)	0,385**
Harris-Hip-Score präoperativ Mittelwert (SA)	113	61,9 (12,2)	62,0 (12,9)	59,2 (10,8)	0,668***
Catterall-Klassifikation n(%)					
I	113	0 (0%)	0 (0%)	1 (5,3%)	0,689**
II		1 (2,5%)	2 (3,7%)	1 (5,3%)	
III		25 (62,5%)	34 (63%)	11 (57,9%)	
IV		14 (35%)	18 (33,3%)	6 (31,6%)	
Lateral-Pillar Klassifikation nach Herring n(%)					
B	111	18 (45%)	39 (73,6%)	9 (50%)	0,021**
BC		3 (7,5%)	3 (5,7%)	0 (0%)	
C		19 (47,5%)	11 (20,8%)	9 (50%)	
Modifiziertes Waldenström-Stadium n(%)					
IB	113	0 (0%)	3 (5,6%)	1 (5,3%)	0,702**
IIA		8 (20%)	7 (13%)	2 (10,5%)	
IIB		17 (42,5%)	27 (50%)	10 (52,6%)	
IIIA		14 (35%)	17 (31,5%)	6 (31,6%)	
IIIB		1 (2,5%)	0 (0%)	0 (0%)	
Gelenkspalt Seitendifferenz präoperativ Mittelwert (SA)	113	7,2 (3,7)	5,0 (2,8)	5,9 (3,1)	0,009***
Ménard-Shenton-Linie positiv präoperativ n(%)	112	30 (75%)	34 (64,2%)	16 (84,2%)	0,229**
MI nach Reimers präoperativ Mittelwert (SA)	112	20,2 (9,7)	16,9 (7,7)	24,9 (8,6)	0,010***
Epiphysenquotient präoperativ n (%)					
Poor	112	16 (40%)	17 (31,5%)	3 (16,7%)	0,302**
Fair		10 (25%)	15 (27,8%)	9 (50%)	
Good		14 (35%)	22 (40,7%)	6 (33,3%)	
CTD präoperativ Mittelwert (SA)	113	-0,48 (7,5)	4,3 (5,6)	4,8 (7,6)	0,001***
Zeitraum in Monaten last follow-up Median (p25-75)	123	58 (34-73)	55 (23-91,5)	56 (32-74)	0,743*

*Kruskal Wallis Test, **Fisher Test, ***ANOVA, ****Chi²

3.9 Multivariate Modelle

3.9.1 Multivariates Modell für das klinische Endergebnis

Um die Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen und den Ergebnisparametern herzustellen und diese zu testen, wurde folgendes uni- bzw. multivariates Modell erstellt (Tab. 13). Da das Patientenkollektiv mit einem Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte zur letzten Nachuntersuchung mit 18 Patienten

relativ klein war, ist das Modell nicht allzu stabil. Das Erkrankungsalter sowie der Migrationsindex nach Reimers ergaben in dem univariat verglichenen Modell signifikante Ergebnisse für einen Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte. Im multivariaten Vergleich waren beide Parameter beständig signifikant. Das Erkrankungsalter ist im uni- wie auch im multivariaten Modell signifikant. Da hier die Odds Ratio 1,27 beträgt, bedeutet dies, dass das Risiko für einen Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte, also für ein schlechtes klinisches Ergebnis, mit jedem Lebensjahr um 27% steigt. In der multivariaten Analyse liegt die OR bei 1,476, was ein Risiko mit 47,6% beschreibt.

Der Migrationsindex nach Reimers ist präoperativ im uni- wie auch multivariaten Modell signifikant. Die Odds Ratio beträgt 1,079 und 1,127. Das bedeutet, dass mit jedem Prozent, um das der Migrationsindex nach Reimers erhöht ist, das Risiko für einen schlechten Harris-Hip-Score um 7,9% steigt. Je höher der Migrationsindex ausfällt, desto höher ist das Risiko für einen schlechten Harris-Hip-Score. Verstärkt wird dies im multivariaten Modell, in dem alle anderen Risikofaktoren mit einberechnet werden. Hierbei steigt das Risiko für einen schlechten Harris-Hip-Score bei einem hohen Migrationsindex um 12,7%.

Diejenigen Parameter, die im univariaten Modell ein nicht-signifikantes Ergebnis erreichten, wurden in das multivariate Modell nicht mit einberechnet und waren auch für sich gesehen nicht allein ausschlaggebend für ein unzureichendes klinisches Endergebnis.

Tab. 13 Multivariates Modell für den Harris-Hip-Score

	Tripleosteotomie (n=40)	IVO (n=54)	IVO+Tripleosteotomie (n=19)
Harris-Hip-Score letzte Nachuntersuchung			
80-100	33 (82.5%)	48 (88.9%)	14 (73.7%)
< 80	7 (17.5%)	6 (11.1%)	5 (26.3%)

Harris-Hip-Score <80Punkte	Univariates Modelle		
	OR	IC 95%	p
Erkrankungsalter	1.266	1.02-1.57	0.033
Zeitraum Diagnose-OP	1.227	0.75-1.99	0.411
Geschlecht männlich	0.488	0.15-1.57	0.229
BMI	1.021	0.89-1.6	0.760
Positives Duchenne-Hinken präoperativ	0.742	0.21-2.68	0.649
Positives Trendelenburg präoperativ	0.941	0.26-3.39	0.925
Lateral-Pillar-Klassifikation präoperativ			
B	1		
BC	1.267	0.13-12.13	0.838
C	1,634	0,57-4,66	0,358
Catterall-Klassifikation			
II-III	1		
IV	1.253	0.44-3.54	0.671
Mod. Waldenström-Stadium			
IB-IIA-IIB	1		
IIIA-IIIB	2.276	0.82-6.32	0.115
Gelenkspalt Seitendifferenz präoperativ	1.060	0.92-1.23	0.431
Ménard-Shenton-Linie positiv präoperativ	2.231	0.60-8.31	0.232
MI nach Reimers präoperativ	1.079	1.02-1.14	0.008
Epiphysenquotient präoperativ			
Poor	1		
Fair	0.339	0.08-1.40	0.136
Good	0.700	0.23-2.17	0.536
CTD präoperativ	0.983	0.92-1.06	0.640
Technik			
Triple	1		
IVO	0.589	0.18-1.91	0.379
IVO + Triple	1.684	0.46-6.22	0.435

Harris-Hip-Score <80Punkte	Univariates Modelle			Multivariate Modelle		
	OR	IC 95%	p	OR	IC 95%	p
Erkrankungsalter	1.266	1.02-1.57	0.033	1.476	1.13-1.92	0.004
MI nach Reimers präoperativ	1.079	1.02-1.14	0.008	1.127	1.04-1.22	0.002

-2 Log Likelihood 79,917, Nagelkerkes R-quadrat 0,261, Hosmer-Lemeshow Chi² 3,146 (p=0,925)

3.9.2 Multivariates Modell für das radiologische Endergebnis

Dieselbe Analyse wurde für das radiologische Endergebnis, gemessen mit der Klassifikation nach Stulberg, durchgeführt (Tab. 14). Das Patientenkollektiv betrug hierbei 74 Patienten. Signifikante, präoperativ erhobene Risikofaktoren, um ein Stulberg III-, IV- oder V-Ergebnis zu erhalten, sind das Erkrankungsalter, Einteilung in Gruppe C laut der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring, ein verbreiteter Gelenkspalt und der Epiphysenquotient von 0,4-0,6. Die Odds Ratio für das Erkrankungsalter liegt bei 1,27, somit ist das Risiko für ein Ergebnis in der Stulbergklassifikation von III, IV oder V mit jedem weiteren Lebensjahr um 27%

erhöht. In der multivariaten Analyse liegt die OR des Erkrankungsalters bei 1,43, welche ein Risiko für ein schlechtes radiologisches Endergebnis mit 43% angibt. Die Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring erreichte in der univariaten Analyse in der Gruppe C ein signifikantes Ergebnis, welches einen Zusammenhang dieser Gruppe mit einem schlechten radiologischen Endergebnis hätte vermuten lassen können. Dies hatte jedoch keinen Bestand in dem multivariaten Modell. Ein verbreiteter Gelenkspalt, der mit der Distanz zwischen der Köhler-Tränenfigur und der medialen Epiphyse gemessen wird, erhöht das Risiko für das beschriebene radiologische Outcome um 14,9% für jeden Millimeter, um den der Femurkopf auf der erkrankten Seite hervorsteht. Dieser Parameter war in der multivariaten Analyse nicht mehr signifikant. Ein Epiphysenquotient von 0,4-0,6 verglichen mit einem schlechten Ergebnis < 0,4 erzielte signifikante Ergebnisse im uni- wie auch im multivariaten Modell und beschreibt somit ein vermindertes Risiko für ein schlechtes radiologisches Endergebnis bei Zugehörigkeit in Gruppe „fair“ (0,4-0,6) um 24,1% und 15,5%. Die nicht-signifikanten Parameter aus dem univariaten Modell wurden wiederum nicht in das multivariate Modell eingerechnet, da die Parameter für sich gesehen keinen zuverlässigen Vorhersagewert für ein schlechtes klinisches Endergebnis erbrachten und somit in Zusammenrechnung mit anderen Parametern keine Ergebnisse zu erwarten sind.

