Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie
des
Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf

Direktor: Prof. Dr. med. W. Rüther

MR-basierte Volumetrie des Hüftkopfes und der Hüftpfanne beim Morbus Perthes und einem Normalkollektiv

Dissertation

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg vorgelegt von
Sintje Singerhoff
aus Hamburg

Hamburg, 2007

Angenommen vom Fachbereich der Medizin
der Universität Hamburg am: 18. Dezember 2007

Veröffentlicht mit der Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: Prof. Dr. L. Meiss

Prüfungsausschuss 2. Gutachter/in: PD Dr. C. Habermann

Prüfungsausschuss 3. Gutachter/in: PD Dr. U. Rehder

So sehr mich das Leid von Kindern dieser Welt beschäftigt, so verlor ich mich doch nie im Grübeln darüber, sondern hielt mich an dem Gedanken, dass es jedem von uns verliehen sei, etwas von diesem Leid zum Aufhören zu bringen.

(Albert Schweitzer)

Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 7

EINLEITUNG 9

1 ÄTIOPATHOGENESE, DIAGNOSTIK, STADIENEINTEILUNG UND THERAPIE DES M. PERTHES 11

1.1 Ätiopathogenese 11

1.2 Diagnostik 14

1.2.1 Röntgen 14

1.2.2 Sonographie 15

1.2.3 Magnetresonanztomographie (MRT) 16

1.2.3.1 Technik der MRT 16

1.2.3.2 MR-Volumetrie 18

1.3 Stadieneinteilung 19

1.4 Therapie 23

1.4.1 Konservative Therapie 23

1.4.2 Chirurgische Therapie 24

1.4.2.1 Intertrochantäre Varisierungsosteotomie (IVO) 24

1.4.2.2 Beckenosteotomie nach Salter 25

1.4.2.3 Transversotomie 26

2 MATERIAL UND METHODEN 27

2.1 Patientenkollektiv 27

2.2 Untersuchungsverfahren 30

2.3 Parameter 30

2.3.1 Kopfvolumen 31

2.3.2 Pfannenvolumen 33

2.3.3 Maximaler Querer Durchmesser (MQD) 35

2.3.4 Maximaler Schräger Durchmesser (MSD) 35

2.3.5 Knorpeliges Containment 36

3 ERGEBNISSE 38

3.1 Hüftparameter von hüftgesunden Kindern im Seitenvergleich 38

3.2 Hüftkopf- und Pfannenvolumen bei hüftgesunden Kindern 40

3.3 Maximaler Querer und Maximaler Schräger Durchmesser sowie knorpeliges Containment bei hüftgesunden Kindern 43

3.4 Altersbezogene Unterschiede bei hüftgesunden Kindern 46

3.5 Normwerte 51

3.6 Vergleich von Hüften hüftgesunder Kinder mit erkrankten Hüften von Kindern mit M. Perthes 54

3.7 Vergleich von nicht betroffener mit erkrankter Seite bei Kindern mit M. Perthes 60

3.8 Korrelationen 66

4 DISKUSSION 68

4.1 Material und Methode 70

4.2 Parameter 71

4.3 Messergebnisse der hüftgesunden Kinder 72

4.4 Messergebnisse der an M. Perthes erkrankten Kinder 75

4.5 Unsere Ergebnisse: Neue Ansätze zum Verständnis der Pathophysiologie beim M. Perthes 78

5 ZUSAMMENFASSUNG 82

LITERATURVERZEICHNIS 84

ANHANG 89

5.1 Messergebnisse 89

5.2 t-Test Ergebnisse 100

DANKSAGUNG 108

LEBENSLAUF 109

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
AHI	Acetabulum Head Index
a. p.	anterior-posteriorer Strahlengang
ccm	Kubikzentimeter
CI	Konfidenzintervall
df	statistischer Freiheitsgrad
gesunde Kinder	hüftgesunde Kinder (Kontrollgruppe)
gesunde Seite	nicht betroffene Gegenseite der Kinder mit M. Perthes
IVO	Intertrochantäre Varisierungsosteotomie
kAKI	knorpeliger Acetabulum Kopf Index
kr	erkrankte Hüftseite der Kinder mit M. Perthes
LCPD	Legg-Calvé-Perthes Disease
M.	Morbus
MQD	Maximaler Querer Durchmesser des Hüftkopfes
MSD	Maximaler Schräger Durchmesser des Hüftkopfes
MRT	Magnetresonanztomographie, Magnetresonanztomogramm
Mw	Mittelwert
Mw G	Mittelwert der Hüften von hüftgesunden Kindern (Kontrollgruppe)
Mw P_{nb}	Mittelwert der nicht betroffenen Gegenseite von Kindern mit M. Perthes
Mw P_{kr}	Mittelwert der erkrankten Pertheshüften
n	Anzahl
nb	nicht betroffene Gegenseite der Kinder mit M. Perthes
p	statistische Irrtumswahrscheinlichkeit
p (t)	Signifikanz
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
$RÖ_{MQD}$	MQD ermittelt anhand des Röntgenbildes
$RÖ_{MSD}$	MSD ermittelt anhand des Röntgenbildes
RW	Richtwert

RW_{MQD}	Richtwert für den MQD
RW_{MSD}	Richtwert für den MSD
SD	Standardabweichung
SF	Standardfehler
T	statistische Prüfgröße
T1	Longitudinalrelaxationszeit
T2	Querrelaxationszeit
TAL	Transverse acetabular ligament
TE	Echozeit
Tesla	SI-Einheit für die magnetische Induktion
TR	Repetitionszeit
UKE	Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
V_{Alter}	Kopfvolumen gemäß dem Alter des Kindes
Z. n.	Zustand nach
Δ Mw	Differenz der Mittelwerte
Δ X %	prozentuale Größendifferenz
(+)	berichtigt

Einleitung

„J'ai eu l'occasion, au cours de ces trois dernières années, d'observer dix cas d'arthrites chroniques de la hanche d'une allure toute spéciale, ne paraissant répondre à aucun type de description connue. Les caractères principaux de ces arthrites sont: [...] Hypertrophie de la tête fémorale [...] – Elle saute aux yeux, dans la pluspart des cas" (Jacques Calvé 1910).

Der Franzose Jacques Calvé gehört neben dem Amerikaner Arthur Thornton Legg und dem Deutschen Georg Clemens Perthes zu den Erstbeschreibern einer Hüfterkrankung im Kindesalter, die noch immer Rätsel aufgibt: des Morbus Perthes, im englischen Sprachgebrauch auch als Legg-Calvé-Perthes Disease („LCPD") bezeichnet.

Mit der „Hypertrophie des Hüftkopfes" hat Calvé vor fast 100 Jahren auf einen der wesentlichen Aspekte der Erkrankung hingewiesen.

Die Hypertrophie ist als *Coxa magna* ein gängiger Röntgenbefund beim späten M. Perthes, aber die Ursache und das Ausmaß der Vergrößerung sind nicht bekannt. Seit den arthrographischen Untersuchungen von Jonsäter (1953) wissen wir, dass der knöchernen Kopfvergrößerung eine knorpelige Kopfvergrößerung vorausgeht. Systematische arthrographische Messungen fehlen, weil die Arthrographie als invasives Verfahren nicht zur Verlaufsbeurteilung eingesetzt wurde – bestenfalls erst später zur Therapieplanung, wobei dann jedoch selten beidseitig arthrographiert wurde.

Mit der Magnetresonanztomographie (MRT) steht uns seit etwa 20 Jahren ein Verfahren zur Verfügung, das neben dem Knochen die Weichteile, also auch den Knorpel, gut abbildet. Direkte Messungen einschließlich Volumenbestimmungen sind damit möglich geworden. Aufgrund der mit der Untersuchung verbundenen hohen Kosten hat sie sich noch immer nicht zur Standarddiagnostik beim M. Perthes durchgesetzt.

In der Klinik und Poliklinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf wurde die MRT vergleichsweise früh beim M. Perthes eingesetzt, so dass inzwischen ein größeres Kollektiv zur Auswertung zur Verfügung steht.

In der vorliegenden Arbeit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Erlauben Kernspinuntersuchungen die Messung des Hüftkopfvolumens und des Pfannenvolumens bei hüftgesunden Kindern und Kindern mit M. Perthes? Können dazu parallel der Maximale Quere Durchmesser (MQD), der Maximale Schräge Durchmesser (MSD) des Femurkopfes und das knorpelige Containment bestimmt werden?
2. Ergeben sich für die erhobenen Werte altersbezogene Unterschiede bei hüftgesunden Kindern und lassen sich mit den gewonnenen Werten altersbezogene Normwerte definieren?
3. Gibt es Volumenveränderungen des Hüftkopfes und der Hüftpfanne beim M. Perthes und sind diese so bedeutsam, dass sich daraus neue Aspekte für das Verständnis der Pathophysiologie und eventuell für die Therapie des M. Perthes ergeben?
4. Verändern sich die erhobenen Werte bei Kindern mit einseitigem M. Perthes auch auf der vermeintlich nicht betroffenen Seite?

1 Ätiopathogenese, Diagnostik, Stadieneinteilung und Therapie des M. Perthes

1.1 Ätiopathogenese

Seit den Erstbeschreibungen dieses Hüftleidens durch Legg, Calvé und Perthes im Jahr 1910 sind zahllose Arbeiten zum M. Perthes erschienen, aber die Entstehung ist weiterhin unklar und eine kausale Therapie, geschweige denn eine Prophylaxe, ist nicht möglich.

Die in den Anfangszeiten vermuteten Ursachen wie Rachitis (Calvé 1910) und die Tuberkulose (Waldenström 1909) konnten ausgeschlossen werden.

Bereits vier Jahre nach Beschreibung der Erkrankung veröffentlichte Schwarz (1914) die Ergebnisse seiner Untersuchungen und beschrieb eine Ernährungsstörung des proximalen Femurendes durch Läsionen der Knorpelfugengefäße als Ursache der Erkrankung.

Nach Trueta (1957) wird die Epiphyse zwischen dem 4. und 7. Lebensjahr fast ausschließlich durch die lateralen Epiphysengefäße, die aus der *A. circumflexa femoris medialis* stammen, ernährt. Diese subkritische Versorgungslage der Epiphyse im perthestypischen Alter kann jederzeit durch endogene oder exogene Noxen zusammenbrechen und zu einer ischämischen Krise führen.

Kery et al. (1971) überprüften durch venöse Stase von Rattenschwänzen die Hypothese, nach der eine venöse Abflussstörung Ursache für die Ischämie der Epiphyse sein könnte.

Harrison und Burwell (1981) warfen die Frage auf, ob nicht stattdessen bei chronischer Drucküberlastung mit der Folge zusammensinternder Knochenbälkchen ein intraepiphysärer Gefäßschaden für die Nekrose in Frage komme.

Da sich bei betroffenen Jungen ein deutliches Zurückbleiben des Knochenalters in Bezug auf das tatsächliche Lebensalter nachweisen ließ (Harrison et al. 1976), wurde eine Reifestörung als Ursache diskutiert.

In letzter Zeit wurde auch passives Rauchen als Risikofaktor angegeben (Gordon et al. 2004).

Unter Berücksichtigung von tierexperimentellen Ergebnissen (Vizkelety und Wouters 1969, Rösingh et al. 1969, Kim et al. 2001, 2002) wird angenommen, dass der M. Perthes in folgenden Phasen abläuft:

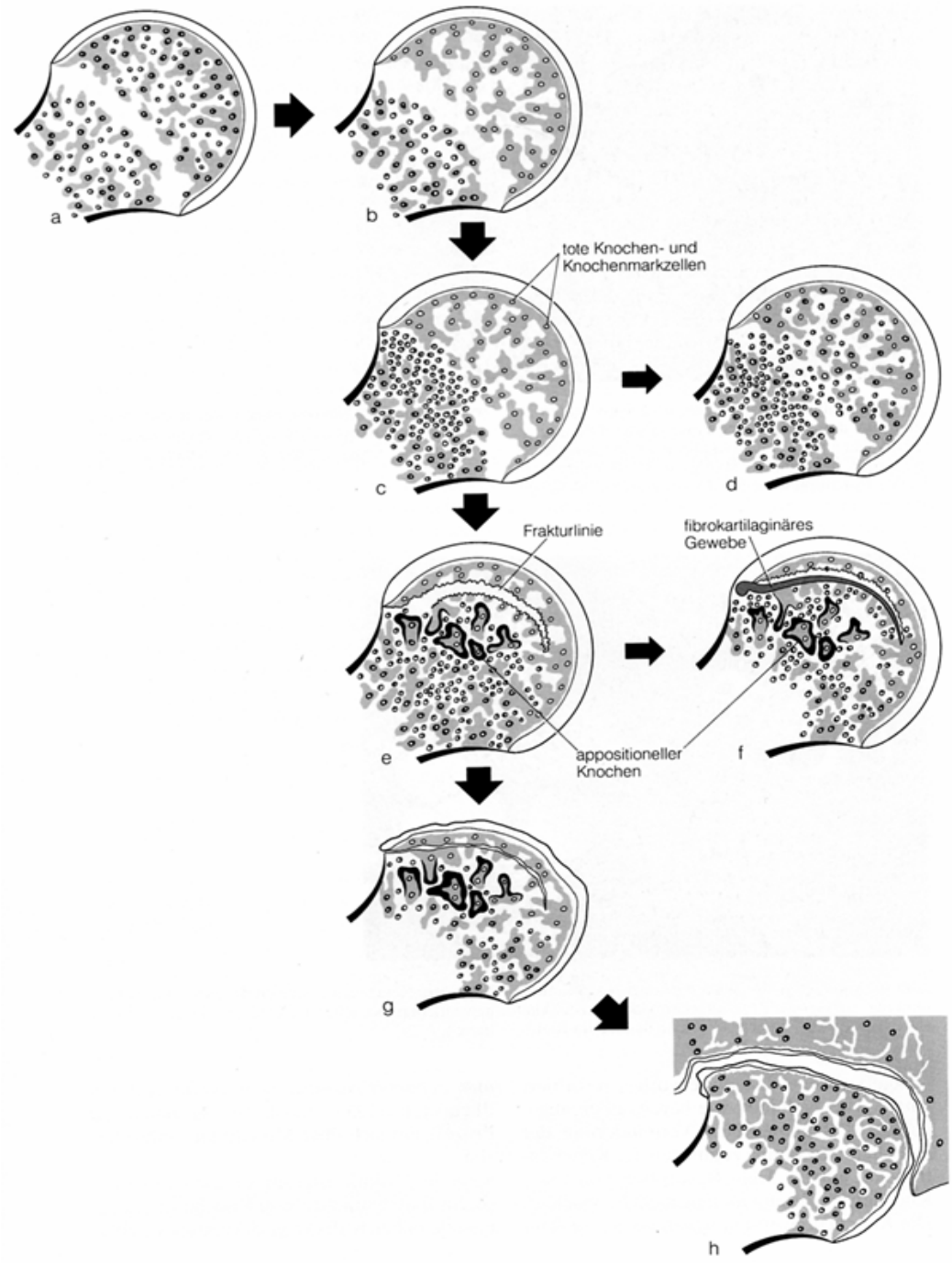


Abb. 1.1 Histopathologischer Krankheitsverlauf (nach: Glimcher und Kenzora 1979)

a. Gesunder Hüftkopf.
b. Phase des Absterbens. Bereits wenige Stunden nach der Durchblutungsstörung feststellbar.
c. Phase der Revaskularisierung. Nach drei Tagen Einwachsen von Granulationsgewebe in das Knochenmark. Vaskularisierung der gesamten Epiphyse.
d. Phase der primären Restitution. Die schnelle Revaskularisierung ermöglicht die Bildung von Faserknochen, welcher den toten Knochen so rasch verstärkt oder ersetzt, dass es nicht zur Zusammensinterung der Knochenbälkchen kommt. Dieses Phänomen soll nach Meiss et al. (1996) auch beim „Radiologisch Okkulten M. Perthes“ vorliegen.
e. Phase der Bildung von Faserknochen. Osteoidablagerungen mit dem Einwandern von Kapillaren auf den abgestorbenen Trabekeln. Kommen diese Ablagerungen nicht zustande, resultieren Stressfrakturen, die eine halbmondförmige Frakturlinie bilden. In diese können Bindegewebe und Faserknorpel einwachsen.
f. Phase der sekundären Restitution. Entsteht, wenn der in den Frakturspalt eingewachsene Faserknorpel reossifiziert.
g. Phase der Epiphysendeformierung. Die Knochenbälkchen brechen weiter ein, der Frakturspalt schließt sich, es kommt zu regressiven Veränderungen des Gelenkknorpels. Die Gelenkkongruenz geht verloren.
h. Phase der morphologischen Beruhigung. Der neue Knochen passt sich zunehmend den neuen Belastungskräften an. Durch Remodellierung von Kopf und Pfanne kann es zu einer pathologischen Kongruenz kommen.

In sehr ähnlicher Weise beschreibt Catterall 1982 den Krankheitsverlauf anhand histopathologischer Fakten: Die Knochenbälkchen des Epiphsenkerns werden durch das ischämische Ereignis nekrotisch, das Knochenwachstum sistiert. Unter der fortdauernden Belastung kann eine subchondrale Fraktur auftreten, die von ventral nach dorsal zieht (sog. „Caffey-Fracture“). Die vom Gelenkbinnenraum durch Diffusion versorgte Knorpelhülle wächst weiter. Durch Abbau von nekrotischen Knochenbälkchen und Ersatz durch fibrokartilaginäres Gewebe wird die Epiphyse weich. Unter der normalen Belastung beim Gehen und Rennen des Kindes kommt es zu einer Deformierung des großen und weichen Kopfes. Die

toten Knochentrabekel werden schließlich vollständig abgebaut und durch neuen Knochen ersetzt. Der Abbau dauert einige Monate, der Wiederaufbau Monate bis Jahre, wodurch sich der lange Verlauf der Erkrankung erklärt.

1.2 Diagnostik

Die Perthes'sche Erkrankung kann auch als die "Sphinx der Kinderorthopädie" bezeichnet werden: dadurch dass der Schmerz - wenn er überhaupt auftritt - oftmals ins Knie projiziert wird und sich eine Gangstörung nur in Form eines diskreten Schonhinkens bemerkbar machen kann, läuft man Gefahr, die Anfänge dieses Krankheitsbildes zu übersehen.
Am Anfang der Erkrankung steht eine Gelenkreizung wie bei einer Coxitis Fugax. Wenn die daraus resultierenden Beschwerden länger bestehen, ist eine Abklärung durch folgende bildgebende Verfahren erforderlich: Röntgen, Sonografie, Kernspintomografie. Auf diese soll im Folgenden näher eingegangen werden.

1.2.1 Röntgen

Traditionell wird der Verlauf der Perthes'schen Erkrankung anhand der Röntgenbilder in Beckenübersichts- und Lauensteinaufnahmen in die 4 Stadien nach Catterall (1980) eingeteilt.
Auch wird bei Kindern, die erstmalig mit Hüftschmerzen oder neu aufgetretenem Hinken vorstellig werden, die Röntgenaufnahme als eine der ersten Bildgebungen durchgeführt.
Dies führt leider des Öfteren dazu, dass die Krankheit in ihrem Beginn, wenn einerseits im Röntgenbild lediglich Verdachtszeichen wie Kapselschatten oder Gelenkspaltverbreiterung vorliegen, die Krankheit andererseits größte Aussicht auf Erfolg hätte, übersehen wird.
Das Röntgenbild sollte daher nur als Verlaufsparameter und Prognosehinweis, nicht jedoch zur Diagnosefindung herangezogen werden.

Im Verlauf der Erkrankung ist neben der sonographischen Diagnostik die Anfertigung weiterer Röntgenbilder durchaus indiziert, um Risikofaktoren (sogenannte „Head-at-risk-Zeichen") wie Dezentrierung und Subluxation der

Epiphyse, das Gage-Zeichen sowie die laterale Kalzifikation frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls eine Änderung der Therapieform einzuleiten.

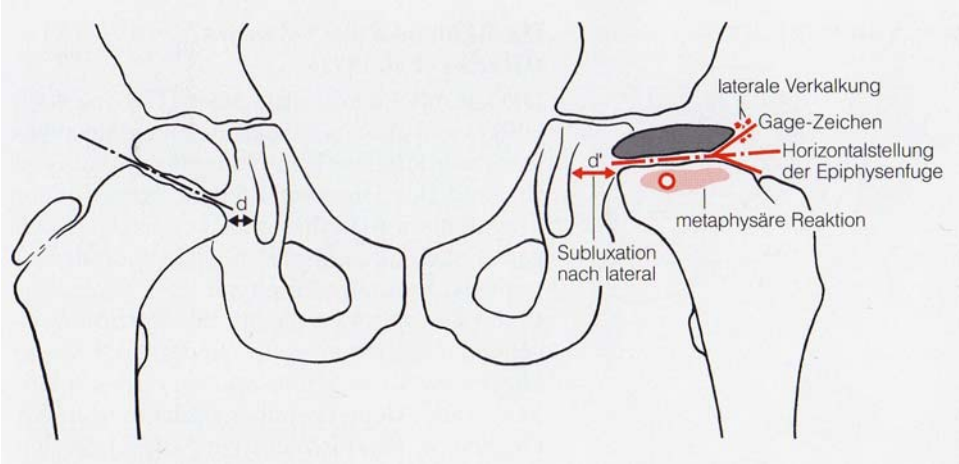


Abb. 1.2 Head-at-risk-Zeichen (aus: Dustmann et al. 1998)

1.2.2 Sonographie

Ergeben sich in der klinischen Untersuchung Hinweise auf einen M. Perthes, sollte zunächst eine sonographische Darstellung der Hüftgelenke erfolgen (Kayser et al. 2003). Strukturelle Knorpel- und Weichteilverhältnisse und die Kopf-Pfannen-Beziehung lassen sich hiermit besser beurteilen als im Röntgenbild.

Wichtige Hinweise auf einen M. Perthes in der Ultraschalluntersuchung sind der Gelenkerguss und eine Zunahme der Dicke des Gelenkknorpels. Diese für das Kind wenig belastende Untersuchung sollte zudem zur Verlaufskontrolle hinzugezogen werden (Stücker et al. 2005). Die Ergebnisse geben einen frühzeitigen Hinweis auf eine etwaige Lateralisierung des Hüftkopfes, die daraus resultierende fehlende Überdachung durch die Pfanne (im Folgenden als Containmentverlust bezeichnet) sowie das drohende Abrutschen des Kopfes aus der Pfanne.

1.2.3 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie eignet sich zur Sicherung der Diagnose bereits im Frühstadium (Heuck et al. 1988). Zudem erlaubt sie eine genaue Beurteilung der Veränderung des Kopfes sowie der Beziehung von Kopf und Pfanne – also des knorpeligen Containments (Meiss 2001).

Wann jedoch ist der richtige Zeitpunkt für diese Untersuchung?
Wird ein Kind mit neu aufgetretenem, länger als zwei Wochen bestehendem Hinken oder Schmerzen in Knie und/oder Hüfte im perthestypischen Alter von vier bis neun Jahren vorgestellt, sollte das Hüftgelenk zunächst sonographisch untersucht und nachkontrolliert werden. Wird hierbei ein länger andauernder Erguss festgestellt, während das zusätzlich angefertigte Röntgenbild einen unauffälligen Befund ergibt, sollte nach spätestens vier Wochen eine MRT durchgeführt werden.
Prinzipiell bietet das Kernspintomogramm folgende Vorzüge (Dustmann et al. 1998, Meiss 2001):

- Darstellung der beim M. Perthes auftretenden knöchernen und knorpeligen Veränderungen von Kopf und Pfanne
- Möglichkeit einer relativ sicheren Differential- und Frühdiagnose
- Kopf und Pfanne können dreidimensional dargestellt werden, was für die Beurteilung der Größe und des Verhältnisses zueinander sowie schließlich die Beurteilung der Deformierung besonders wichtig ist .

Der zuletzt genannte Aspekt war ausschlaggebend für die Durchführung dieser Studie. Durch die Abbildung der knorpeligen Anteile des Hüftgelenkes konnte das „wahre Volumen“ (Meiss 2001) von Kopf und Pfanne ermittelt werden.

1.2.3.1 Technik der MRT

Das technische Prinzip wurde 1946 von Bloch und Purcell unabhängig voneinander entdeckt. Die Weiterentwicklung zu einer Technik in der Medizin, mit Hilfe derer Bilder erzeugt werden können, wurde im Wesentlichen durch Lauterbur und Mansfield im Jahre 1973 vorangetrieben. Dafür wurde den beiden Wissenschaftlern im Jahre 2003 der Nobelpreis für Medizin verliehen. Praktisch verfügbar ist das Verfahren seit 1984.

Die Bildgebung mittels MRT basiert auf der Darstellung von Körpergeweben mit Hilfe von Magnetfeldern und Radiowellen.
In wasser- und fettreichen Geweben befinden sich - ubiquitär - Wasserstoffkerne (H+). Alle Atomkerne mit ungerader Nukleonenzahl besitzen einen Eigendrehimpuls (Kernspin) und induzieren dadurch magnetische Dipolmomente, welche in Abwesenheit eines externen Magnetfeldes keine einheitliche Ausrichtung haben.
Durch Hinzufügen eines solchen externen Magnetfeldes B_0 richten sich diese Dipolmomente parallel oder antiparallel der Feldrichtung von B_0 aus und es entsteht eine messbare Nettomagnetisierung.
Die Frequenz der Larmorpräzession ω ist dabei zur Flussdichte des äußeren Magnetfeldes B_0 und zu einer für jeden Kern spezifischen Konstante γ, auch gyromagnetisches Verhältnis genannt, direkt proportional:

$$\omega = \gamma * B_0$$

In einem MR-Scanner ist das Magnetfeld entlang eines Gradienten aufgebaut.
Ausgesendete Radiofrequenzen in Larmorfrequenz richten die Protonen in Richtung des Magnetfeldes aus. Sie absorbieren die gesendete Energie und kippen in eine andere Ausrichtung eines bestimmten Flip-Winkels α (z. B. 90°). Wird der Frequenzimpuls beendet, geben die Wasserstoffkerne die gespeicherte Energie frei und begeben sich in ihre Ausgangslage zurück.
T1 wird hierbei als die Longitudinalrelaxationszeit, T2 als Zerfall der Querrelaxationszeit bezeichnet. Sie charakterisieren den Zeitraum, den die Dipolmomente benötigen, um in ihre Ausgangslage zurückzugelangen und sind charakteristisch für die Protonenbindung im Gewebe.
Eine Empfängerspule ermittelt die während der Relaxation von den Protonen ausgesandten MR-Signale.
Durch den Gradienten des Magnetfeldes B_0 präzipitiert jedes magnetische Dipolmoment im Koordinatensystem von B_0 mit einer eigenen Larmorfrequenz. Somit kann jedem Signal ein Ort im Koordinatensystem zugeordnet werden, sodass letztlich durch eine mathematische Umrechnung (Fouriertransformation) ein zweidimensionales Bild entsteht.

Abhängig von der Fragestellung können mit verschiedenen Sequenz-Parametern die unterschiedlichen Relaxationszeiten oder die Protonendichte betont werden. Die Signalauslesung kann bei der Bildgebung entweder von der Relaxationszeit T1 oder T2 abhängig gemacht werden. Dementsprechend ist von T1- bzw. T2-gewichteten Bildern die Rede.

Da diese Relaxationszeiten T1 und T2 von unterschiedlichen Substanzen aufgrund chemischer Bindungen variieren, ist es möglich, Aufnahmen verschiedener Gewebebetonungen zu erzeugen (Fritz 2005).

1.2.3.2 MR-Volumetrie

Die Technik der MR-Volumetrie zu diagnostischen Zwecken ist in vielen Bereichen der Medizin ein bereits etabliertes Untersuchungsverfahren.

Dazu gehört beispielsweise die Ermittlung der ventrikulären Ejektionsfraktion als wichtiger Parameter der Herzleistung (Rominger et al. 2004).

Von Bedeutung ist diese Methode auch für die Bestimmung des Hirnvolumens und die Beurteilung der Hirnsegmentierung (Friedlinger 1999). Außerdem wird sie für die Tumor- und Metastasendiagnostik eingesetzt. So kann ein Tumor-Staging erfolgen und das Ausmaß der Rückbildung oder Vergrößerung einer Raumforderung genau angegeben werden (Mayr et al. 2002).

Lemke et al. zeigten 2003 im Tiermodell, dass mit dieser Methode selbst kleinste Volumen mit großer Genauigkeit bestimmt werden können. Die in Schweineaugen injizierten Volumen in Form von Handcreme und Gadolinium-DTPA variierten zwischen 0,05 und 3,0 ml und wurden mit nur geringen Abweichungen erfasst ($r = 0,96$).

Wir haben dieses Verfahren unseres Wissens erstmalig auf orthopädischem Gebiet zur Bestimmung des Hüftkopf- und Hüftpfannenvolumens eingesetzt.

1.3 Stadieneinteilung

Waldenström (1909) hat bereits damals den stadienhaften Verlauf der Krankheit erkannt. Auf ihn gehen die Begriffe Initialstadium, Kondensation, Fragmentation und Regeneration/Heilung zurück. Diese Einteilung lässt auch Übergangsstadien zu, so dass man der Variabilität der biologischen Prozesse im langen Krankheitsverlauf gerecht wird.