Tab. 14 Multivariates Modell für die Stulberg-Klassifikation

Stulberg-Klassifikation	Tripleosteotomie (n=40)	IVO (n=54)	IVO+Tripleosteotomie (n=19)
I II	11 (27,5%)	24 (44,4%)	4 (21,1%)
III IV V	29 (72,5%)	30 (55,6%)	15 (78,9%)

Stulberg III-IV-V	Univariates Modelle		
	OR	IC 95%	p
Erkrankungsalter	1.266	1.03-1.56	0.027
Zeitraum Diagnose-OP	1.726	0.98-3.05	0.060
Geschlecht männlich	1.333	0.49-3.60	0.570
BMI	1.112	0.98-1.26	0.093
Positives Duchenne-Hinken präoperativ	1.357	0.54-3.41	0.516
Positives Trendelenburgzeichen präoperativ	1.450	0.57-3.69	0.436
Lateral-Pillar-Klassifikation präoperativ			
B	1		
BC	1.568	0.27-9.16	0.618
C	3.037	1.21-7.60	0.018
Catterall-Klassifikation			
II-III	1		
IV	1.293	0.56-2.96	0.544
Mod. Waldenström-Stadium			
IB-IIA-IIB	1		
IIIA-IIIB	1.462	0.63-3.40	0.377
Gelenkspalt Seitendifferenz präoperativ	1.149	1.01-1.31	0.040
Ménard-Shenton-Linie positiv präoperativ	2.187	0.94-5.10	0.070
MI nach Reimers präoperativ	1.002	0.96-1.05	0.937
Epiphysenquotient präoperativ			
Poor	1		
Fair	0.241	0.08-0.70	0.009
Good	0.434	0.15-1.23	0.116
CTD präoperativ	0.945	0.89-1.004	0.065
Technik			
Triple	1		
IVO	0.474	0.20-1.14	0.096
IVO + Triple	1.422	0.39-5.24	0.596

Stulberg III-IV-V	Univariates Modelle			Multivariate Modelle		
	OR	IC 95%	p	OR	IC 95%	p
Erkrankungsalter	1.266	1.03-1.56	0.027	1.428	1.06-1.93	0.020
Lateral-Pillar-Klassifikation präoperativ						
B	1			1		
BC	1.568	0.27-9.16	0.618	0.848	0.10-7.37	0.881
C	3.037	1.21-7.60	0.018	2.433	0.78-7.62	0.127
Gelenkspalt Seitendifferenz präoperativ	1.149	1.01-1.31	0.040	1.068	0.91-1.25	0.422
Epiphysenquotient präoperativ						
Poor	1			1		
Fair	0.241	0.08-0.70	0.009	0.155	0.04-0.60	0.007
Good	0.434	0.15-1.23	0.116	0.291	0.07-1.17	0.082

-2 Log Likelihood 115,449 , Nagelkerkes R-quadrat 0,291, Hosmer-Lemeshow Chi² 3,83 (p=0,511)

3.10 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend betrug das Verhältnis Mädchen zu Jungen 1:4,86 bei einer annähernd gleich großen Kollektivgröße von 48,8% jünger als sechs Jahre und 51,2% älter als sechs Jahre. Die jüngeren Patienten erhielten prozentual häufiger eine IVO (61,11% des jüngeren Kollektivs), hingegen wurden die älteren Patienten häufiger (47,37% des älteren Kollektivs) mit einer Tripleosteotomie versorgt. Im Durchschnitt vergingen 0,94 Jahre von dem Zeitpunkt der Diagnosestellung bis zu dem Zeitpunkt des operativen Eingriffes. 62 Patienten waren linksseitig, 61 Patienten rechtsseitig und drei Patienten beidseitig erkrankt. Folgende Mittelwerte wurden zu den Körpermaßen erhoben: Gewicht 28,64 kg, Körpergröße 126,66 cm, BMI 17,51 kg/m².

Bei der Lateral-Pillar-Klassifikation fiel auf, dass die IVO hierbei den größeren Anteil an guten radiologischen Endergebnissen hervorbrachte, jedoch Patienten mit einem schlechteren Ausgangsbefund laut der Lateral-Pillar-Klassifikation eine Tripleosteotomie erhielten. Trotzdem erreichten in der klinischen Ergebnisbeschreibung dieselben Patienten trotz des schlechteren Incomes, ein gutes bis sehr gutes klinisches Outcome nach der Tripleosteotomie.

In der Darstellung des Gelenkspaltes durch die Messung der Distanz zwischen der Köhler-Tränenfigur und der medialen Epiphyse fiel auf, dass Patienten mit einer verhältnismäßig größeren Differenz häufiger einer Tripleosteotomie, anstatt einer der anderen Interventionen, unterzogen wurden.

Das klinische Zeichen des Duchenne-Hinkens konnte in 60% der Fälle bis zur letzten Nachuntersuchung vermindert werden. Für das Trendelenburgzeichen konnte eine Senkung um 44,2% erreicht werden. Auch der klinische Harris-Hip-Score konnte im Durchschnitt um 14 Punkte innerhalb der verschiedenen Messzeitpunkte verbessert werden, was aber auf die zeitliche Entwicklung und nicht auf die Intervention zurückzuführen war.

Bei der Erhebung des Migrationsindex nach Reimers konnte ein Cut-off-Wert von 22% für ein besseres klinisches Outcome beobachtet werden. Die Hypercontainment-Therapie aus der Kombination der Tripleosteotomie und der IVO brachte im Verlauf die besten Prozentwerte nach dem Migrationsindex und

damit das beste Containment hervor. Jedoch schnitt diese Intervention bei der Betrachtung des Epiphysenquotienten schlechter ab.

Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines hochstehenden Trochanter majors und einem positiven Trendelenburgzeichen konnte nicht beobachtet werden. Ein positives Trendelenburgzeichen wurde aber bei Patienten mit vergleichbar schlechteren Werten im Harris-Hip-Score erhoben. Die varisierende Intervention hat hierbei jedoch meist die besseren Ergebnisse im klinischen Harris-Hip-Score.

Klinisch betrachtet beendeten Patienten der IVO unter Einbezug der Catterall-Klassifikation, der Einteilung nach Waldenström und des Epiphysenquotienten die Therapie trotz schwerwiegender Ausgangsbefunde mit den besten Ergebnissen. Die Tripleosteotomie stach bei einer schlechten Lateral-Pillar-Klassifikation und einer unzureichenden CTD vor der Therapie mit sehr guten Ergebnissen hervor. Eine verhältnismäßige Verbesserung der Fallzahl der Intervention brachte ebenso die kombinierte Intervention trotz vergleichbar hohen Werten im Migrationsindex nach Reimers und dem Auftreten des Trendelenburgzeichens hervor.

Das Erkrankungsalter und der Migrationsindex nach Reimers konnten präoperativ als Risikovariablen für einen Harris-Hip-Score kleiner als 80 Punkte eruiert werden.