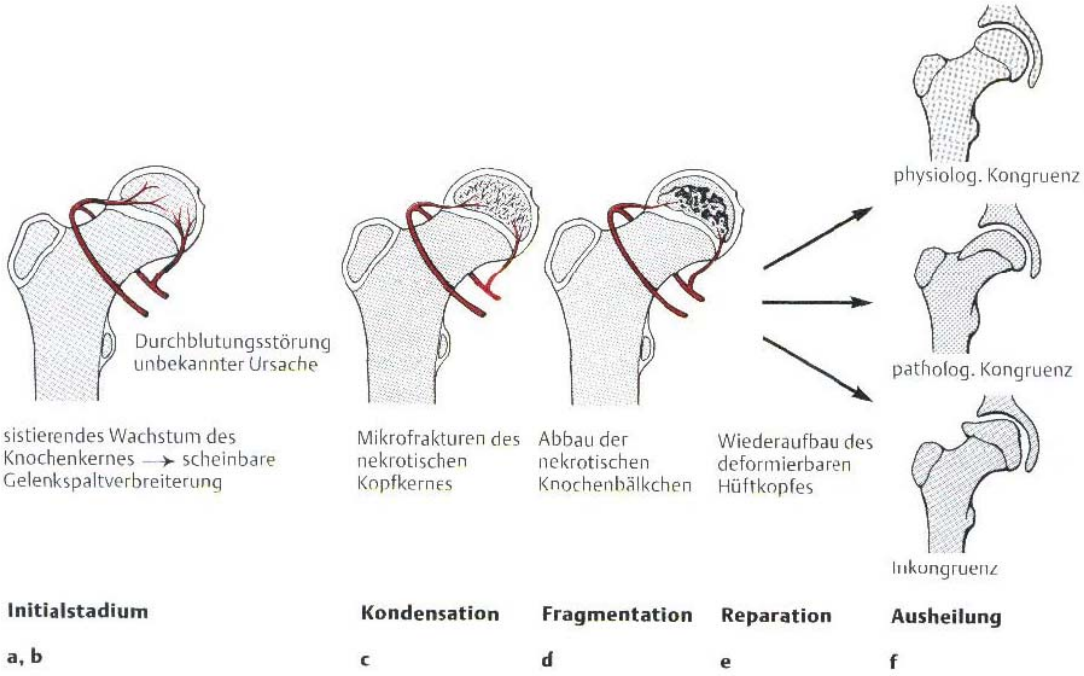


Abb. 1.3 Stadieneinteilung (Nach Waldenström, aus: Blome 2006)

Initialstadium

- Leichte Abplattung der Epiphyse, manchmal dachförmig (sog. „Roof-Sign“)
- Scheinbare Verbreiterung des Gelenkspaltes zwischen Hüftkopf und Köhlerscher-Tränenfigur

Kondensationsstadium

- Verdichtung (Sklerosierung) der Epiphyse durch appositionellen Knochenanbau und Verkalkung des Fettmarks. Weitere Abplattung.
- Verbreiterung des Schenkelhalses

Fragmentationsstadium

- Scholliger Zerfall der Epiphyse
- Deformierung des durch Zusammensinterung von epiphysären Knochenbälkchen und gestörter enchondraler Ossifikation erweichten Kopfes

Reparationsstadium

- Langsamer knöcherner Wiederaufbau der Epiphyse und Ausheilung

In Abhängigkeit vom Nekroseausmaß, der Compliance des Kindes bezüglich Entlastung und eventuellen Fugenstörungen kommt es zur charakteristischen Perthes-Deformität: *Coxa magna, plana, vara et brevis* mit Trochanterhochstand.

Im klinischen Alltag hat sich eine Klassifikation der Erkrankung nach dem Ausmaß der Nekrose bewährt, die auf Catterall (1971, 1982) zurückgeht. Basierend auf der Morphologie von Röntgenbildern in a.p. und Lauenstein hat er vier Gruppen beschrieben. Die höheren Gruppen sind mit einer deutlich schlechteren Prognose als die niedrigen vergesellschaftet.
Die Einteilung ist nicht unwidersprochen geblieben, weil die Zuordnung zu den einzelnen Gruppen nicht immer exakt und reproduzierbar möglich ist (Ritterbusch et al. 1993, Gigante et al. 2002). In der Praxis hat sie noch immer Bestand, weil sich die niedrigen Gruppen in aller Regel doch gut von den höheren trennen lassen, so dass eine Aussage zur Prognose möglich ist.
Die Einteilung wird im Folgenden schematisch wiedergegeben.

Abb. 1.4 Catterall - Gruppe 1

- Nur der ventrale Teil der Epiphyse ist von der Nekrose betroffen. Kein Zerfall der Epiphyse, keine Sequesterbildung.
- Keine Höhenminderung.
- Keine metaphysäre Beteiligung.

Abb. 1.5 Catterall – Gruppe 2

- Ausgedehnte Nekrose im ventralen Anteil der Epiphyse.
- Subchondrale Frakturen im ventralen Epiphysenanteil.
- Ausbildung eines zentralen Sequesters.
- Ventro-laterale Mitbeteiligung der Metaphyse im Sinne einer fugennahen Aufhellung.

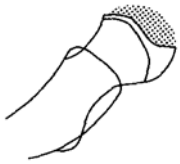


Abb. 1.6 Catterall – Gruppe 3

- Der dorsale Anteil der Epiphyse ist von der Nekrose mitbetroffen.
- Subchondrale Frakturlinie bis in die dorsale Hälfte (sog. „Caffey-Fracture“).
- Ausgeprägte Sequesterbildung.
- Zystische Veränderungen der fugennahen Metaphyse ventral.

Abb. 1.7 Catterall – Gruppe 4

- Die gesamte Epiphyse ist betroffen.
- Im Verlauf vollständiger Kollaps des Epiphysenkerns mit deutlicher Höhenminderung der Epiphyse.
- Ausgedehnte zystische Veränderungen der Metaphyse fugennah-zentral.

In der MRT sind die Nekrose und die Vorgänge des Ab-, Um- und Wiederaufbaus analog zu erkennen (Tschauner 1997), und zwar insbesondere in T1-Wichtung:

1.	Initialstadium	Signalminderung („Schwärzung“) in der Epiphyse
2.	Kondensationsstadium	Ausbreitung der T1-Signalminderung in der Epiphyse, ventral betont
3.	Fragmentationsstadium	Zunehmende Inhomogenität der epiphysären Signalminderung
4.	Reparationsstadium	Zunehmende Signalanhebung epiphysär (Wiederkehr des Fettmarksignals als Zeichen der knöchernen Regeneration)

1.4 Therapie

Bis zum heutigen Zeitpunkt ist die Wahl der geeigneten Therapie des M. Perthes Gegenstand vieler Diskussionen. Eine rationale, kausale Therapie gibt es bislang nicht. Hinsichtlich des Behandlungsziels allerdings herrscht weitgehende Übereinstimmung: das Ziel ist die größtmögliche Erhaltung der anatomischen Hüftkopfform und die Vermeidung von Inkongruenzen zwischen Kopf und Pfanne zur Wahrung der Gelenkfunktion. Die Deformität des Hüftkopfes kommt durch die Subluxation bzw. das Auswandern des Kopfes und das appositionelle Wachstum der Epiphyse zustande. Der vordere Pfannenrand übt während der Heilungsperiode Druck auf die plastisch verformbare Epiphyse aus und es entsteht eine Eindellung vor dem *Labrum acetabulare*. Der wachsende Knorpel weicht nach lateral vorne aus und ist dann nicht mehr von der Pfanne bedeckt. Dieser Vorgang muss durch eine Zentrierung des Kopfes in die Pfanne aufgehalten bzw. verhindert werden (Containment-Prinzip). Im Optimalfall wird der noch plastisch verformbare, wachsende Hüftkopf durch die primär gesunde Pfanne wieder gerundet, wobei er sie gleichzeitig aufdehnt. Auf diese Weise kann im Prinzip eine bereits verloren gegangene Gelenkkongruenz wieder hergestellt werden.

Die Therapie muss für jeden Einzelfall - abhängig vom Alter des Kindes, der Compliance, dem Krankheitsstadium und den Ergebnissen der bildgebenden Verfahren - individuell gestaltet werden.

1.4.1 Konservative Therapie

Bei der konservativen Therapie des M. Perthes ist es das Ziel, durch eine langfristige, konsequente Entlastung des Hüftgelenks ein Zusammensintern der Epiphyse zu vermeiden. Zum Einsatz kommen dabei Rollstuhl und Unterarmgehstützen. Gelegentlich ist eine Extensionsbehandlung unter stationären Bedingungen erforderlich. Zur Besserung der Zentrierung, also des Containments, haben sich Spreizkissen und Spreizgipse (zum Beispiel der Petrie-Gips) bewährt. Als weniger günstig und gelegentlich nachteilig haben sich teilentlastende und/oder spreizende Orthesen mit Vollbelastung, wie zum Beispiel der modifizierte Thomas-Splint und die Atlanta-Abduktions-Orthese erwiesen (Savvides und Löer 1992 , Meehan et al. 1992), die positiverweise die Mobilität

des Kindes erhalten, aber mit dem Risiko einer fortdauernden Traumatisierung des kranken Hüftgelenkes einhergehen.

1.4.2 Chirurgische Therapie

Schon sehr früh wurden zusätzlich operative Methoden angewandt, um die Behandlungsergebnisse zu verbessern (Caan 1924). Viele verschiedene Operationsverfahren sind beschrieben worden. Allgemeines Ziel ist eine tiefe Einstellung des Hüftkopfes in die Pfanne (wie bei der Hüftdysplasie), also die Verbesserung bzw. Wiederherstellung der Hüftkopfzentrierung. Aus dem Englischen hat sich hierfür der Begriff „Containment“ eingebürgert.
An dieser Stelle sollen lediglich die drei Operationsverfahren beschrieben werden, die bei den Kindern in dieser Studie durchgeführt wurden.

1.4.2.1 Intertrochantäre Varisierungsosteotomie (IVO)

Die bessere Zentrierung des Hüftkopfes in der Pfanne soll durch eine Varisierung des proximalen Femurs erreicht werden. In Abhängigkeit von einer bereits vorhandenen Deformierung des Kopfes durch Druck des Pfannenerkers oder durch eine Schädigung der Fuge kann eine gleichzeitige Flexion oder Extension bzw. Innenrotation sinnvoll sein. Bei der Entscheidung hilft eine prä- oder intraoperative dynamische Arthrographie und in Zukunft vielleicht auch ein präoperatives dynamisches MRT.
Der Nachteil besteht in einer Beinverkürzung einerseits sowie einer Deformierung des koxalen Femurendes andererseits, die eine eventuelle spätere endoprothetische Versorgung erschweren können.

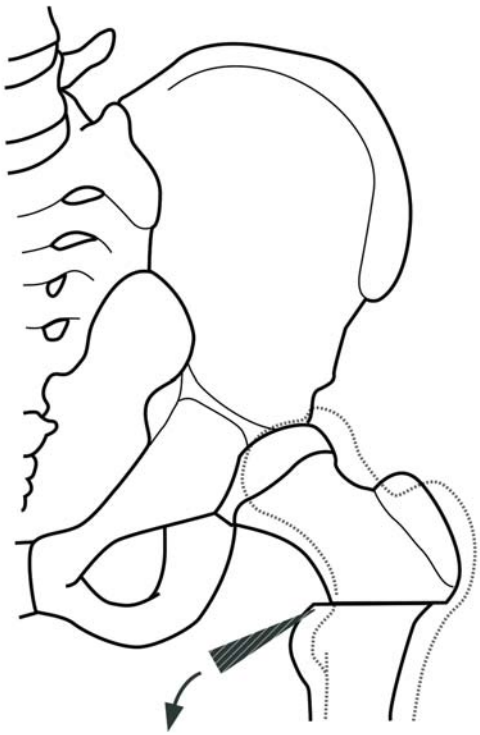


Abb. 1.8 Operatives Prinzip der zuklappenden IVO mit Keilentnahme (aus: Blome 2006)

1.4.2.2 Beckenosteotomie nach Salter

Wieder ist das Ziel eine bessere Zentrierung von Kopf und Pfanne, wobei an der Pfanne angesetzt wird. Das Darmbein wird oberhalb der Pfanne vollständig durchtrennt und das distale Beckenfragment nach lateral, ventral und distal geschwenkt. Die Position wird durch das Einbringen eines Keils aus Eigen- oder Fremdknochen bzw. Knochenersatzmaterial gesichert. In der Regel erfolgt eine ergänzende Stabilisierung mit Bohrdrähten.

Die Orientierung der Pfanne wird dabei so verändert, dass der Kopf bzw. seine (erweichte) Epiphyse lateral und ventral besser umfasst wird. Voraussetzung ist eine ausreichende Beweglichkeit des Hüftgelenkes sowie eine nur leichte Deformität des Hüftkopfes.

Der Eingriff hat einen beinverlängernden Effekt. Dieser erweist sich meist als günstig, weil durch die Erkrankung selbst in Folge Minderwachstum des proximalen Femur oder als Folge einer Fugenschädigung eine Beinverkürzung

entstehen kann. Außerdem würde die verkürzende Wirkung einer eventuell zusätzlichen intertrochantären, varisierenden Osteotomie kompensiert.
Der Nachteil der Salter-Osteotomie im Vergleich zur IVO liegt im höheren Schwierigkeitsgrad, dem bei Beckenosteotomien oft stärkeren Blutverlust und einer längeren postoperativen Liegedauer (meist 6 Wochen, eventuell im Becken-Bein-Gips).

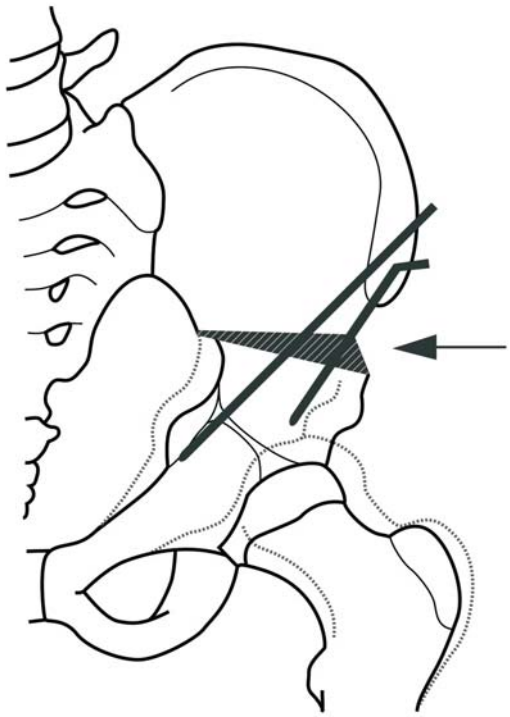


Abb. 1.9 Operatives Prinzip der Beckenosteotomie nach Salter (aus: Blome 2006)

1.4.2.3 Transversotomie

Die Durchtrennung des *Ligamentum transversum acetabulare* (TAL) wurde zur Behandlung eines drohenden Containmentverlustes konzipiert. Die Durchtrennung soll eine Aufweitung des unteren Pfannenanteils (Unterrand der *Facies semilunaris*) begünstigen mit dem Ziel einer besseren Gesamtzentrierung und Druckentlastung des Hüftkopfes mit seinen empfindlichen Wachstumszonen. Gute und zum Teil sehr gute Ergebnisse wurden nur bei gleichzeitiger konsequenter Schonung des Hüftgelenkes erzielt (Clarfeld 2003).