Analysiert man das radiologische Endergebnis anhand der morphometrischen Parameter und röntgenologischen Klassifikationen, schneidet die IVO bezüglich der Catterall-Klassifikation, der Lateral-Pillar-Klassifikation, der Einteilung nach Waldenström, des Migrationsindex nach Reimers, der Ménard-Shenton-Linie, des Epiphysenquotienten, der CTD und der klinischen Behebung des Trendelenburgzeichens am besten ab. Hierbei hatte die Intervention eine große Fallzahl mit einem guten radiologischen Outcome trotz teilweise durchwachsenem Ausgangsbefund.

Als Risikovariablen für ein radiologisches Ergebnis von Stulberg III, IV und V konnten das Erkrankungsalter und der Epiphysenquotient erhoben werden.

Zusammengefasst schneidet die IVO in dieser Studie mit den besten klinischen und radiologischen Endergebnissen ab, wobei neben der Zuteilung teils milderer

Ausgangsbefunde in dieser Interventionsgruppe vor allem das jüngere Behandlungsalter nicht außer Acht gelassen werden sollte. Folglich muss von einem Selektionsbias im Hinblick auf die Wahl des Operationsverfahrens ausgegangen werden.

4 Diskussion

Die individuell dokumentierten Schwerpunkte und unterschiedliche Qualität der Verschriftlichung der Befunde der behandelnden Ärzte über einen Erhebungszeitraum von neun Jahren erforderte eine Festlegung der Variablen, die sich retrospektiv zuverlässig erheben ließ und bei fast allen Patienten in einem vergleichbaren Maß durchgeführt wurden.

4.1 Diskussion der Patientenakten

4.1.1 Patientenalter zum Zeitpunkt der Diagnosestellung

Das Altersspektrum der Patienten erstreckte sich in dem untersuchten Kollektiv zwischen 3 und 15 Jahren. Hierbei war aufgrund einer nicht einheitlichen Dokumentation oftmals die Angabe von Dezimalstellen im Alter in Jahren nicht möglich. Der Mittelwert des Erkrankungsalters wurde mit 6,76 Jahren und einer Standardabweichung von 2,17 Jahren ermittelt. In „The Natural History of Legg-Calvé-Perthes Disease“ von S.D. Stulberg, D.R. Cooperman und R. Wallensten liegt der Gipfel des Erkrankungsalters, mit einer Abweichung von drei Jahren und acht Monaten, bei 7,5 Jahren. In diesem Spektrum befindet sich auch das Alter unserer Patienten [42].

4.1.2 Geschlechterverteilung

Die Geschlechterverteilung von Jungen zu Mädchen betrug in dem eingeschlossenen Patientenkollektiv 4,9:1. Das entspricht ungefähr den Beschreibungen von A. Catterall, der ein vierfach erhöhtes Auftreten bei Jungen in seiner Arbeit 1971 beschrieb [45].

4.1.3 Befallsseite

Bei der Auswertung der erkrankten Hüfte und einem beidseitigen Auftreten der Erkrankung fiel auf, dass der einseitige Befall annähernd gleich häufig auf der

rechten und der linken Seite erhoben werden konnte. 2,4% des Patientenkollektivs erkrankte beidseits, was im Vergleich auf die Beschreibungen in der Literatur als wenig gilt. Die Prozentangaben in der Literatur variieren zumeist zwischen 10 und 15% [33, 35, 42, 45].

4.1.4 Alter zum Zeitpunkt der Operation

Die Patienten in unserem Kollektiv wurden im Alter von 8,24 Jahren (Mittelwert) mit einer Standardabweichung von 2,36 Jahren operiert. Bezogen auf Nguyen et al. ist eine operative Intervention bei Patienten älter als sechs Jahren entscheidend, um einen sphärischen Hüftkopf radiologisch im Wachstum erhalten zu können [26].

46,3% der Patienten im Alter jünger bzw. gleich sechs Jahren wurden mit einer IVO behandelt. Dies deckt sich mit dem „Behandlungsalgorithmus des Morbus Perthes“ wie er in „Hüfte“ von D.C. Wirtz und U. Stöckle beschrieben wurde [18].

4.2 Diskussion der Ergebnisse der radiologischen und klinischen Parameter

4.2.1 Klassifikation nach Catterall

Im Jahr 2008 veröffentlichten F. Canavese und A. Dimeglio ihre Studie, in der 166 erkrankte Hüften bei Kindern jünger als sechs Jahre beobachtet und untersucht wurden. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass Patienten der Catterall-Gruppe III, unabhängig der Behandlungsmethode, bessere Ergebnisse im Outcome nach Stulberg und Mose erreichten als Patienten der Gruppe IV. Die Patienten wurden in milderen Stadien konservativ und in fortgeschrittenen Stadien operativ mittels einer Beckenosteotomie behandelt [46]. Einen sphärischen Hüftkopf erlangten nach der Klassifikation nach Stulberg 81,6% des konservativ behandelten Kollektivs und 77,8% des operativ behandelten Kollektivs aus Gruppe III nach Catterall. 52,7% des konservativ behandelten Kollektivs sowie 50% des operativ behandelten Kollektivs mit jeweils Catterall-Gruppe IV konnten ihre Therapie ebenso mit diesem guten Outcome beenden. In unseren Untersuchungen zählten 78 Patienten zu Catterall Gruppe III und 40 Patienten zu Gruppe IV. Diese 118 Patienten hatten, verglichen mit Gruppe I und

II nach Catterall, eine ungünstigere Prognose aufgrund des fortgeschrittenen Stadiums der Erkrankung. Davon erreichten 27,5 % der Patienten mit einer Tripleosteotomie, 44,4% der Patienten mit einer IVO und 21,1% der Patienten mit einer Kombination der beiden Interventionen einen sphärischen Hüftkopf zum Wachstumsende. Allein anhand der Einteilung nach Catterall ist in unseren Ergebnissen keine Zuweisung zu einer stärkeren Containment-erzeugenden Intervention von Patienten aus Gruppe IV zu erkennen.

4.2.2 Einteilung nach Waldenström

Aus der Auswertung der Daten ist hervorgegangen, dass 66,4% der Patienten in den Stadien IB, IIA und IIB operiert wurden (4 Pat. IB, 17 Pat. IIA, 54 Pat. IIB). Bei 33,6% der Fälle war eine Intervention in den Stadien IIIA und IIIB erfolgt (37 Pat. IIIA, 1 Pat. IIIB). Laut Joseph et al. ist eine Operation in Stadium IIB und später für einen sphärischen Hüftkopf nicht zuträglich [25]. Einen sphärischen Hüftkopf und Stulberg I und II erlangten 34 Patienten unserer Untersuchung trotz der Waldenströmstadien IIB und IIIA. 43 Patienten derselben Waldenströmgruppe hatten zum Zeitpunkt des Wachstumsendes einen Stulberg III mit einem ovalen Hüftkopf und einer Coxa magna. Somit ist die Tendenz hier ebenso wiederzuerkennen.

Klinisch erreichten Patienten mit interventionellen Eingriffen in einem frühen Waldenströmstadium (85,7%) gute Ergebniswerte mit über 80 Punkten im Harris-Hip-Score. Die Verlässlichkeit des modifizierten Waldenströmstadiums konnte in den klinischen Ergebnissen verzeichnet werden, wie es von Hyman et al. beschrieben wurde [37].

4.2.3 Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring

In der Studie von O. Wiig, T. Terjesen und S. Svenningsen aus dem Jahr 2008 konnte ein signifikanter Unterschied ($p=0,001$) zwischen der Lateral-Pillar-Klassifikation und dem Endergebnis, gemessen an der Einteilung nach Stulberg, beobachtet werden. Diese Beobachtungen konnten bereits ein Jahr nach Diagnosestellung anhand der Lateral-Pillar-Klassifikation getätigt werden. 70% der Patienten aus Gruppe A, 51% der Patienten aus Gruppe B und 30% der Gruppe C nach Herring erreichten demnach einen sphärischen Femurkopf [47].

Die Vergleichbarkeit zwischen diesen und unseren Ergebnissen ist eingeschränkt, da die Behandlungsoption in der Studie von Wiig et al. auch konservative Methoden einschloss.

Verglichen mit unseren Ergebnissen der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring und der Einteilung des radiologischen Outcomes, erreichten 0% von Gruppe A, 44,44% von Gruppe B, 33,33% aus Gruppe BC und 18,6% aus Gruppe C einen sphärischen Hüftkopf. Der Behandlungsalgorithmus sieht eine operative Versorgung eines Patienten mit einer Lateral-Pillar-Klassifikation nach Gruppe A nicht vor und beinhaltete in unserer Untersuchung zwei Patienten, die durch die Ausprägung des Befundes die Operationsindikation anhand anderer Kriterien erfüllten.

4.2.4 Migrationsindex nach Reimers

Der Migrationsindex nach Reimers, der von Jørgen Reimers in seiner Arbeit „the stability of the hip in children“ veröffentlicht worden ist, beschrieb eine Subluxation mit 33%. Ein Migrationsindex nach Reimers von 22% ist in „Kinderorthopädie in der Praxis“ von F. Hefti als normal definiert [20, 40].

Unabhängig dieser Beschreibung wurde in dieser Arbeit versucht, einen Cut-off-Wert als Prädiktor für ein gutes oder schlechtes klinisches Outcome zu erheben. Hierfür wurde das klinische Outcome mithilfe des modifizierten Harris-Hip-Score erfasst und in 100-80 Punkte und < 80 Punkte unterteilt. Diese 22% decken sich mit der Beschreibung aus der Literatur [40].

4.2.5 Epiphysenquotient

In Betrachtung des Epiphysenquotienten zur letzten Wiedervorstellung war in keiner Interventionsgruppe eine steigende Tendenz für einen Epiphysenquotienten der Gruppe „good“ (> 0,6) zu erkennen. Die Tripleosteotomie und die IVO per se erreichten eine Verkleinerung der Gruppe „poor“ (< 0,4; Tripleosteotomie: 5%, IVO: 3,7%) und eine Verbesserung der Gruppe „fair“ (0,4-0,6; Tripleosteotomie: 5%, IVO: 11,11%). Die Hypercontainment-Therapie hingegen schnitt hierbei am schlechtesten ab. Dies lässt sich mit den Ergebnissen aus der Studie von A. Moberg, G. Hansson und C. Kaniklides, die vermehrt eine postoperative Verbesserung des

Epiphysenquotienten bei der Beckenosteotomie, verglichen mit einer Femurosteotomie, beobachtete, nicht in Einklang bringen [48].

In unserem Multivariaten Modell zum radiologischen Outcome kamen wir zu dem Ergebnis, dass der Epiphysenquotient als Risikovariable gesehen werden kann und das Risiko für ein schlechtes radiologisches Endergebnis (Stulberg III, IV, V) um 15,5% gesenkt war, wenn der präoperative Ausgangswert im Epiphysenquotient zwischen 0,4-0,6 („fair“) lag.

4.3 Vergleich der operativen Containmentverfahren

Aufgrund der geringen Anzahl an Arbeiten, die sich ausschließlich mit den operativen Behandlungsmethoden im Sinne eines Containments auseinandersetzen, ist ein Vergleich der Ergebnisse begrenzt möglich.

Sowohl im klinischen wie auch im radiologischen Outcome schneidet die Intertrochantäre Varisationsosteotomie in unseren Ergebnissen im Vergleich der einbezogenen Interventionen besser ab.

Betrachtet man die Resultate der aktuellen Studienlage, werden verschiedene Parameter aufgrund ihrer prognostischen Relevanz vermehrt hervorgehoben. Die klinischen und radiologischen Ergebnisse der Patientengruppe, die eine IVO erhielt, scheinen auf den ersten Eindruck als erfolgsversprechender einzuschätzen zu sein, jedoch müssen Störfaktoren wie ein Confounder in Betracht gezogen werden.

Betrachtet man die Ergebnisse aus Studien mit dem Fokus auf eine Femurosteotomie, wie es die IVO ist, so kann man gehäuft eine Unterteilung in jünger und älter als sechs Jahre im Patientenkollektiv erkennen. O. Wiig, T. Terjesen und S. Svenningsen verglichen bei 368 Patienten jünger als sechs Jahre die Outcome-Ergebnisse nach fünf Jahren zwischen konservativen Behandlungen durch Physiotherapie oder der Scottish Rite-Orthese zur proximalen Femurosteotomie [47]. Hierbei ergaben sich bei diesen jüngeren Patienten keine signifikanten Unterschiede zwischen der konservativen und der operativen Behandlung. Prognostisch entscheidend wurde die Beteiligung des Femurkopfes von größer oder kleiner 50%, das Patientenalter zum Zeitpunkt der Diagnosestellung und die Lateral-Pillar-Klassifikation eingestuft. Es profitierten laut einer weiteren Studie Patienten älter als sechs Jahre in denselben Kliniken

in stärkerem Maße von einer IVO als ausschließlich durch Physiotherapie [49]. Hierbei scheint das Patientenalter einen entscheidenden Faktor zu spielen. Aufgrund dieser Ergebnisse könnte sich die Frage stellen, ob unsere Patienten jünger als sechs Jahre ohne Intervention trotzdem gute Ergebnisse im Outcome erreicht hätten und ob bei den Patienten älter als sechs Jahre eine Intervention sinnvoll gewesen beziehungsweise ob die Femur- oder Beckenosteotomie im individuellen Patientenfall die richtige Intervention gewesen wäre. Wie in den „baseline characteristics“ beschrieben ist, war in unserem Patientenkollektiv das Alter zwischen den verschiedenen Interventionsgruppen nicht vergleichbar, was die besseren Ergebnisse der IVO kritischer darstellt.

In einer Studie von A. Moberg, G. Hansson und C. Kaniklides wurden in 34 Fällen mit Patienten der Catterall-Gruppen III und IV die Ergebnisse nach Femur- und Beckenosteotomien erhoben [48]. Der Epiphysenquotient sowie der Mose-Index ergaben keine signifikanten Unterschiede, jedoch die Beschreibung der Hüftkopfüberdachung, gemessen mit dem CE-Winkel ergab bessere Messungen nach einer Beckenosteotomie. Das Alter in den beiden Interventionsgruppen betrug im Durchschnitt 6 Jahre und 10 Monate in der Patientengruppe mit einer Femurosteotomie und 5 Jahre und 11 Monate in der Gruppe mit einer Beckenosteotomie. Die Überdachung wurde in unserer Studie anhand des Migrationsindex nach Reimers erfasst. Im Vergleich der Interventionen brachte die hypercontainmentzielende Intervention die besten Ergebnisse der Überdachung bis zur letzten Kontrolluntersuchung, gefolgt von der einfachen Tripleosteotomie. Bezüglich der Altersverteilung in den Interventionsgruppen wurden bei unseren Patienten vermehrt jüngere Patienten mit einer IVO, also einer Femurosteotomie, behandelt und Patienten älter sechs Jahren marginal öfter einer Tripleosteotomie unterzogen, dicht gefolgt von der IVO. In den erhobenen Daten des Epiphysenquotienten konnte durch die Tripleosteotomie und die IVO eine Verbesserung von „schlechten“ Ergebnissen zu „mäßigen“ Werten zwischen 0,4 und 0,6 verzeichnet werden. Der CE-Winkel und der Mose-Index wurden nicht erhoben.

In der Metaanalyse von Nguyen et al. von 2012 ist beschrieben, dass das Alter entscheidend für das radiologische Outcome ist. So profitieren Patienten jünger

als sechs Jahre mehr von Beckeneingriffen als von Femureingriffen. Bei Patienten älter als sechs Jahre seien laut der Metaanalyse beide Verfahren für ein gutes radiologisches Outcome zuträglich [26].

In unseren Ergebnissen konnten 39 Patienten mit Stulberg I und II, also einem guten radiologischen Outcome ihre Therapie beenden. Darunter wurden 61,5% mit einer IVO und 28,2% mit einer Tripleosteotomie behandelt. In der Patientengruppe mit Stulberg III-Ergebnissen sind die Interventionsgruppen der IVO und der Tripleosteotomie mit 39,6% und 37,7% annähernd gleich. Hierbei muss erwähnt sein, dass dabei keine Unterscheidung anhand des Alters vorgenommen wurde. An 73,53% der jüngeren Patienten (jünger als sechs Jahre) wurde eine IVO durchgeführt und somit sind die Ergebnisse dieser Intervention zuzuschreiben. Unter den Patienten älter als sechs Jahre wurden 36,71% mit einer IVO behandelt. Aufgrund der Unterteilung der Studie von Nguyen et al. sind an dieser Stelle nur die Femur- und Beckenosteotomie genannt.