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Wir haben in dieser retrospektiven Arbeit 266 Hüften von insgesamt 117 Kindern untersucht. Diese waren im Zeitraum Oktober 1997 bis Juli 2005 in der Klinik und Poliklinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf (UKE) in Behandlung bzw. wurden zur MRT-Diagnostik in der radiologischen Abteilung des UKE sowie der Radiologischen Praxis Altona vorgestellt.

Die Hüften der Kinder wurden in 3 Gruppen unterteilt:

1. Hüften von Kindern, die lediglich zum Ausschluss von Frakturen (z. B. Beckenring- oder Schenkelhalsfrakturen bei Z. n. Trauma) oder Krankheiten (z. B. Marfan-Syndrom) kernspintomographisch untersucht wurden, bei denen aber kein hüftpathologischer Befund diagnostiziert werden konnte
2. Hüften mit gesichertem M. Perthes
3. Die nicht betroffenen, gegenseitigen Hüften der Kinder mit M. Perthes.

Diese wurden nach Alter in 6 Untergruppen unterteilt: 4-jährige, 5-jährige, 6-jährige, 7-jährige, 8-jährige und 9-jährige Kinder.

In die Studie aufgenommen wurden die jeweils ersten 12 rekrutierbaren hüftgesunden Kinder einer Altersgruppe beginnend in 2005, sowie alle im oben genannten Zeitraum an M. Perthes behandelten Kinder.

Alle Parameter wurden beiderseits bestimmt, um die kranken Kinder mit den hüftgesunden, bzw. die erkrankte Seite mit der nicht betroffenen Gegenseite der an M. Perthes erkrankten Kinder vergleichen zu können.

Insgesamt konnten die Hüften von 70 hüftgesunden Kindern ausgewertet und zur Ermittlung von Normwerten herangezogen werden. Hierbei bestand jede der 6 Altersgruppen aus 12 Kindern. 2 Jungen wurden im Abstand von 2 Jahren zweimalig untersucht (entsprechend 72 Auswertungen, bzw. 144 Hüften insgesamt).

Die genaue Aufteilung der hüftgesunden Kinder nach Alter und Geschlecht veranschaulicht die Tabelle 2.1:

Tab.2.1 Alter und Geschlechtsverteilung der hüftgesunden Kinder

Alter in Jahren	Durchschnittsalter in Monaten	Anzahl Jungen	Anzahl Mädchen	Gesamt
4	53 (48 - 59)	8	4	12
5	66 (61 - 71)	8	4	12
6	78 (73 - 83)	9	3	12
7	90 (84 - 95)	7	5	12
8	100 (96 - 107)	6	6	12
9	113 (108 - 119)	8	4	12
Gesamt		46	26	72

47 Kinder waren zum Zeitpunkt der MRT-Untersuchung an M. Perthes erkrankt und konnten in die Studie miteinbezogen werden. Die Diagnose wurde zuvor anhand der klinischen Untersuchung sowie im Röntgenbild und in den zum späteren Zeitpunkt von uns ausgewerteten MRT-Aufnahmen diagnostiziert und bestätigt. 14 der 47 Kinder wurden zweimalig untersucht (entsprechend 61 Auswertungen, bzw. 122 Hüften insgesamt).

Bei 28 Kindern war zum Zeitpunkt der Studie bereits eine Operation durchgeführt worden: bei 21 eine isolierte Beckenosteotomie nach Salter (bzw. in der Modifikation nach Westin oder Pemberton), bei einem Kind eine Intertrochantäre Varisierungsosteotomie (IVO), bei 5 Kindern ein kombinierter Eingriff aus beiden (OP nach Salter und IVO).

Des Weiteren wurde bei einem Mädchen eine Transversotomie (Durchtrennung des *Ligamentum transversum acetabulare*) durchgeführt.

Die genaue Aufteilung der erkrankten Kinder veranschaulichen die folgenden Tabellen 2.2 – 2.4.

Tab. 2.2 Kollektiv der an M. Perthes erkrankten Kinder

	Perthes einseitig	Perthes beidseits	Gesamt	wiederholt gemessen	OP
Anzahl Jungen	33	5	38	12	24
Anzahl Mädchen	9	0	9	2	4
Gesamt	42	5	47	14	28

Tab. 2.3 Alter und Geschlechtsverteilung der an M. Perthes erkrankten Kinder

Alter in Jahren	Durchschnittsalter in Monaten	Anzahl Jungen	Anzahl Mädchen	Gesamt
4	57 (54 - 59)	6	0	6
5	67 (63 - 71)	9	3	12
6	79 (74 - 83)	10	3	13
7	89 (85 - 92)	9	2	11
8	100 (96 - 105)	11	3	14
9	110 (108 – 113)	5	0	5
Gesamt		50	11	61

Tab. 2.4 Darstellung der betroffenen Hüften je Kind (M. Perthes einseitig oder beidseits)

Alter in Jahren	Perthes einseitig	Perthes beidseits
4	5	1
5	10	2
6	12	1
7	11	0
8	13	1
9	5	0
Gesamt	56	5

2.2 Untersuchungsverfahren

Alle Kinder wurden an einem 1,5 Tesla Kernspintomographen Modell Symphony, Firma Siemens, Erlangen untersucht.
Die Bestimmung der Parameter erfolgte in Sequenzen in T1-Wichtung (TR 400 - 600 ms, TE 14 - 20 ms). Die Schichtdicke betrug jeweils 3 mm.

2.3 Parameter

Alle Werte wurden aus MRT-Sequenzen der koronaren Ebene ermittelt.
Bei allen Parametern wurden die knorpeligen Anteile des Hüftkopfes als relevante, anatomische Strukturen mitberücksichtigt.

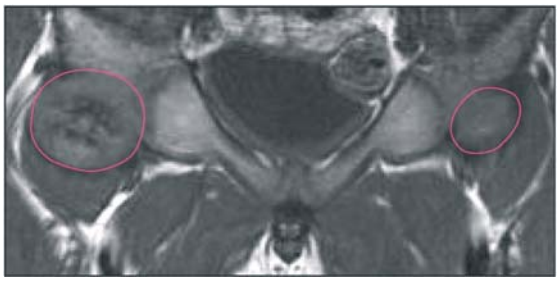
2.3.1 Kopfvolumen

Das Volumen des Hüftkopfes wurde einschließlich seiner knorpeligen Hülle gemessen. Dazu wurde der Kopf in allen Schichten in seiner gesamten Ausdehnung konturiert und sodann mittels eines Standardprogramms die Fläche bestimmt.

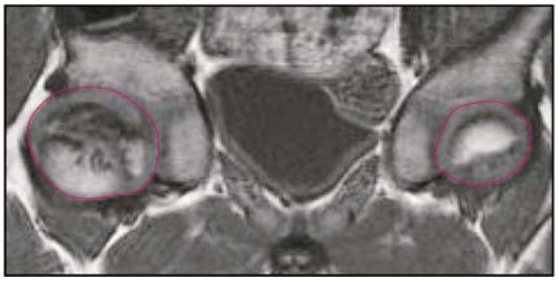
Am Übergang Hüftkopf-Schenkelhals wurde der Kreis an der schmalsten Stelle bogenförmig geschlossen. Auf diese Weise wurde der Kopf zu einem sphärischen Körper ergänzt. Diese Volumenbestimmung erwies sich als gut reproduzierbar.

Verdeutlicht werden soll dies mit den folgenden Abbildungen:

Schicht 1

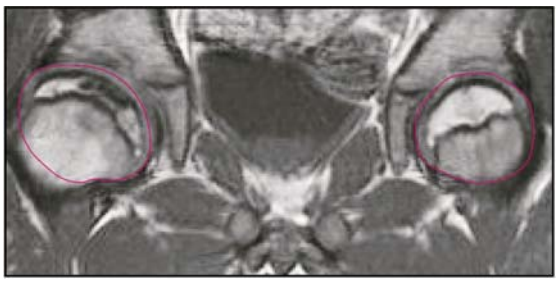


Schicht 2

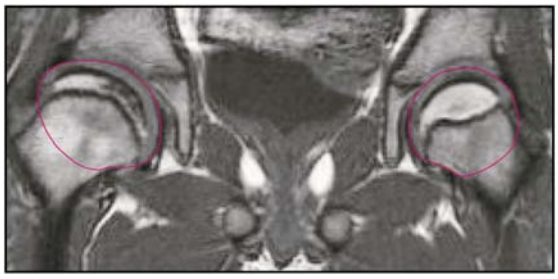


Schicht 3

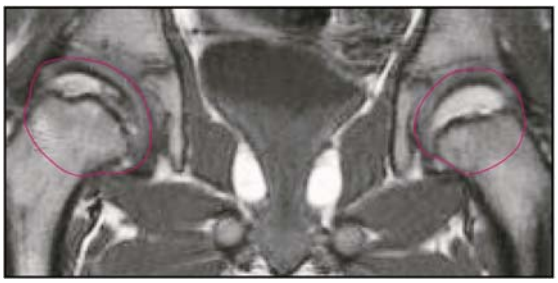
Schicht 4



Schicht 5

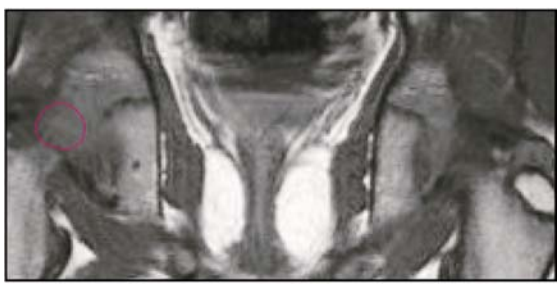


Schicht 6



Schicht 7

Schicht 8



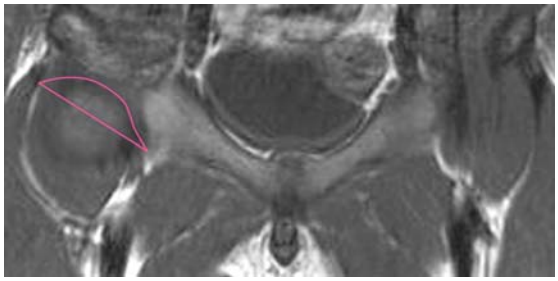
Schicht 9

Mit Hilfe eines speziellen Softwareprogramms zur Volumenberechnung wurde dann anhand der Kreisflächen, der Schichtdicke sowie des Schichtabstandes das Kopfvolumen in ccm ermittelt.

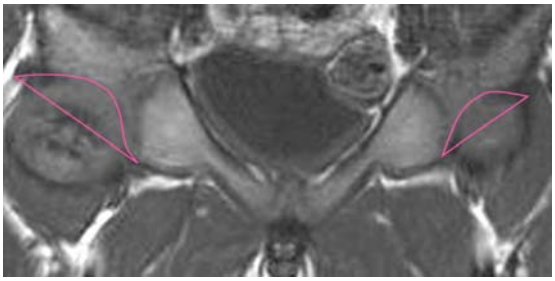
2.3.2 Pfannenvolumen

Zur Ermittlung des Pfannenvolumens wurde mit Hilfe des Cursors eine Linie entlang der Innenseite der Hüftgelenkspfanne an der Kopfcircumferenz gezogen. Diese reichte von der distalen Spitze der vom Röntgenbild her als „Köhlersche Tränenfigur“ bekannten Summationsfigur des Pfannengrundes bis zur Spitze des *Labrum acetabulare*. Die beiden Enden wurden dann durch eine Gerade miteinander verbunden. Dieses Vorgehen wurde auf allen Schichten, auf denen die Hüftpfanne abgebildet war, wiederholt. Durchschnittlich konnten 10 Schichten pro Pfanne in die Volumenberechnung einbezogen werden.

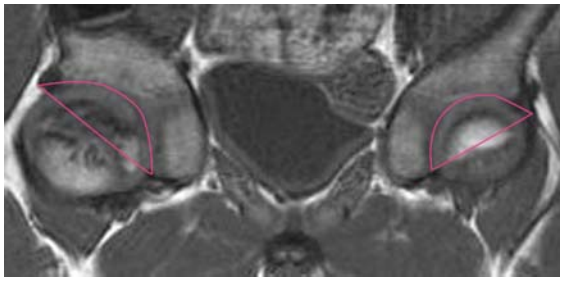
Es mag bereits hier ergänzt werden, dass das auf diese Weise ermittelte Pfannenvolumen nicht exakt dem Pfanneninhalt bis zur Spitze der Gelenklippe (bzw. bis zur Spitze des *Labrum-Ligamentum transversum*-Rings) entspricht.
Das *Ligamentum transversum* wird nur auf den mittleren Pfannenschichten gut abgebildet, weil es dort quer getroffen wird. Für eine reproduzierbare Messung musste eine andere, gut identifizierbare Landmarke der Pfanne gewählt werden. Dazu bot sich das distale Ende des Pfannengrundes, also der knöcherne, mediale Pfannenunterrand – analog dem unteren Ende der „Köhlerschen Tränenfigur“ im Röntgenbild – an.
Die genaue Korrelation zwischen wahrem (d. h. vom Kopf eingenommenen) Pfannenvolumen und dem mit der gewählten Messmethode bestimmten Pfannenvolumen müsste zu einem späteren Zeitpunkt z. B. an einem Tierpräparat ermittelt werden.