Eine Studie von Stepanovich et al. kam zu dem Ergebnis, dass radiologisch zufriedenstellende Endergebnisse nicht ausschließlich vom Erkrankungsstadium abhängig sind, wenn eine Überdachung operativ durch eine Tripleosteotomie wiedererlangt werden konnte [50]. Hierbei wurden 56 Patienten untersucht und behandelt sowie mithilfe der Elisabethtown-Klassifikation, der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring und der Klassifikation nach Catterall eingruppiert und mit der Stulberg-Klassifikation im Outcome beurteilt. Der Erfolg der Tripleosteotomie war vor allem bei jungen Patienten mit einem moderaten Schmerzbild effektiv. Schlussfolgernd wurde festgehalten, dass Patienten mit ausgeprägtem radiologischem Befund unabhängig vom Alter einem derartigen Containmentverfahren unterzogen werden sollten.

In einer Multicenter Studie von Herring im Jahr 2004 wurde veröffentlicht, dass die Lateral-Pillar-Klassifikation und das Erkrankungsalter maßgeblich mit dem Outcome nach Stulberg korreliere [51]. Hierbei wurden fünf Optionen für die 438 Patienten untersucht: Entlastung beziehungsweise Bewegungsübung nach konservativer Art, die Femur- und die Beckenosteotomie als operative Methoden und die Unterlassung einer Behandlung. Die Patienten älter als acht Jahre und

einer Zuteilung nach der Lateral-Pillar-Klassifikation der Gruppe B oder B/C hatten demnach ein besseres Outcome durch einen chirurgischen Eingriff als durch eine konservative Behandlung. Patienten jünger als acht Jahre mit Erhalt der lateralen Säule größer 50% (Gruppe B nach Herring) hatten unabhängig der Behandlung sehr günstige Outcome-Ergebnisse. Patienten der Gruppe C hatten ein schlechtes Outcome in jeder Alters- und Interventionsgruppe.

Auch Sponseller et al. beschrieben 1988 bei dem Vergleich der Behandlung des Morbus Perthes in Form von Hüft- oder Femurosteotomien eine Unterscheidung durch das Alter zu Erkrankungsbeginn [52]. Es wurden damals 42 Patienten mit einer Femurosteotomie und 49 Patienten mit einer Beckenosteotomie behandelt, die mit ihrem Befund jeweils der Klassifikation nach Catterall Gruppe III oder IV angehörten. Patienten jünger zehn Jahre erhielten durch beide Prozeduren gleichartige Ergebnisse. Die radiologischen Messungen ähnelten nach der Beckenosteotomie stärker den Normwerten von gesunden Kindern. Ebenso schnitt die Beckenosteotomie als geeignetere Methode bei Tendenz einer Coxa vara oder einer resultierenden Beinlängendifferenz ab. Patienten älter als zehn Jahre hatten unabhängig der Prozedur schlechtere Ergebnisse.

Die hypercontainmenterzeugende Intervention verbesserte unsere Patientenergebnisse vor allem in Anbetracht der Überdachung laut dem Migrationsindex nach Reimers, der Reduzierung des Trendelenburgzeichens und der Wiederherstellung der Ménard-Shenton-Linie. Jedoch konnte eine Überlegenheit des Hypercontainments im Gegensatz zu einfachen Containment-Maßnahmen nicht belegt werden.

In einer Studie von Mosow et al. aus dem Jahr 2017 wurden 69 Patienten hinsichtlich des Outcomes nach einer kombinierten Hüft- und Femurosteotomie untersucht [44]. Die Patienten waren zum Zeitpunkt der Diagnose $6,9 \pm 2,4$ Jahre alt und wurden mit $7,9 \pm 2,3$ Jahren operiert. Für die Ergebniseinschätzung wurden der Harris-Hip-Score und die Einteilung nach Stulberg herangezogen. Es konnten hierbei keine funktionellen oder radiologischen Vorteile in der hypercontainmenterzeugenden Methode im Vergleich zu einer einfachen Osteotomie am Femur oder der Hüfte erkannt werden.

In einer weiter zurückliegenden Studie von M. Javid und J.H. Wedge aus dem Jahr 2009 konnten marginal bessere Endergebnisse bei Kindern älter als acht Jahre durch ein Hypercontainment mithilfe einer Salter Beckenosteotomie und einer Femurosteotomie beobachtet werden. Die Patienten, die hierbei mit einer unzureichenden lateralen Säule eingestuft wurden, erreichten mittelgradige Verbesserungen der lateralen Säule [53].

Eine Einschätzung der lateralen Säule wurde in unserer Studie im Rahmen der Ausgangsparameter erhoben, jedoch erfolgte die Erhebung der Outcomeparameter radiologisch anhand der CTD, des Migrationsindex nach Reimers, der Beurteilung der Ménard-Shenton-Linie und Klassifikation nach Stulberg. Von den 22,78% des Patientenkollektivs, die mit einem Hypercontainment behandelt wurden, erreichten diejenigen der Gruppe B nach der Lateral-Pillar-Klassifikation Outcome-Ergebnisse mit Stulberg I und II oder III. Bei schlechteren Voraussetzungen, bewertet anhand der lateralen Säule, neigten die radiologischen Ergebnisse zu ovalem Hüftkopf und einer Coxa magna und somit Stulberg III.

4.4 Erkrankungsalter als Risikovariablen

In den beiden Multivariaten Modellen für das klinische und das radiologische Endergebnis schnitt das Erkrankungsalter bei unseren Untersuchungen als Risikovariablen ab.

Das Risiko für einen Harris-Hip-Score kleiner 80 Punkten stieg laut unserer Berechnung um jedes Jahr mit 47,6%.

Das radiologische Endergebnis, welches mittels der Stulberg-Klassifikation erhoben wurde, war unseren Berechnungen zufolge maßgeblich vom Erkrankungsalter abhängig. Hierbei stieg das Risiko mit einem Stulberg III, IV oder V die Therapie bei Wachstumsende zu beenden mit jedem weiteren Lebensjahr um 43%.

In der Studie „Prognostic factors and outcome of treatment in Perthes’ disease“ von O. Wiig, T. Terjesen und S. Svenningsen wurde das Alter als Prädiktor hervorgehoben [47]. Die veröffentlichte Tabelle der Arbeit von Wiig et al. zeigt, dass 57% der Patienten des jüngeren Kollektivs (jünger als sechs Jahre) mit einem Stulberg I und II die Therapie beendeten. Die Gruppen Stulberg III und

Stulberg III/IV verhielten sich absteigend mit 32% und 11%. Im Vergleich erhielten in unserem Kollektiv mit jünger/gleich sechs Jahren 49,15% einen Stulberg III, 42,37 % einen Stulberg I/II und 8,47% einen Stulberg IV/V. Der Mittelwert des Alters war bei Wiig et al. bei 5,8 Jahren, wohingegen bei uns die Patienten einen Mittelwert von 6,76 Jahren hatten. Das heißt unsere Patienten waren durchschnittlich etwas älter und hatten häufiger einen ovalen Femurkopf bzw. eine Coxa magna als die Vergleichsgruppe aus der anderen Studie. Die Ergebnisse lassen sich hier jedoch nicht in einen direkten Vergleich setzen, da sich das therapeutische Vorgehen in den beiden Untersuchungen zwischen konservativ und rein operativ überschneidet.

4.5 Selektionsbias

Der Gedanke, dass in dieser Studie eine Verzerrung aufgrund einer präoperativ getätigten Selektion vorliegen könnte, kam bei ausreichender Betrachtung der Ergebnisse schnell auf. Bereits in Kapitel 3.8 wurden die Ausgangscharakteristika in den verschiedenen Interventionsgruppen ausgewertet und getestet, ob sie einen Vergleich zwischen den Patientengruppen zuließen. Den Schwerpunkt auf die präoperative Diagnostik mittels Röntgen gelegt, sind in folgender Tabelle die Patientenzahl mit den Ausgangsbefunden und zugeteilter Intervention verkürzt dargestellt. Es fällt auf, dass die Intervention nicht beharrlich an einem Kriterium gewählt wurde und die Ausgangsbefunde einzeln betrachtet in ihrer Schwere nicht zwingend auf die Intervention hätten schließen lassen.

Tab. 15 Ausgangscharakteristika bezogen auf Intervention

		Tripleosteotomie	IVO	Tripleosteotomie + IVO
Alter	</= 6 Jahre	13	33	8
	> 6 Jahre	27	21	9
Catterall	I	0	0	1
	II	1	2	1
	III	25	34	11
	IV	14	18	6
Herring	A	0	1	1
	B	18	39	9
	BC	3	3	0
	C	19	11	9
mod. Waldenström	IB	0	3	1
	IIA	8	7	2
	IIB	17	27	10
	IIIA	14	17	6
	IIIB	1	0	0
MI nach Reimers	</= 22%	26	38	8
	> 22%	14	16	11
Ménard-Shenton-Linie	positiv	30	34	16
	negativ	10	19	3

Die Tests ergaben, dass lediglich einzelne Ausgangscharakteristika einem Vergleich standhalten könnten, der Patient aber in der Vollständigkeit seines Befundes einer Intervention zugeteilt wurde. Jüngere Patienten wurden mit einer leichteren Form (Klassifikation nach Catterall III und Lateral-Pillar-Klassifikation Herring B) und einer geringeren Lateralisation (nach dem Migrationsindex nach Reimers) eher einer IVO zugeführt. Ein weiteres Mal lässt sich die hier gewählte Fragestellung deshalb nur eingeschränkt beantworten. Es ist erkennbar, dass die Expertise und die Erfahrungen der behandelnden Ärzte die Selektion beeinflussen und die Indikationsstellung aufgrund interner Listen von Risikofaktoren erfolgt. Nur eine prospektiv angelegte, randomisierte Studie könnte die Frage der Überlegenheit einer operativen Methode beantworten und wäre eine neuartige Studienform in der Erforschung des Morbus Perthes, die gegebenenfalls kritisch betrachtet werden könnte. Als Alternative könnten matched pairs als Notbehelf in Betracht gezogen werden.

4.6 Fazit

Die Intertrochantäre Varisationsosteotomie schnitt in dieser Studie mit den besseren radiologischen und klinischen Outcome-Ergebnissen ab und würde ohne eine Betrachtung anderer Faktoren rückschließen lassen, dass die einfache Containment-Therapie der Hypercontainment-Therapie, entgegen der formulierten Fragestellung, überlegen ist. Doch ist hierbei auf die relativ geringe Fallzahl der hypercontainment-erzeugenden Intervention, der Tripleosteotomie kombiniert mit einer IVO, hinzuweisen. Eine Multicenter-Studie könnte diesem Problem durch eine Erhöhung der Fallzahlen Abhilfe schaffen.

Es liegt nahe, dass es sich bei den Ergebnissen um eine Verzerrung, einen sogenannten „bias“ handelt, da jüngere Patienten, also jünger bzw. gleich sechs Jahre, vermehrt einer IVO zugewiesen wurden und ebenso diese jungen Patienten eine längere Remodellierungsphase bis zum Wachstumsende haben, um über die Zeit das Outcome zu verbessern. Die Ausgangsbefunde im Kollektiv der IVO waren präoperativ laut unserer Beobachtungen nicht zwingend milder, sodass dies einerseits für die Erfolge dieser Intervention spricht, jedoch andererseits die Vergleichbarkeit zwischen den Interventionen aufgrund des Alters nicht vollständig gewährleistet ist.

5 Zusammenfassung

Hintergrund: Der Morbus Perthes ist eine klassische Erkrankung im Kindesalter mit einem Altersspektrum vom dritten bis zum zehnten Lebensjahr. Hierbei tritt eine idiopathische, ein- oder beidseitige, aseptische Hüftkopfnekrose in Form von Hüft-, Knieschmerzen und Funktionseinschränkungen auf. Folgen wie schwere Hüftkopfdeformitäten, die arthrotische Veränderungen mit sich bringen können und zu einer starken Lebenseinschränkung führen können, sollen vermieden werden. Zahlreiche Studien und Untersuchungen versuchen Fragestellungen, die mögliche Risiko- und Prognosefaktoren, sowie verschiedene Therapieoptionen als relevant und überlegen einstufen, zu beantworten. Schwerwiegende Befunde und Indikationen erfordern ein operatives Verfahren, das mittels einer angestrebten Überdachung des Hüftkopfes im Hüftgelenk, dem sogenannten Containment, erreicht werden kann.

Ziele: In dieser Studie sollte ein Ergebnisvergleich der beschriebenen Operationstechniken (Osteotomie nach Salter, Tripleosteotomie nach Tönnis, Intertrochantäre Varisationsosteotomie, Tripleosteotomie plus Intertrochantäre Varisationsosteotomie, Tripleosteotomie plus Osteotomie nach Salter) dargestellt werden. Es sollte überprüft werden, ob die stärkeren Containmentverfahren/Hypercontainmentverfahren den einfachen Containmentverfahren im radiologischen und klinischen Outcome zum Wachstumsende überlegen sind.

Methoden: Röntgenbilder und Patientenakten von 123 Patienten, die aufgrund eines Morbus Perthes im Olgahospital am Klinikum Stuttgart mithilfe eines operativen Containmentverfahrens von 2006 bis 2015 behandelt wurden, wurden in der Studie analysiert und ausgewertet. Die Beurteilung erfolgte präoperativ, postoperativ und zu dem Zeitpunkt der jüngsten Wiedervorstellung. Dabei wurde der klinische und der radiologische Zustand anhand morphometrischer Parameter und mithilfe allgemeiner klinischer Phänomene beziehungsweise eines Scores, dem Harris-Hip-Score, der ebenfalls Schmerz, Funktionalität und Beweglichkeit einschätzt, beurteilt.

Ergebnisse: Die Betrachtung des klinischen Endergebnisses ergab ein besseres Abschneiden der Patienten, die eine IVO erhielten. Trotz fortgeschrittener präoperativer Ausgangsparameter laut der Catterall-Klassifikation, einem weit fortgeschrittenen Waldenströmstadium und einem ausgeprägten Epiphysenquotienten, konnte mit einer Intertrochantären Varisation vielen Patienten zu einem guten Ergebnis verholfen werden. Die Interventionsgruppe der Tripleosteotomie konnte trotz einer ausgeprägten Lateral-Pillar-Klassifikation und einer schlechten CTD gute Ergebnisse erzielen. Die Hypercontainment-Intervention verhalf im Verhältnis gesehen Patienten mit einem ausgeprägten Migrationsindex nach Reimers und einem positiven Trendelenburgzeichen zu guten Ergebnissen in der letzten Nachuntersuchung. Für den Migrationsindex nach Reimers konnte präoperativ ein Cut-off-Wert von 22% als Tendenz für ein günstiges oder ungünstiges klinisches Outcome beobachtet werden. Für ein schlechtes klinisches Outcome mit einem erreichten Wert von kleiner 80 Punkten im Harris-Hip-Score konnten zudem ein höheres Erkrankungsalter und

präoperativ ein kritisch zu bewertender Migrationsindex nach Reimers als Risikofaktoren hervorgehoben werden.

In der Betrachtung der radiologischen Endergebnisse schnitt die IVO bezogen auf die morphometrischen Parameter und röntgenologischen Klassifikationen nach Catterall, der Lateral-Pillar-Klassifikation nach Herring, dem modifizierten Waldenströmstadium, dem Migrationsindex nach Reimers, dem Epiphysenquotienten und der Centrotrochantären Distanz mit einer vergleichbar großen Fallzahl besser als die anderen beiden Interventionsgruppen ab. Die kombinierte Intervention aus Becken- und Femurosteotomie konnte bei der Behebung einer unterbrochenen Ménard-Shenton-Linie prozentual die besten radiologischen Ergebnisse liefern. Ein radiologisch schlechteres Endergebnis mit Stulberg III, IV und V war bei der erhobenen Kohorte mit einem höheren Erkrankungsalter, erhöhtem Gewicht und Größe, einem präoperativ verbreiterten Gelenkspalt und einem unzureichenden Epiphysenquotienten als Risikofaktor zu verzeichnen.