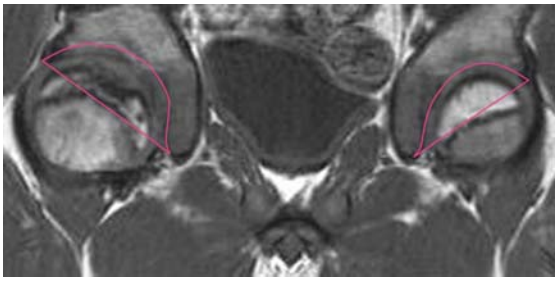
Schicht 1



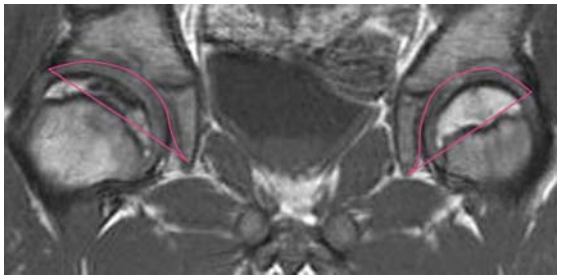
Schicht 2



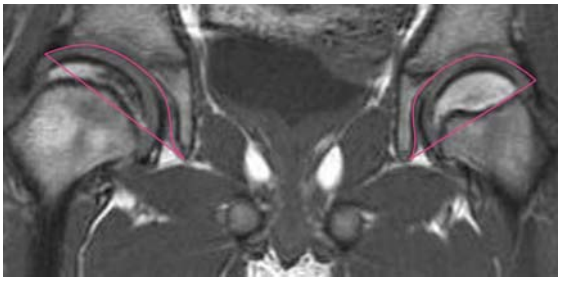
Schicht 3



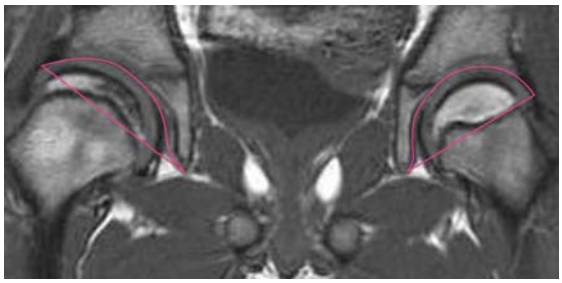
Schicht 4



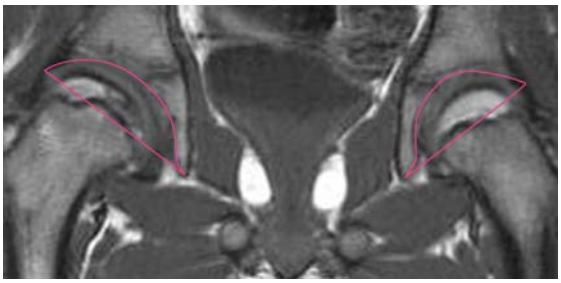
Schicht 5



Schicht 6

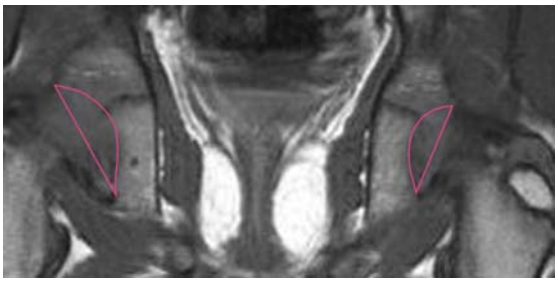


Schicht 7



Schicht 8

Schicht 9



Schicht 10

Ebenfalls wurde anhand der Flächeninhalte der Halbkreise, der Schichtdicke sowie des Schichtabstandes das Pfannenvolumen in ccm ermittelt.

2.3.3 Maximaler Querer Durchmesser (MQD)

Zur Ermittlung des MQD wurden zunächst zwei zur Körpersenkrechten parallele Tangenten medial (a) bzw. lateral (b) an den Hüftkopfknorpel gelegt. Der Abstand zwischen diesen beiden Tangenten entspricht dem Maximalen Queren Durchmesser (ab).

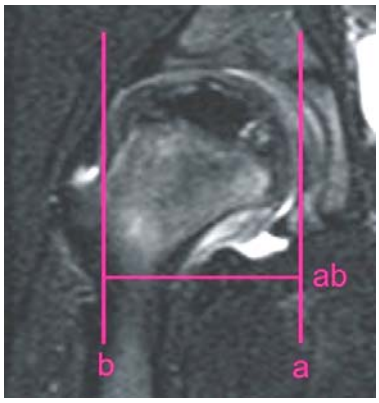


Abb. 2.1: Maximaler Querer Durchmesser (MQD)

2.3.4 Maximaler Schräger Durchmesser (MSD)

Der MSD bezeichnet den größtmöglichen Durchmesser des Femurkopfes einschließlich seiner knorpeligen Hülle.

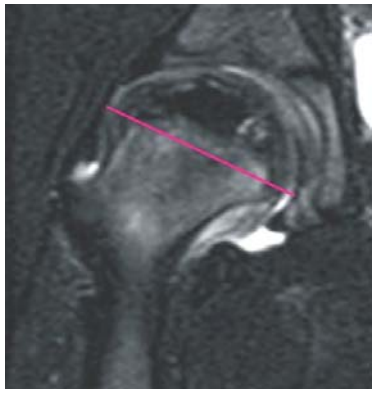


Abb. 2.2: Maximaler Schräger Durchmesser (MSD)

2.3.5 Knorpeliges Containment

Wie bereits erwähnt, bezeichnet man die Zentrierung des Hüftkopfes in der Pfanne, bzw. die Umfassung des Hüftkopfes durch die Pfanne, als Containment. Wünschenswert ist eine gute Zentrierung/Umfassung. Wandert der Hüftkopf aus oder luxiert gar, geht das Containment verloren.
Ein gutes Maß für das Containment ist das Ausmaß der Überdachung des Hüftkopfes durch die Pfanne. Rechnerisch lässt sich das Containment mit dem „Acetabulum-Head-Index“ (AHI) von Heyman und Herndon (1950) erfassen. Er beschreibt das Verhältnis von überdachtem Anteil des Femurkopfes zur größten queren Breite in Prozent (auf der Röntgenbeckenübersichtsaufnahme bestimmt). Meiss (2001) hat analog für die Kernspintomographie den „Knorpeligen Acetabulum-Kopf-Index“ (kAKI) beschrieben.

Zur Ermittlung dieses Index wurde zunächst eine Senkrechte (C) ausgehend vom knorpeligen Pfannenerker (in Analogie zur röntgenologischen Ombredanne-Linie) gezogen. Diese bildet die Grenze zwischen überdachtem und nicht überdachtem Kopfanteil.
Parallel dazu wurden die Tangenten wie zur Messung des MQD (A und B) eingezeichnet. Die beiden Strecken, jeweils ausgehend von der medialen Begrenzung des Kopfes zur Ombredanne-Linie (a) bzw. zur lateralen Begrenzung des Kopfes (b) führend, wurden gemessen und dividiert.

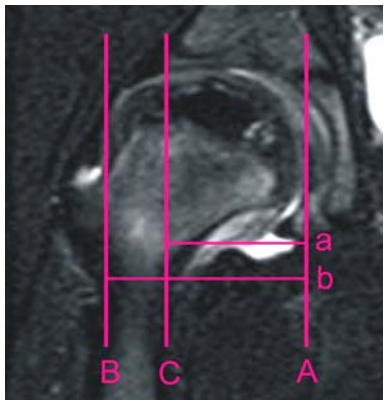


Abb. 2.3: Knorpeliger Acetabulum-Kopf-Index (knorpeliges Containment)

Die Formel zur Berechnung des knorpeligen („wahren“) Containments (kAKI) lautet:

Knorpeliges Containment [%] =

überdachter Kopfanteil (a) / ganze Epiphysenbreite (b) x 100

3 Ergebnisse

3.1 Hüftparameter von hüftgesunden Kindern im Seitenvergleich

Bei den von uns durchgeführten Messungen wurden alle Parameter beiderseits erhoben, um nicht nur bei den Kindern mit M. Perthes, sondern auch bei gesunden Kindern einen Seitenvergleich durchführen zu können.

Im Falle der hüftgesunden Kinder verglichen wir mit Hilfe des t-Tests die Mittelwerte beider Seiten, um sicher zu stellen, dass es keinen signifikanten Seitenunterschied gab. Letzteres war in der Tat der Fall, so dass wir sie folglich zusammen betrachten können. Dadurch summierte sich die Anzahl der gemessenen Hüften gesunder Kinder auf 24 pro Altersgruppe bzw. auf 144 gesunde Hüften insgesamt.

Veranschaulicht werden soll dies mit Hilfe der Tabellen 3.1 – 3.5.

Tab. 3.1 Ergebnisse des t-Tests des Hüftkopfvolumens in ccm bei unabhängigen Stichproben für n=12 Kinder pro Hüftseite

	Hüftgesunde Kinder				Ergebnisse des t-Tests		
Hüftkopf	Mw rechts	SD rechts	Mw links	SD links	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	18,20	3,21	17,51	2,91	0,546	22,00	0,590
5 Jahre	20,97	3,86	20,52	4,50	0,258	22,00	0,799
6 Jahre	27,74	4,81	28,48	5,25	-0,360	21,83	0,722
7 Jahre	26,52	3,74	25,95	4,68	0,327	22,00	0,747
8 Jahre	32,24	4,75	31,91	5,34	0,161	22,00	0,873
9 Jahre	34,76	6,29	33,53	6,52	0,470	22,00	0,643

Tab. 3.2 Ergebnisse des t-Tests des Hüftpfannenvolumens in ccm bei unabhängigen Stichproben für n=12 Kinder pro Hüftseite

	Hüftgesunde Kinder				Ergebnisse des t-Tests		
Hüftpfanne	Mw rechts	SD rechts	Mw links	SD links	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	7,64	1,83	7,65	1,60	-0,019	21,60	0,985
5 Jahre	8,22	1,33	8,75	1,13	-1,056	21,43	0,303
6 Jahre	12,65	2,77	13,45	3,43	-0,622	21,07	0,541
7 Jahre	11,33	2,77	10,82	2,25	0,498	22,00	0,623
8 Jahre	13,77	1,88	13,49	2,01	0,351	22,00	0,729
9 Jahre	15,99	2,84	15,33	2,85	0,563	22,00	0,579

Tab. 3.3 Ergebnisse des t-Tests des Maximalen Queren Durchmessers (MQD) in cm bei unabhängigen Stichproben für n=12 Kinder pro Hüftseite

	Hüftgesunde Kinder				Ergebnisse des t-Tests		
MQD	Mw rechts	SD rechts	Mw links	SD links	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	3,07	0,23	2,97	0,22	1,103	22,00	0,282
5 Jahre	3,24	0,21	3,23	0,27	0,069	22,00	0,946
6 Jahre	3,62	0,27	3,64	0,28	-0,149	21,92	0,883
7 Jahre	3,43	0,31	3,47	0,28	-0,322	21,79	0,751
8 Jahre	3,87	0,31	3,84	0,28	0,246	22,00	0,808
9 Jahre	3,77	0,32	3,75	0,30	0,165	22,00	0,871

Tab. 3.4 Ergebnisse des t-Tests des Maximalen Schrägen Durchmessers (MSD) in cm bei unabhängigen Stichproben für n=12 Kinder pro Hüftseite

	Hüftgesunde Kinder				Ergebnisse des t-Tests		
MSD	Mw rechts	SD rechts	Mw links	SD links	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	3,35	0,24	3,24	0,18	1,176	22,00	0,252
5 Jahre	3,44	0,21	3,43	0,23	0,165	22,00	0,870
6 Jahre	3,78	0,19	3,79	0,24	-0,150	21,15	0,882
7 Jahre	3,71	0,28	3,73	0,26	-0,184	21,91	0,856
8 Jahre	4,06	0,21	3,94	0,19	1,485	22,00	0,152
9 Jahre	4,11	0,19	3,98	0,24	0,151	22,00	0,146

Tab. 3.5 Ergebnisse des t-Tests des knorpeligen Containments in % bei unabhängigen Stichproben für n=12 Kinder pro Hüftseite

knorpeliges Containment	Hüftgesunde Kinder				Ergebnisse des t-Tests		
	Mw rechts	SD rechts	Mw links	SD links	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	90,26	9,30	92,23	4,93	-0,647	16,73	0,526
5 Jahre	89,84	7,93	93,00	5,01	-1,170	18,58	0,257
6 Jahre	92,99	5,92	91,41	4,92	0,713	22,00	0,484
7 Jahre	91,98	6,54	93,31	3,62	-0,616	17,15	0,546
8 Jahre	88,09	8,21	90,06	4,68	-0,720	17,47	0,481
9 Jahre	90,67	6,74	91,53	5,53	-0,345	21,20	0,734

Es kann festgehalten werden, dass sich die Hüftgelenke gesunder Kinder im Rechts-Links-Vergleich bezüglich Hüftkopfvolumen, Pfannenvolumen, Maximalem Queren und Maximalem Schrägen Durchmesser sowie dem knorpeligen Containment nicht signifikant unterscheiden.

3.2 Hüftkopf- und Pfannenvolumen bei hüftgesunden Kindern

Die folgenden Tabellen 3.6 und 3.7 sowie die dazugehörigen grafischen Abbildungen 3.1 und 3.2 stellen die errechneten Mittelwerte des Hüftkopf- und Pfannenvolumens in Abhängigkeit vom Alter der hüftgesunden Kinder dar. Zusätzlich abgebildet ist das dazugehörige 95%-Konfidenzintervall (CI 95% -, CI 95%+), die Standardabweichung (SD), sowie das minimale und maximale Messergebnis (Minimum, Maximum) in jeder Altersgruppe für n=24 Hüften.