Die Interventionen Tripleosteotomie, IVO und die Tripleosteotomie mit einer IVO in einen Vergleich gesetzt, erbrachte die IVO die besten klinischen und radiologischen Endergebnisse.

Schlussfolgerung: In der Studie schnitt die Intertrochantäre Varisationsosteotomie mit den besten radiologischen und klinischen Ergebnissen ab. Aufgrund der mildereren Einschlusskriterien und der individuellen Einflüsse einzelner Risikokonstellationen ist von einem „bias“ auszugehen, der die Ergebnisse zugunsten der IVO verzerrt darstellen könnte. Zusätzlich kann in Anbetracht des Vergleichs zwischen einem einfachen Containment- und einem Hypercontainmentverfahren, aufgrund geringer Fallzahlen der Hypercontainment unterzogenen Kohorte, nicht auf eine Überlegenheit des einfachen Containments geschlossen werden. Hierfür wäre eine prospektive randomisierte Multicenter-Studie vermutlich aufschlussreich.

6 Anhang

Harris-Hip-Score

SCHMERZEN		
Kein Schmerz		44
Leichter Schmerz	Gelegentlicher, leichter Schmerz; ohne Behinderung der Aktivität	40
Geringer Schmerz	Durchschnittlich aktiv; seltener und mäßiger Schmerz nach ungewohnter Aktivität	30
Mäßiger Schmerz	Schmerz erträglich, Behinderung bei gewöhnlicher Aktivität, regelmäßige Arbeit möglich, gelegentlich stärkere Analgetika erforderlich	20
Deutliche Schmerzen	Starke gelegentlich auftretende, wieder vergehende Schmerzen, Aktivität stark eingeschränkt, stärkere Schmerzmittel	10
Schwere Schmerzen	Starker Schmerz im Bett, Patient überwiegend bettlägerig, schwerste Beeinträchtigung	0

Ergebnis:

TÄGLICHE AKTIVITÄT		
Treppen steigen	Abwechselnd Schritt für Schritt, ohne Treppengeländer	4
	Abwechselnd Schritt für Schritt, mit Treppengeländer	2
Treppen bewältigen mit anderweitiger/beliebiger Methode		1
	Unfähigkeit Treppen zu nehmen	0
Öffentliche Verkehrsmittel verwenden		1
Sitzen	Bequem auf jedem Stuhl für 1 Stunde	5
	Bequem auf hohem Stuhl für 30 Minuten	3
	Unfähigkeit bequem auf jedem Stuhl zu sitzen	0
Schuhe und Socken	Fähig Schuhe und Strümpfe ohne Beschwerden anzuziehen	4
	Kann Schuhe und Strümpfe mit Schwierigkeiten anziehen	2
	Unfähig Schuhe und Strümpfe selbst anzuziehen	0

Ergebnis:

GEHEN		
Hinken	Nicht	11
	Gering	8
	Moderat	5
	Schwer	0
Hilfsmittel	Keine	11
	Spazierstock bei langer Strecke	7
	Spazierstock für die meiste Zeit	5
	Unterarmgehstütze	3
	Zwei Spazierstöcke	2
	Zwei Unterarmgehstützen oder immobil	0
Distanz	Unbegrenzt	11
	Zwei Kilometer	8
	200- 500 Meter	5
	Nur in der Wohnung	2
	Bett oder Stuhl	0

Ergebnis:

DEFORMITÄTEN		
Adduktionskontraktur	Weniger als 10°	1
	10° oder mehr	0
Innenrotationskontraktur	Weniger als 10°	1
	10° oder mehr	0
Beugekontraktur	Weniger als 15°	1
	15° oder mehr	0
Beinlängendifferenz	Weniger als 3 cm	1
	3 cm oder mehr	0

Ergebnis:

MOBILITÄT (alle Ebenen addiert)		
	300-210°	5
	209-160°	4
	159-100°	3
	99-60°	2
	59-30°	1
	29-0°	0

Ergebnis:

Gesamtergebnis:

7 Literaturverzeichnis

1. Waldenström, H., *Der obere tuberkulöse Collumherd*. 1908: p. 487-512.
2. Pschyrembel, W., *Klinisches Wörterbuch*. Vol. 266, neu bearbeitete Auflage 2014, New York: De Gruyter. 2377.
3. Matussek, J., *Kinderorthopädie und Kindertraumatologie*. Vol. 1. 2013, Berlin Heidelberg: Springer- Verlag. 145.
4. Barker, D.J.P. and A.J. Hall, *The Epidemiology of Perthes' Disease*. Clinical Orthopaedics and Related Research, 1986. **209**: p. 89-94.
5. Wiig, O., et al., *The epidemiology and aetiology of Perthes' disease in Norway*. JBJS, 2006. **88-B**: p. 1217-1223.
6. Gray, I.M., R.B. Lowry, and D.H.G. Renwick, *Incidence and Genetics of Legg-Perthes Disease (Osteochondritis Deformans) in British Columbia: Evidence of Polygenic Determination* Journal of Medical Genetics, 1972: p. 197-202.
7. Purry, N.A., *The Incidence of Perthes' Disease in three population groups in the eastern cape region of South Africa* The Journal of Bone and Joint Surgery, 1982. **64-B**: p. 266-288.
8. Salter, R.B., *Innominate osteotomy in the treatment of congenital dislocation and subluxation of the hip*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 1961. **43-B**: p. 518-539.
9. Buckup, K., *Kinderorthopädie*. 2nd ed. 2001, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
10. Conroy, E., et al., *Triple pelvic osteotomy in Legg-Calve-Perthes disease using a single anterolateral incision: a 4-year review*. J Pediatr Orthop B, 2010. **19**(4): p. 323-6.
11. Joseph B., O.M.S., Orth M .Ch., Varghese G., Mulpuri K., Narasimha Rao K.L., Sreekumaran N., *Natural evolution of Perthes disease: A study of 610 children under 12 years of age at disease onset*. JPO, 2003.
12. Bassett, G.S., et al., *Measurement of femoral head microcirculation by laser doppler flowmetry*. Journal of Pediatric Orthopedics, 1991. **11**: p. 307-313.
13. Camargo, F.P.D., R.M.D. Godoy, and R. Tovo, *Angiography in Perthes' Disease* Clinical Orthopedics and Related Research, 1984: p. 216-220.
14. Garcia Mata S., A.A.E., Hidalgo Ovejero A. et al., *Legg-Calve-Perthes disease and passive smoking*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 2000. **20**: p. 326-330.
15. Matussek, J., *Kinderorthopädie und Kindertraumatologie*. Vol. 1. 2013, Berlin Heidelberg: Springer- Verlag 57- 63, 136.
16. Glueck, C.J., et al., *Association of Antithrombotic Factor Deficiencies and Hypofibrinolysis with Legg-Perthes Diseases*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 1996. **78-A**: p. 3-13.
17. Liu, S.-L. and T.-C. HO, *The Role of Venous Hypertention in the Pathogenesis of Legg-Perthes Disease*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 1991. **73-A**: p. 194-200.