Tab. 3.6 Hüftkopfvolumen hüftgesunder Kinder in ccm

Kopf	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
n Hüften	24	24	24	24	24	24
CI 95% -	16,58	19,01	26,02	24,48	29,99	31,49
Minimum	13,02	11,11	19,72	19,84	23,71	23,72
Mittelwert	17,85	20,74	28,11	26,23	32,08	34,15
SD	3,02	4,12	4,93	4,15	4,94	6,29
Maximum	22,83	29,50	37,68	33,34	41,80	44,93
CI 95% +	19,13	22,48	30,19	27,99	34,17	36,80

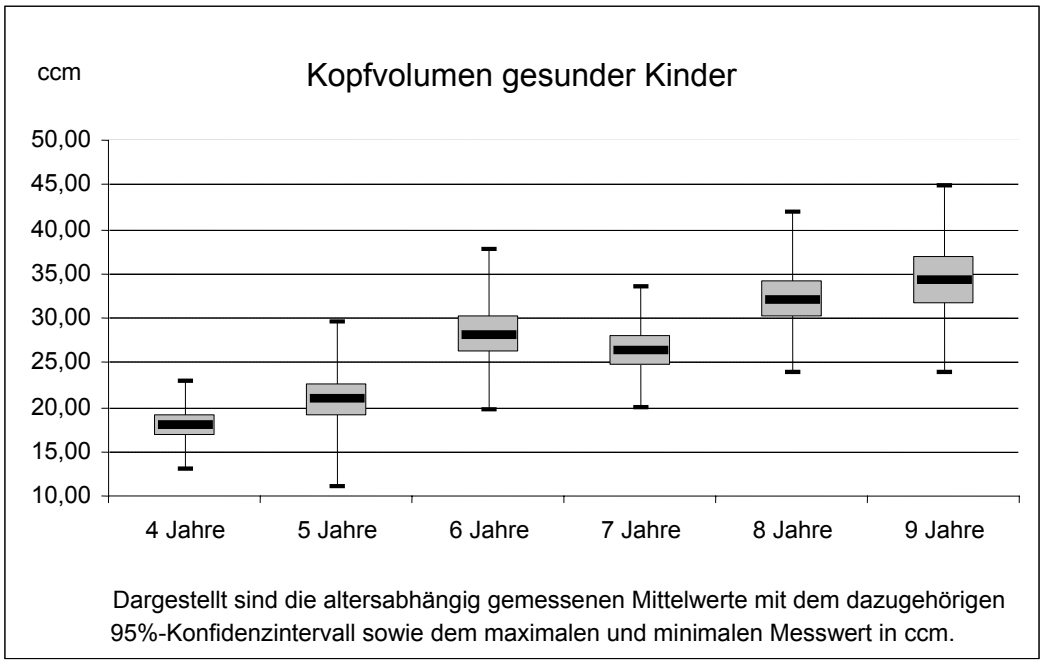


Abb. 3.1: Grafische Darstellung des Hüftkopfvolumens hüftgesunder Kinder

Tab. 3.7 Hüftpfannenvolumen hüftgesunder Kinder in ccm

Pfanne	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
n Hüften	24	24	24	24	24	24
CI 95% -	6,93	7,96	11,75	10,03	12,82	14,48
Minimum	5,10	5,93	9,16	7,58	10,24	10,93
Mittelwert	7,64	8,49	13,05	11,07	13,63	15,66
SD	1,68	1,24	3,08	2,48	1,91	2,80
Maximum	11,33	10,44	22,16	16,27	17,67	22,01
CI 95% +	8,35	9,01	14,35	12,12	14,43	16,84

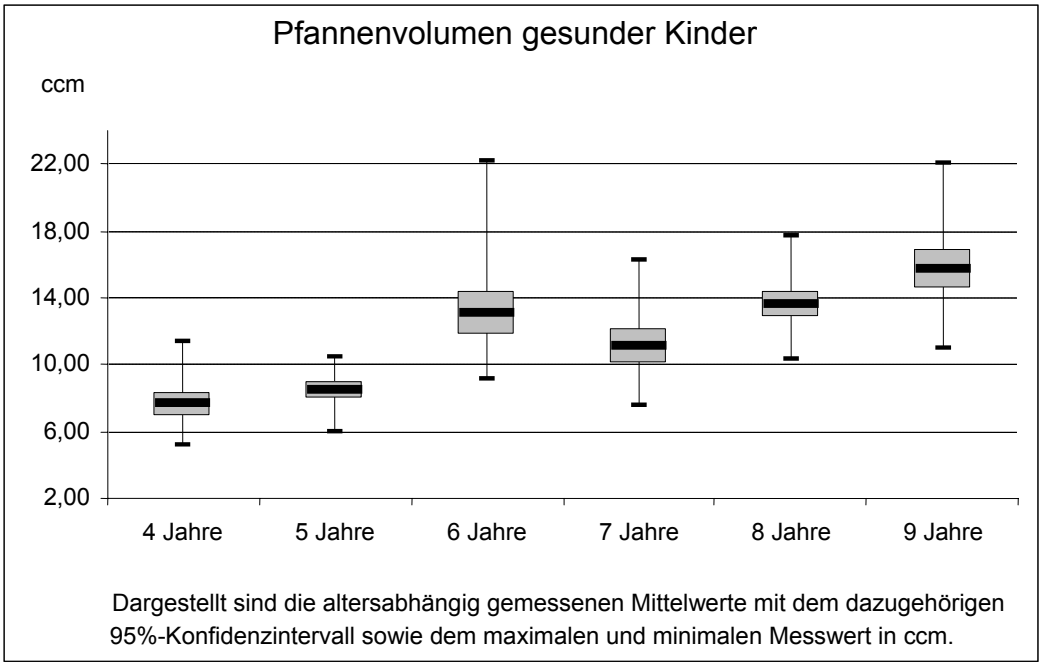


Abb. 3.2: Grafische Darstellung des Hüftpfannenvolumens hüftgesunder Kinder

Die Messergebnisse beider Parameter zeigen einen fast linearen Anstieg in Abhängigkeit des Alters der Kinder. Einzig die Gruppe der 6-jährigen verzerrt die gleichmäßig ansteigende Wachstumsgerade durch die weit über dem Durchschnitt bzw. dem 95%-Konfidenzintervall liegenden und alle Parameter betreffenden Werte eines einzelnen Jungen (entsprechend 2 von 24 Hüften in dieser Altersgruppe). Durch ihn ergibt sich der jeweils überdurchschnittlich große Varianzbereich. Darauf soll im Diskussionsteil weiter eingegangen werden.

3.3 Maximaler Querer und Maximaler Schräger Durchmesser sowie knorpeliges Containment bei hüftgesunden Kindern

Im Folgenden (Tabellen 3.8 – 3.10, Abbildungen 3.3 – 3.5) abgebildet sind die ermittelten Durchschnittswerte für den Maximalen Queren und Maximalen Schrägen Durchmesser (MQD und MSD) der Hüftköpfe sowie das knorpelige Containment der Hüftgelenke der hüftgesunden Kinder. Ebenfalls dargestellt ist das dazugehörige Konfidenzintervall, die Standardabweichung (SD) sowie das minimale und maximale Messergebnis innerhalb der einzelnen Altersgruppen.

Tab. 3.8 Maximaler Querer Durchmesser (MQD) hüftgesunder Kinder in cm

MQD	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
n Hüften	24	24	24	24	24	24
CI 95% -	2,92	3,13	3,52	3,33	3,73	3,63
Minimum	2,67	2,70	3,23	2,83	3,25	3,13
Mittelwert	3,02	3,23	3,63	3,45	3,85	3,76
SD	0,23	0,23	0,27	0,29	0,29	0,30
Maximum	3,35	3,87	4,07	4,01	4,43	4,38
CI 95% +	3,11	3,33	3,74	3,57	3,97	3,89

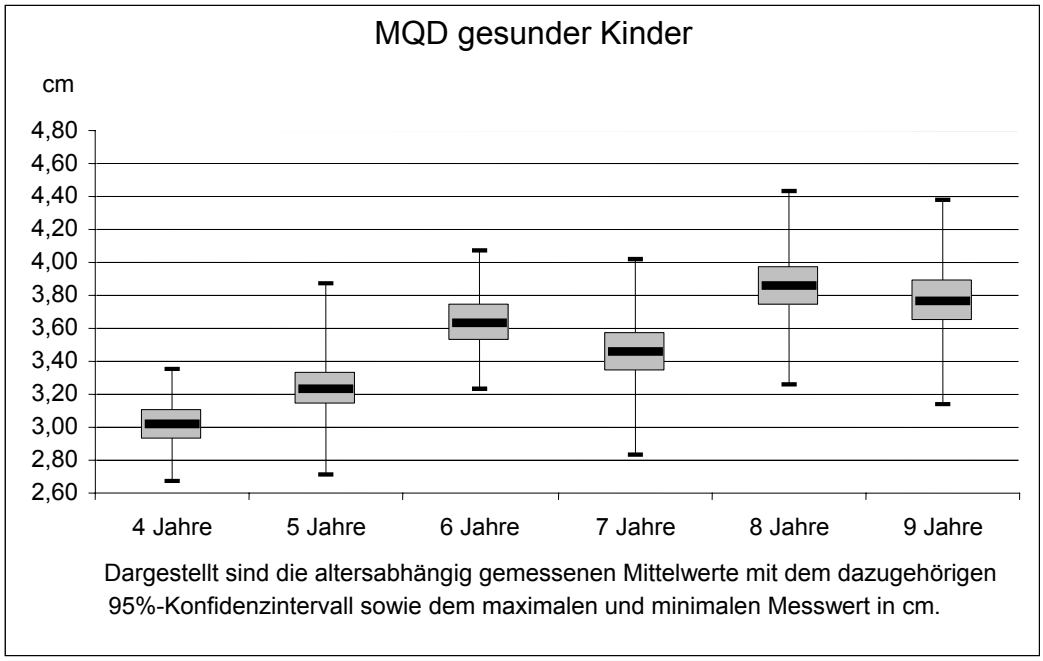


Abb. 3.3: Grafische Darstellung des Maximalen Queren Durchmessers (MQD) hüftgesunder Kinder

Tab. 3.9 Maximaler Schräger Durchmesser (MSD) hüftgesunder Kinder in cm

MSD	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
n Hüften	24	24	24	24	24	24
CI 95% -	3,20	3,34	3,69	3,61	3,91	3,95
Minimum	3,00	3,04	3,46	3,19	3,49	3,67
Mittelwert	3,29	3,43	3,78	3,72	4,00	4,04
SD	0,21	0,21	0,21	0,26	0,20	0,22
Maximum	3,77	3,92	4,15	4,37	4,34	4,52
CI 95% +	3,38	3,53	3,87	3,83	4,08	4,14

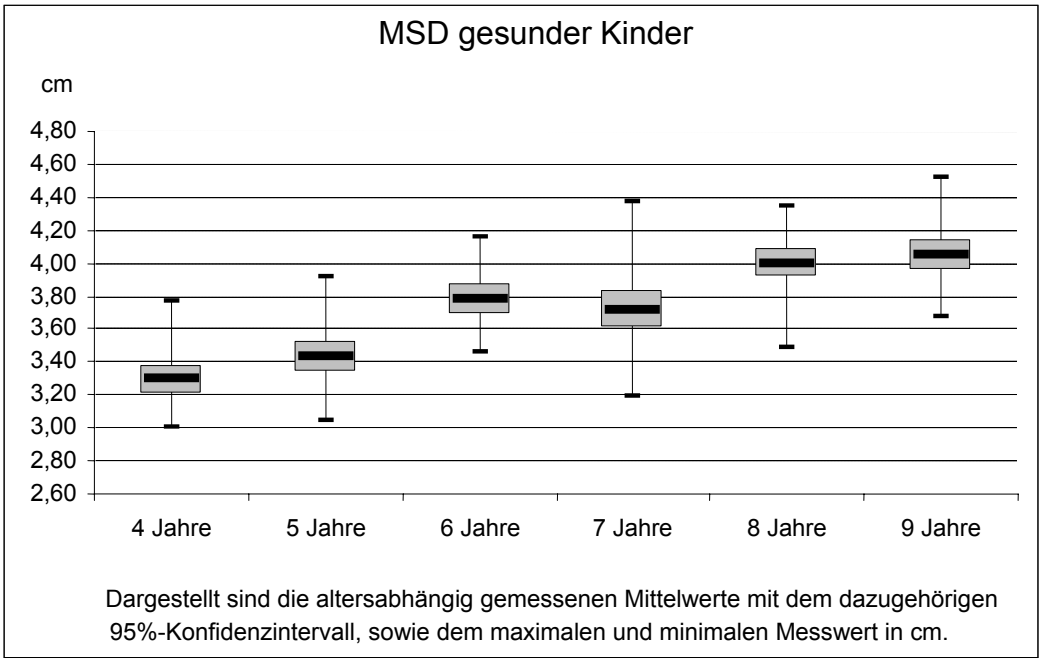


Abb. 3.4: Grafische Darstellung des Maximalen Schrägen Durchmessers (MSD) hüftgesunder Kinder

Gleichfalls stellt sich ein näherungsweise stetiges Anwachsen des MQD sowie des MSD der Hüftköpfe in Abhängigkeit des Alters der Kinder dar – mit erneuter Ausnahme durch die Werte des Jungen in der Gruppe der 6-jährigen.

Tab. 3.10 Knorpeliges Containment hüftgesunder Kinder in Prozent

Containment	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
n Hüften	24	24	24	24	24	24
CI 95% -	88,14	88,60	89,93	90,44	86,28	88,55
Minimum	70,82	76,29	80,70	80,97	74,55	77,55
Mittelwert	91,24	91,42	92,20	92,64	89,08	91,10
SD	7,35	6,69	5,38	5,21	6,61	6,05
Maximum	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
CI 95% +	94,35	94,24	94,47	94,84	91,87	93,65

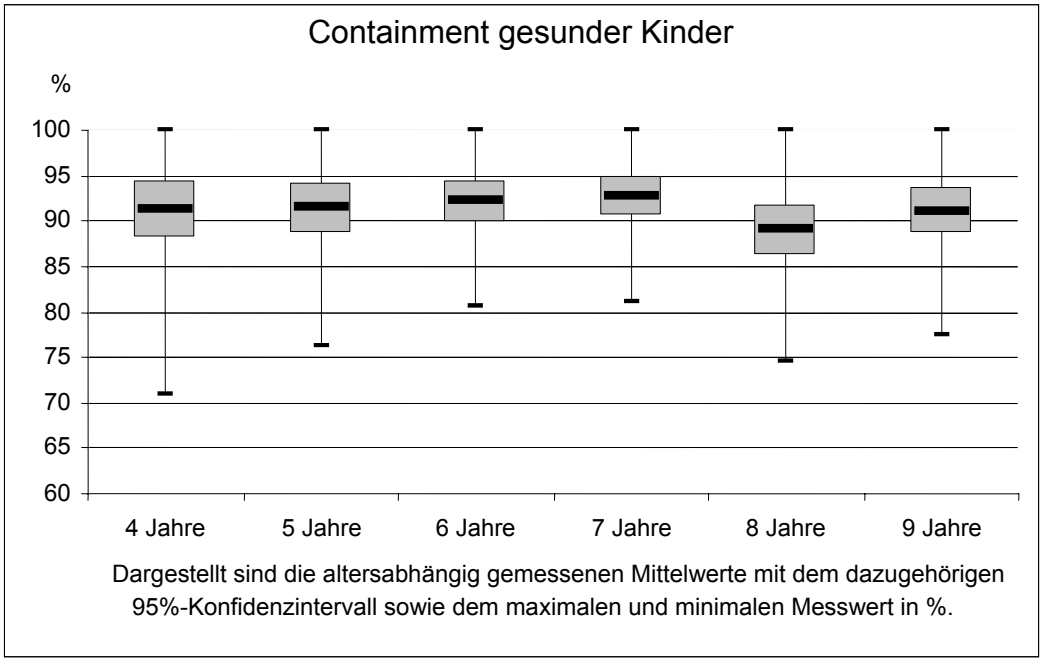


Abb. 3.5: Grafische Darstellung des knorpeligen Containments hüftgesunder Kinder

Betrachtet man das knorpelige Containment der hüftgesunden Kinder, so zeigt sich, dass die Hüftköpfe hier im Gegensatz zu Röntgenbefunden weit überdacht sind. Die Streubreite reicht von 70,82% bis hin zu 100% Überdachung – unabhängig vom Alter der Kinder. Da wir im Falle des knorpeligen Containments Prozentwerte anstelle von Absolutwerten betrachten, bewegen sich sowohl die Mittelwerte als auch das dazugehörige Konfidenzintervall altersunabhängig im ähnlichen Größenbereich.