18. Wirtz, D.C. and U.Stöckle, *Hüfte* Vol. 1. 2018, Stuttgart: Georg Thieme Verlag 461.
19. Westhoff, B., F. Martiny, and R. Krauspe, *Perthes disease*. *Z Orthop Unfall*, 2014. **152**(6): p. 617-33; quiz 634-5.
20. Hefti, F., *Kinderorthopädie in der Praxis*. Morbus Perthes.
, ed. F.F. Brunner R., Hasler C., Jundt G., Krieg A. 2015, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
21. Kim, H.K., et al., *Perfusion MRI in Early Stage of Legg-Calve-Perthes Disease to Predict Lateral Pillar Involvement: A Preliminary Study*. *J Bone Joint Surg Am*, 2014. **96**(14): p. 1152-1160.
22. D.C. Wirtz, U.S., *Hüfte*. Vol. 1. 2018, Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 461.
23. Suda, R., et al., *Osteonekrotische Erkrankungen in der Padiatrie*. *Journal für Mineralstoffwechsel*, 2007. **14**: p. 24-31.
24. Petje, G., et al., *Aseptic osteonecrosis in childhood: diagnosis and treatment*. *Orthopäde*, 2002. **31**(10): p. 1027-38.
25. Joseph, B., et al., *Optimal timing for containment surgery for perthes disease*. *JPO*, 2003: p. 601-606.
26. Nguyen, N.T., et al., *Operative vs Non-operative Treatments for LCDP: A metaanalysis*. *JPO*, 2012: p. 697-705.
27. Herring, J.A., *Legg-Calve -Perthes Disease at 100: A Review of Evidence-based Treatment*. *JPO*, 2011.
28. Manig, M., *Legg-Calve-Perthes disease:Principles of diagnosis and treatment*. *Der Orthopäde*, 2013. **42**(10): p. 891-902; quiz 903-4.
29. Harris, W.H., *Traumatic Arthritis of the Hip after Dislocation and Acetabular Fractures: Treatment by Mold Arthroplasty*. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 1969. **51-A**: p. 737-755.
30. Hinman, R.S., et al., *Which is the most useful patient-reported outcome in femoroacetabular impingement? Test-retest reliability of six questionnaires*. *Br J Sports Med*, 2014. **48**(6): p. 458-63.
31. Kumar, P., et al., *Reliability of Modified Harris Hip Score as a tool for outcome evaluation of Total Hip Replacements in Indian population*. *J Clin Orthop Trauma*, 2019. **10**(1): p. 128-130.
32. Herring, J.A., H.T. Kim, and R. Browne, *Legg-Calvé-Perthes Disease_Part I Classification of Radiographs with Use of the Modified Lateral Pillar and Stulberg Classifications*. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 2004. **86-A**: p. 2103-2120.
33. Herring, J.A., et al., *The Lateral Pillar Classification of Legg-Calvé-Perthes Disease*. *Journal of Pediatric Orthopedics* 1992. **12**: p. 143-150.
34. Herring, J.A., H.T. Kim, and R. Browne, *Legg-Calve-Perthes disease - Part II: Prospective multicenter study of the effect of treatment on outcome*. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 2004. **86a**(10): p. 2121-2134.
35. Dickens, D.R. and M.B. Menelaus, *The assessment of prognosis in Perthes' disease*. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 1978. **60-B**: p. 189-194.

36. Ippolito, E., C. Tudisco, and P. Farsetti, *The Long-term prognosis of unilateral Perthes' Disease*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 1987. **69-B**: p. 243-250.
37. Hyman, J.E., et al., *Interobserver and intraobserver reliability of the modified Waldenstrom classification system for staging of Legg-Calve-Perthes disease*. J Bone Joint Surg Am, 2015. **97(8)**: p. 643-50.
38. Reinker, K.A. and I.J. Larsen, *Patterns of Progression in Legg Perthes Disease*. Journal of Pediatric Orthopedics, 1983. **3**: p. 455-460.
39. Ball, F. and K. Kommenda, *Sources of error in the roentgen evaluation of the hip infancy*. . Annales de radiologie, 1968. **11**.
40. Reimers, J., *The stability of the hip in children. A radiological study of the results of muscle surgery in cerebral palsy*. Acta Orthop Scand Suppl, 1980. **184**: p. 1-100.
41. E.G. Mohan Kumar, G.M.Y.K., M. Abdul Rasheed, *Outcome of Closed Wedge Varus Derotation Osteotomy with Trochanteric Apophysiodesis in Perthes Disease*. Indian J Orthop, 2018. **52**: p. 616–624.
42. Stulberg, S.D., D.R. Cooperman, and R. Wallensten, *The Natural History of Legg-Calvé-Perthes Disease*. The Journal of bone and joint surgery American, 1981. **63-A**: p. 1095-1108.
43. Bauer, R., F. Kerschbaumer, and S. Poisel, *Orthopädische Operationslehre: Becken und untere Extremität Teil 1*. Vol. 1. bearbeitete Ausgabe. 1994, Stuttgart: Georg Thieme Verlag Stuttgart/New York. 701.
44. Mosow, N., et al., *Outcome After Combined Pelvic and Femoral Osteotomies in Patients with Legg-Calve-Perthes Disease*. J Bone Joint Surg Am, 2017. **99(3)**: p. 207-213.
45. Catterall, A., *The natural history of perthes' disease*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 1971. **53 B**: p. 37-53.
46. Canavese, F. and A. Dimeglio, *Perthes' disease Prognosis in children under six years of age*. JBJS Br, 2008. **90-B**: p. 940-945.
47. Wiig, O., T. Terjesen, and S. Svenningsen, *Prognostic factors and outcome of treatment in LCPD*. JBJS Br, 2008. **90-B**: p. 1364-1371.
48. Moberg, A., G. Hansson, and C. Kaniklides, *Results After Femoral and Innominate Osteotomy in Legg-Calvé-Perthes Disease*. Clin Orthop Relate Research, 1997. **334**: p. 257-264.
49. Terjesen, T., O. Wiig, and S. Svenningsen, *Varus femoral osteotomy improves sphericity of the femoral head in older children with severe form of Legg-Calve-Perthes disease*. Clin Orthop Relat Res, 2012. **470(9)**: p. 2394-401.
50. Stepanovich, M., et al., *Advanced Containment with Triple Innominate Osteotomy in LCPD: A Viable Option Even in Severe Cases*. JPO, 2015: p. 1-7.
51. Herring, J.A., *Legg-Calvé-Perthes Disease PART II: PROSPECTIVE MULTICENTER STUDY OF THE EFFECT OF TREATMENT ON OUTCOME*. JBJS Am, 2004.
52. Sponseller, P.D., S.S. Desai, and M.B. Millis, *Comparison of femoral and innominate osteotomies for the treatment of LCPD* Journal of Bone and Joint Surgery, 1988. **70 B**: p. 1131-1139.

53. Javid, M. and J.H. Wedge, *Radiographic results of combined Salter innominate and femoral osteotomy in Legg-Calve-Perthes disease in older children*. J Child Orthop, 2009. **3**(3): p. 229-234.

8 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde an der Universitätsklinik in Tübingen unter Betreuung von Herrn PD Dr. Dr. Traub, Stellvertretender Ärztlicher Direktor der Universitätsklinik für Orthopädie in Tübingen, durchgeführt.

Die Konzeption und Betreuung der Studie erfolgte durch Herrn Prof. Dr. med. Thomas Wirth, Ärztlicher Direktor der Orthopädischen Klinik am Olgahospital, Klinikum Stuttgart.

Die Daten und Messungen wurden nach Einarbeitung durch Herrn Prof. Dr. Wirth von mir eigenständig erhoben und durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig und nach Anleitung durch Frau Dr. Lina Maria Serna Higueta aus dem Institut für Biometrie in Tübingen.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den

Anna Thomanek

9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zuallererst bei Herrn Prof. Dr. Thomas Wirth, Ärztlicher Direktor der Orthopädischen Klinik am Olgahospital in Stuttgart, bedanken, der mir als mein Betreuer immer mit Rat und Tat zur Seite stand und mir geholfen hat, das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren.

Ein weiterer besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. Frank Traub, der mir die Studiendurchführung am Olgahospital im Rahmen meiner Promotion an der Universität Tübingen ermöglicht hat.

Zudem möchte ich mich bei Chefarztsekretärin Frau Kalischko für ihre Herzlichkeit, ihr offenes Ohr und ihre Bemühungen die Gesprächstermine mit der nötigen Zeit zu planen, bedanken.

Außerdem bedanke ich mich bei Frau Lina Serna-Higuera aus dem Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie in Tübingen für die statistische Beratung und die dafür nötige Geduld.

Auch dem Team der Kinderorthopädie, der Radiologie, der EDV und den Mitarbeitern des Klinikarchivs im Olgahospital möchte ich meinen Dank aussprechen.

Ein besonderer Dank geht auch an meinen Freund Alexander Messmer und meine Mutter Sonja Thomanek, die mir beim Korrekturlesen geholfen haben.

Danke.