3.4 Altersbezogene Unterschiede bei hüftgesunden Kindern

Auf den ersten Blick zeigt sich altersabhängig ein fast linearer Wachstumsanstieg aller gemessenen Parameter. In der statistischen Auswertung ergeben sich jedoch, abhängig von den verglichenen Altersgruppen sowie den betrachteten Parametern, sowohl signifikante als auch nicht signifikante Unterschiede zwischen den gemessenen Mittelwerten. Die signifikanten Unterschiede für $p<0,05$ wurden mit einem * gekennzeichnet.

Es zeigt sich immer wieder, dass insbesondere die Altersvergleiche mit der Gruppe der hüftgesunden 6-jährigen keine signifikanten Unterschiede aufweisen (siehe Diskussionsteil).

Tab. 3.11 Ergebnisse des t-Tests für das Hüftkopfvolumen im Mehrfachvergleich (Scheffe´- Prozedur) für n=24 Hüften pro Altersgruppe

abhängige Variable	Altersgruppe I	Altersgruppe II	mittlere Differenz	Signifikanz
Hüftkopf	4	5	-2,890	0,474
		6	-10,254	0,000*
		7	-8,378	0,000*
		8	-14,223	0,000*
		9	-16,291	0,000*
	5	6	-7,363	0,000*
		7	-5,488	0,008*
		8	-11,332	0,000*
		9	-13,401	0,000*
	6	7	1,876	0,859
		8	-3,969	0,133
		9	-6,038	0,002*
	7	8	-5,845	0,003*
		9	-7,913	0,000*
	8	9	-2,069	0,800

Tab. 3.12 Ergebnisse des t-Tests für das Hüftpfannenvolumen im Mehrfachvergleich (Scheffe´- Prozedur) für n=24 Hüften pro Altersgruppe

abhängige Variable	Altersgruppe I	Altersgruppe II	mittlere Differenz	Signifikanz
Hüftpfanne	4	5	-0,841	0,898
		6	-5,405	0,000*
		7	-3,430	0,000*
		8	-5,981	0,000*
		9	-8,017	0,000*
	5	6	-4,564	0,000*
		7	-2,589	0,012*
		8	-5,140	0,000*
		9	-7,176	0,000*
	6	7	1,975	0,120
		8	-0,577	0,979
		9	-2,612	0,011*
	7	8	-2,551	0,014*
		9	-4,587	0,000*
	8	9	-2,035	0,099

Tab. 3.13 Ergebnisse des t-Tests für den Maximalen Queren Durchmesser (MQD) im Mehrfachvergleich (Scheffe´- Prozedur) für n=24 Hüften pro Altersgruppe

abhängige Variable	Altersgruppe I	Altersgruppe II	mittlere Differenz	Signifikanz
MQD	4	5	-0,215	0,187
		6	-0,613	0,000*
		7	-0,436	0,000*
		8	-0,833	0,000*
		9	-0,745	0,000*
	5	6	-0,398	0,000*
		7	-0,221	0,163
		8	-0,618	0,000*
		9	-0,530	0,000*
	6	7	0,177	0,404
		8	-0,221	0,163
		9	-0,133	0,714
	7	8	-0,398	0,000*
		9	-0,310	0,010*
	8	9	0,088	0,937

Tab. 3.14 Ergebnisse des t-Tests für den Maximalen Schrägen Durchmesser (MSD) im Mehrfachvergleich (Scheffe´- Prozedur) für n=24 Hüften pro Altersgruppe

abhängige Variable	Altersgruppe I	Altersgruppe II	mittlere Differenz	Signifikanz
MSD	4	5	-0,139	0,459
		6	-0,488	0,000*
		7	-0,423	0,000*
		8	-0,704	0,000*
		9	-0,750	0,000*
	5	6	-0,348	0,000*
		7	-0,284	0,000*
		8	-0,565	0,000*
		9	-0,611	0,000*
	6	7	0,064	0,926
		8	-0,216	0,052
		9	-0,263	0,007*
	7	8	-0,280	0,003*
		9	-0,327	0,000*
	8	9	-0,046	0,991

Tab. 3.15 Ergebnisse des t-Tests für das knorpelige Containment im Mehrfachvergleich (Scheffe´- Prozedur) für n=24 Hüften pro Altersgruppe

abhängige Variable	Altersgruppe I	Altersgruppe II	mittlere Differenz	Signifikanz
knorpeliges Containment	4	5	-0,176	1,000
		6	-0,959	0,998
		7	-1,398	0,988
		8	2,168	0,919
		9	0,143	1,000
	5	6	-0,783	0,999
		7	-0,122	0,993
		8	2,343	0,890
		9	0,319	1,000
	6	7	-0,440	1,000
		8	3,126	0,701
		9	1,102	0,996
	7	8	3,566	0,567
		9	1,541	0,981
	8	9	-2,025	0,939

Aus den Tabellen 3.11 – 3.15 geht hervor, dass keine signifikanten Ergebnisse im Vergleich der Altersgruppen der 4-jährigen mit den 5-jährigen, sowie der 6-jährigen mit den 7- und 8-jährigen, im Falle des Maximalen Queren Durchmessers auch der 6- mit den 9-jährigen, sowie der 8- mit den 9-jährigen Kindern bestehen. Alle weiteren Altersgruppenvergleiche ergeben zum Teil hochsignifikante Ergebnisse.

Eine Ausnahme stellt die Messung des knorpeligen Containments dar, welche in keinem der Fälle einen signifikanten Unterschied im Mehrfachvergleich zwischen den Altersgruppen aufweist.
Die Ursache besteht darin, dass Kopf und Pfanne gleichmäßig wachsen, wie die Einzelmesswerte gezeigt haben. Die Beziehung von Pfanne bzw. Pfannendach zu Kopf in Prozent muss dies entsprechend wiedergeben. Aus den Containmentwerten geht also sehr schön hervor, dass die Überdachung des Kopfes gleich gut bleibt, sich also im Laufe des Wachstums keine acetabuläre Hüftdysplasie entwickelt.

3.5 Normwerte

Trotz der Tatsache, dass die Parameter nicht exakt linear ansteigen und gleichfalls nicht alle Mittelwertsvergleiche signifikante Unterschiede ergeben haben, sollen an dieser Stelle zumindest „richtungsweisende“ Normwerte veröffentlicht werden.

Die Tabellen 3.16 – 3.20 zeigen diese sowie die Standardabweichung (SD) und den Standardfehler (SF), ermittelt aus insgesamt 144 gesunden Kinderhüften für das Kopfvolumen, das Pfannenvolumen, den Maximalen Queren und Maximalen Schrägen Kopfdurchmesser sowie das knorpelige Containment, getrennt nach Altersgruppen. Diese Werte haben eine entscheidende Bedeutung im weiteren Vergleich mit den Hüften von an M. Perthes erkrankten Kindern.

In der Gruppe der 6-jährigen Kinder stehen jeweils in Klammern die Mittelwerte aus der Berechnung von 22 Kinderhüften ohne Berücksichtigung der erhobenen Daten des Jungen, die weit außerhalb des 95% Konfidenzintervalls seiner Gruppe liegen.

Tab. 3.16 Normwerte für das Kopfvolumen in ccm

Alter	Mittelwert	SD	SF
4 Jahre	17,85	3,02	0,62
5 Jahre	20,74	4,11	0,84
6 Jahre	28,11 (24,14)	4,94	1,01
7 Jahre	26,23	4,15	0,85
8 Jahre	32,08	4,95	1,01
9 Jahre	34,15	6,29	1,28

Tab. 3.17 Normwerte für das Pfannenvolumen in ccm

Alter	Mittelwert	SD	SF
4 Jahre	7,64	1,68	0,34
5 Jahre	8,49	1,24	0,25
6 Jahre	13,05 (12,38)	3,08	0,63
7 Jahre	11,07	2,48	0,51
8 Jahre	13,63	1,91	0,39
9 Jahre	15,66	2,80	0,57

Tab. 3.18 Normwerte für den Maximalen Queren Durchmesser (MQD) in cm

Alter	Mittelwert	SD	SF
4 Jahre	3,02	0,23	0,05
5 Jahre	3,23	0,23	0,05
6 Jahre	3,63 (3,59)	0,27	0,05
7 Jahre	3,45	0,29	0,06
8 Jahre	3,85	0,29	0,06
9 Jahre	3,76	0,30	0,06

Tab. 3.19 Normwerte für den Maximalen Schrägen Durchmesser (MSD) in cm

Alter	Mittelwert	SD	SF
4 Jahre	3,29	0,21	0,04
5 Jahre	3,43	0,22	0,04
6 Jahre	3,78 (3,75)	0,21	0,04
7 Jahre	3,72	0,26	0,05
8 Jahre	4,00	0,20	0,04
9 Jahre	4,04	0,22	0,05

Tab. 3.20 Normwerte für das knorpelige Containment in %

Alter	Mittelwert	SD	SF
4 Jahre	91,24	7,35	1,50
5 Jahre	91,42	6,69	1,36
6 Jahre	92,20 (91,78)	5,38	1,10
7 Jahre	92,64	5,21	1,06
8 Jahre	89,08	6,61	1,35
9 Jahre	91,10	6,05	1,23

3.6 Vergleich von Hüften hüftgesunder Kinder mit erkrankten Hüften von Kindern mit M. Perthes

Auch bei den an M. Perthes erkrankten Kindern wurden alle Werte beiderseits erhoben, um die kranke mit der nicht betroffenen Gegenseite sowie die Hüften hüftgesunder Kinder mit den kranken Hüften der erkrankten Kinder vergleichen zu können.

Die Differenz des Mittelwerts der erkrankten Pertheshüften (Mw P_{kr}) abzüglich des Mittelwerts der Hüften hüftgesunder Kinder (Mw G) wurde mit Δ Mw gekennzeichnet und auf die hüftgesunden Kinder (Mw G) bezogen. Die prozentuale Veränderung entspricht

Δ X % und ist – falls signifikant – mit einem * für $p<0,05$ gekennzeichnet.

Die Formel zur Berechnung der prozentualen Differenz lautet:

Mw P_{kr} – Mw G = Δ Mw

Δ Mw / Mw G = Δ M % (*).

Die Angabe der prozentualen Werte anstelle der Absolutwerte ermöglicht eine einfachere Betrachtung der Volumenveränderungen.

Tabelle 3.21 gibt einen Überblick über die Mittelwerte der Parameter hüftgesunder Kinder und die Mittelwerte der erkrankten Hüften von Kindern mit M. Perthes in den verschiedenen Altersgruppen sowie die prozentuale Differenz (Δ X %) mit Kennzeichnung der Signifikanz (*).

Tab. 3.21 Übersicht der altersabhängig errechneten Mittelwerte aller Parameter von Hüften gesunder Kinder und erkrankten Hüften von Kindern mit M. Perthes

Hüftkopf in ccm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
Gesund	17,85*	20,74*	28,11	26,23*	32,08*	34,15*
M. Perthes	26,63*	33,06*	31,89	38,55*	43,03*	54,05*
Δ Kopf %	49,19*	59,40*	(13,45)	46,97*	34,13*	58,27*
Hüftpfanne in ccm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
Gesund	7,64*	8,49*	13,05	11,07*	13,63	15,66
M. Perthes	9,49*	10,97*	12,48	13,92*	15,21	17,22
Δ Pfanne %	24,21*	29,21*	(-4,37)	25,74*	11,59	9,96
MQD in cm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
Gesund	3,02*	3,23*	3,63	3,45*	3,85*	3,76*
M. Perthes	3,69*	3,95*	3,80	4,12*	4,41*	4,68*
Δ MQD %	22,19*	22,29*	4,68	19,42*	14,55*	24,46*
MSD in cm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
Gesund	3,29*	3,43*	3,78*	3,72*	4,00*	4,04*
M. Perthes	3,72*	4,17*	4,19*	4,44*	4,60*	5,14*
Δ MSD %	13,07*	21,57*	10,85*	19,35*	15,00*	27,23*
Containment in %	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
Gesund	91,24*	91,42*	92,20*	92,64*	89,08	91,10*
M. Perthes	84,23*	82,91*	86,80*	86,83*	87,34	82,61*
Δ Cont. %	7,68*	9,30*	5,85*	6,27*	1,95	9,32*
n Gesunde	24	24	24	24	24	24
n M. Perthes	7	14	14	11	15	5

* für $p<0,05$

Es ergibt sich - unabhängig vom Alter der Kinder - eine gemittelte Kopfvergrößerung von 42,76 % (13,45 – 59,40%), die Pfanne erkrankter Kinder ist im Durchschnitt um 20,14% (9,96 – 29,21%) vergrößert. Nur im Falle der 6-jährigen Kinder ist die Pfanne der hüftgesunden Kinder im Vergleich zur Hüftpfanne der erkrankten Kinder um 4,37% vergrößert.

Die Mittelwerte des Maximalen Queren Durchmessers sind im Durchschnitt 17,93% (4,68 – 24,46%), die des Maximalen Schrägen Durchmessers 17,85% (10,85 – 27,23%) größer als die der gesunden Kontrollgruppe.

Das knorpelige Containment verringert sich bei den an M. Perthes erkrankten Kindern im Durchschnitt um 6,73% (1,95 – 9,32%).

Die Abbildungen 3.6 - 3.10 veranschaulichen die Größenzunahme der altersabhängig gemessenen Parameter der an M. Perthes erkrankten Kinder im Vergleich zu denen der gesunden Kontrollgruppe.

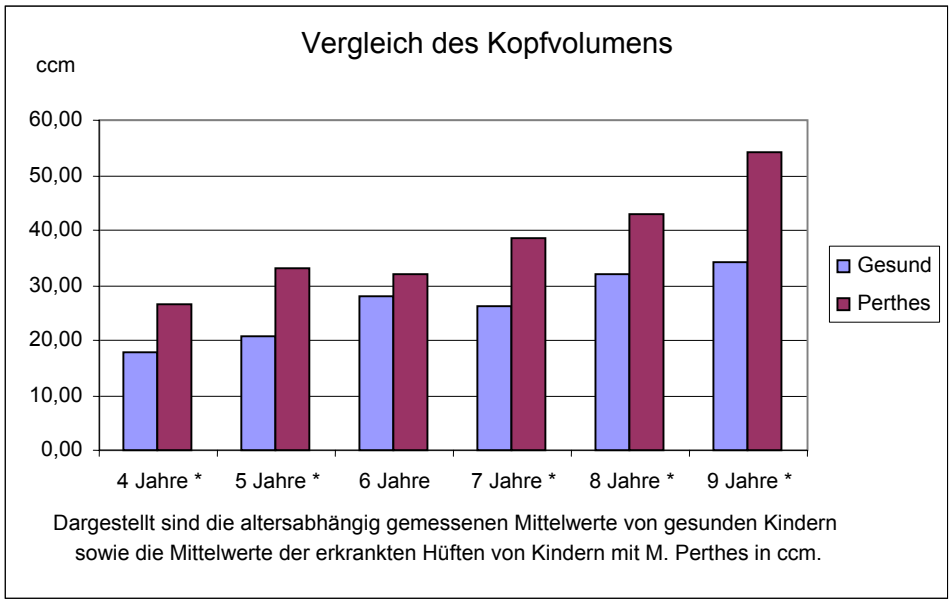


Abb. 3.6 Vergleich des Kopfvolumens der erkrankten Seite von an M. Perthes erkrankten Kindern mit den Hüftkopfvolumen gesunder Kinder

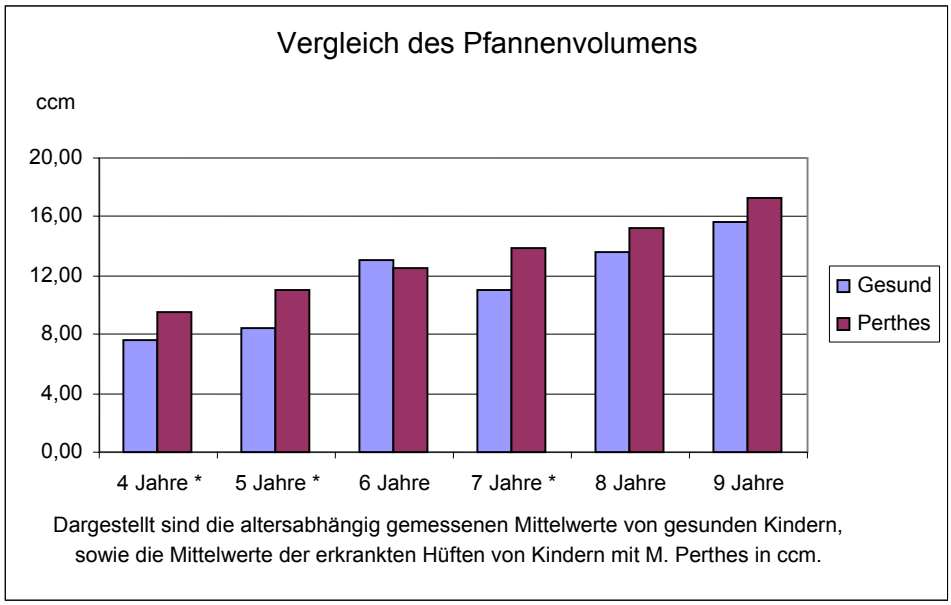


Abb. 3.7 Vergleich des Pfannenvolumens der erkrankten Seite von an M. Perthes erkrankten Kindern mit den Hüftpfannenvolumen gesunder Kinder

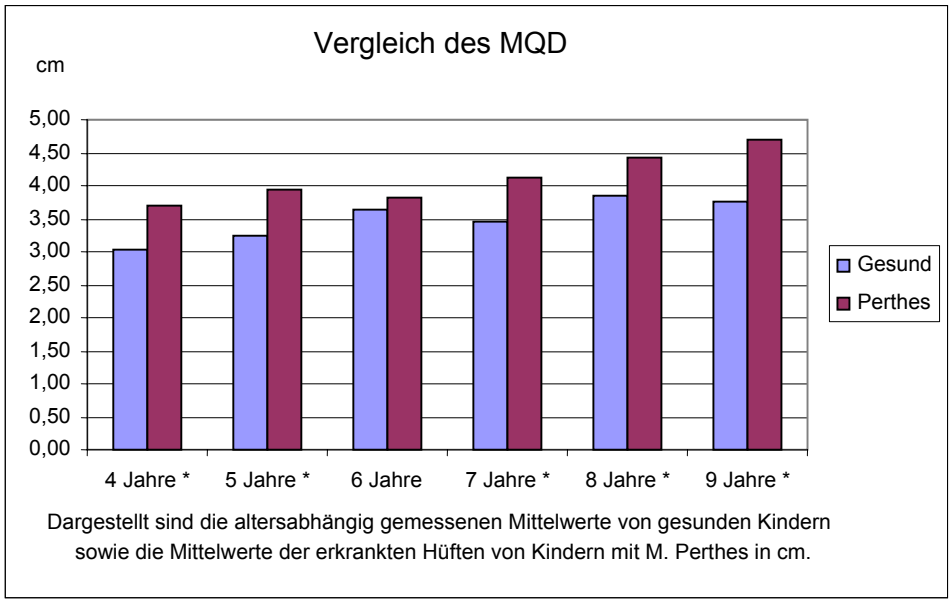


Abb. 3.8 Vergleich des Maximalen Queren Durchmessers (MQD) der erkrankten Seite von an M. Perthes erkrankten Kindern mit dem MQD gesunder Kinder

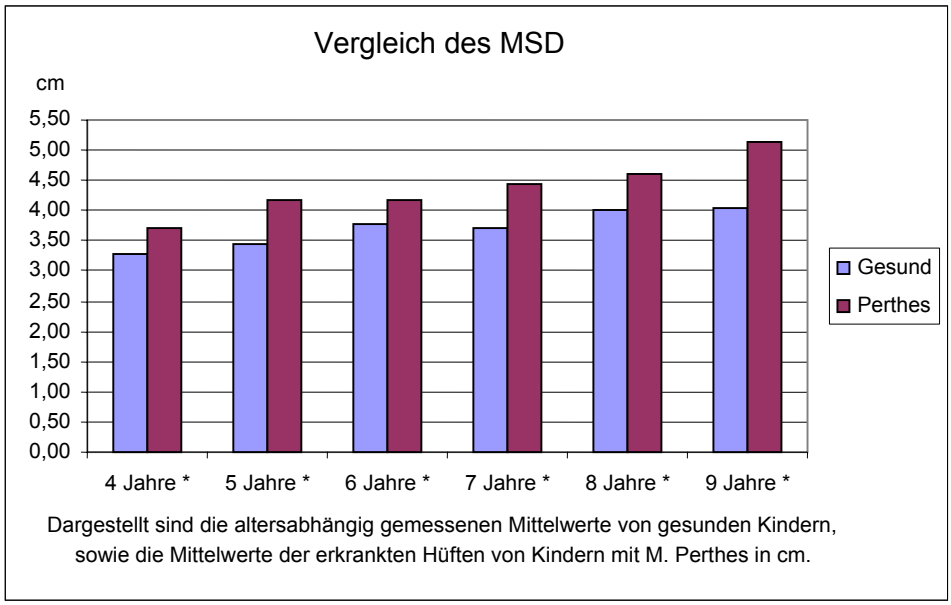


Abb. 3.9 Vergleich des Maximalen Schrägen Durchmessers (MSD) der erkrankten Seite von an M. Perthes erkrankten Kindern mit dem MSD gesunder Kinder

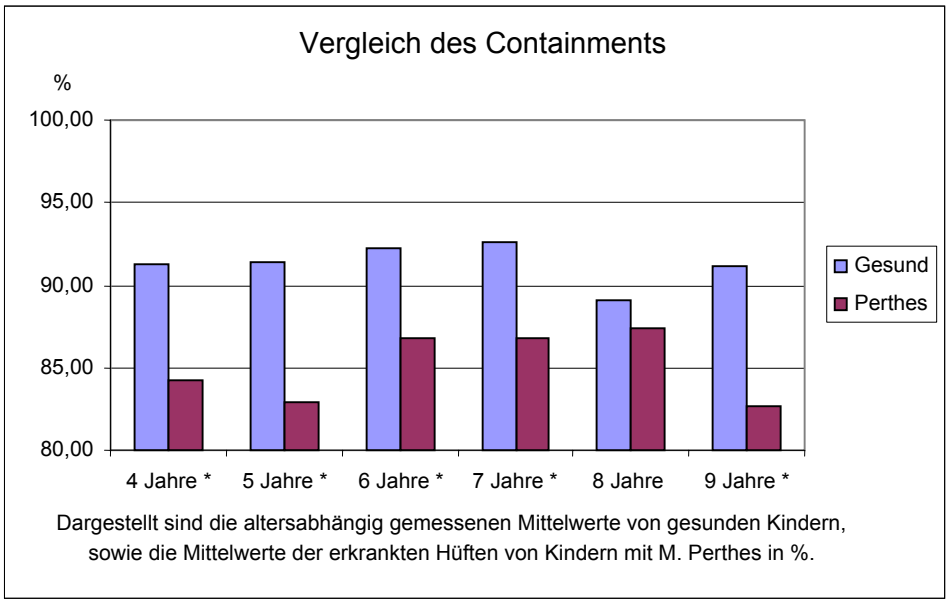


Abb. 3.10 Vergleich des knorpeligen Containments der erkrankten Seite von an M. Perthes erkrankten Kindern mit dem knorpeligen Containment gesunder Kinder

Die Balkendiagramme in den Abbildungen 3.6 – 3.10 lassen deutlich die Größenzunahme ausnahmslos aller Parameter der von der Perthes'schen Erkrankung betroffenen Hüftseiten erkennen.

Signifikante (*) Größenunterschiede finden sich vor allem beim Hüftkopfvolumen, dem Maximalen Queren sowie Schrägen Durchmesser und beim knorpeligen Containment der beiden verglichenen Gruppen.
Signifikante Unterschiede alle Altersgruppen betreffend ergeben sich beim Vergleich des Maximalen Schrägen Durchmessers der Hüftköpfe von erkrankten Kindern mit denen der Kontrollgruppe. Dies deutet darauf hin, dass sich die knorpeligen Anteile des Hüftkopfes vor allem über den Pfannenranderker hinweg nach lateral eiförmig ausdehnen und verformen.
Im Hinblick auf das Pfannenvolumen ergeben sich nur im Falle der 4-, 5- und 7-jährigen Kinder signifikante Größenunterschiede. Im Falle der 6-jährigen Kinder stellt sich die Situation sogar in umgekehrter Weise dar; hier wurde für die gesunden Kinder im Durchschnitt das größere Pfannenvolumen gemessen. Zur übersichtlicheren Darstellung befinden sich die t-Test Tabellen im Anhang.

3.7 Vergleich von nicht betroffener mit erkrankter Seite bei Kindern mit M. Perthes

Auch hier verwendeten wir zur Vereinfachung für den Betrachter neben der Auflistung der errechneten Mittelwerte die Angabe der prozentualen Größenveränderung (∆ X %), die folgendermaßen berechnet wurde:
Die Differenz des Mittelwerts der kranken (Mw P_{kr}) abzüglich des Mittelwerts der nicht betroffenen Seite (Mw P_{nb}) wurde mit ∆ Mw gekennzeichnet und auf die nicht betroffene Seite (Mw P_{nb}) bezogen. Die prozentuale Veränderung entspricht ∆ X % und ist – falls signifikant – mit einem * für $p<0,05$ gekennzeichnet.
Die Formel lautet:

Mw P_{kr} – Mw P_{nb} = ∆ Mw
∆ Mw / Mw P_{nb} = ∆ M % (*).

Die Tabelle 3.22 gibt einen Überblick über die Mittelwerte der Parameter der nicht betroffenen (= gesunden) bzw. erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes in den verschiedenen Altersgruppen sowie die prozentuale Differenz (Δ X %) mit Kennzeichnung der Signifikanz (*).

Tab. 3.22 Übersicht der altersabhängig errechneten Mittelwerte aller Parameter von nicht betroffener (= gesunder) und erkrankter Hüftseite bei Kindern mit M. Perthes

Hüftkopf in ccm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
gesunde Seite	16,99*	22,54*	22,52*	26,82*	29,67*	36,76
kranke Seite	26,63*	33,06*	31,89*	38,55*	43,03*	54,05
Δ Kopf %	56,74*	46,67*	41,61*	43,74*	45,03*	47,03
Hüftpfanne in ccm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
gesunde Seite	7,32*	9,22*	9,95*	12,05*	13,41	13,98
kranke Seite	9,49*	10,97*	12,48*	13,92*	15,21	17,22
Δ Pfanne %	29,64*	18,98*	25,43*	15,52*	13,42	23,18
MQD in cm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
gesunde Seite	3,01*	3,31*	3,29*	3,56*	3,71*	3,90
kranke Seite	3,69*	3,95*	3,80*	4,12*	4,41*	4,68
Δ MQD %	22,59*	19,34*	15,50*	15,73*	18,86*	20,00
MSD in cm	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
gesunde Seite	3,24*	3,56*	3,52*	3,74*	3,87*	4,14*
kranke Seite	3,72*	4,17*	4,19*	4,44*	4,60*	5,14*
Δ MSD %	14,81*	17,13*	19,03*	18,72*	18,86*	24,15*
Containment in %	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
gesunde Seite	90,80	96,92*	92,17	95,46*	93,56*	92,81*
kranke Seite	84,23	82,91*	86,80	86,83*	87,34*	82,61*
Δ Cont. %	7,80	14,46*	5,83	9,94*	6,65*	10,99*
n gesunde Seite	5	10	12	11	13	5
n kranke Seite	7	14	14	11	15	5

* für $p<0,05$

Auch hier ergibt sich - unabhängig vom Alter der Kinder - eine gemittelte Kopfvergrößerung der erkrankten Seite von 46,80% (41,61 – 56,74%), die Pfanne der erkrankten Seite ist im Durchschnitt um 21,03% (13,42 – 29,64%) größer als die der nicht betroffenen Gegenseite. Der Mittelwert des Maximalen Queren Durchmessers ist im Durchschnitt 18,67% (15,50 – 22,59%), der des Maximalen

Schrägen Durchmessers 18,78% (14,81 – 24,15%) größer als der Mittelwert der nicht betroffenen Gegenseite.
Das knorpelige Containment verringert sich auf der erkrankten Seite im Durchschnitt um 9,28% (5,83 – 14,46%).

Die Abbildungen 3.11 – 3.15 veranschaulichen die Größenzunahme der altersabhängig gemessenen Parameter der erkrankten Seite im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite.

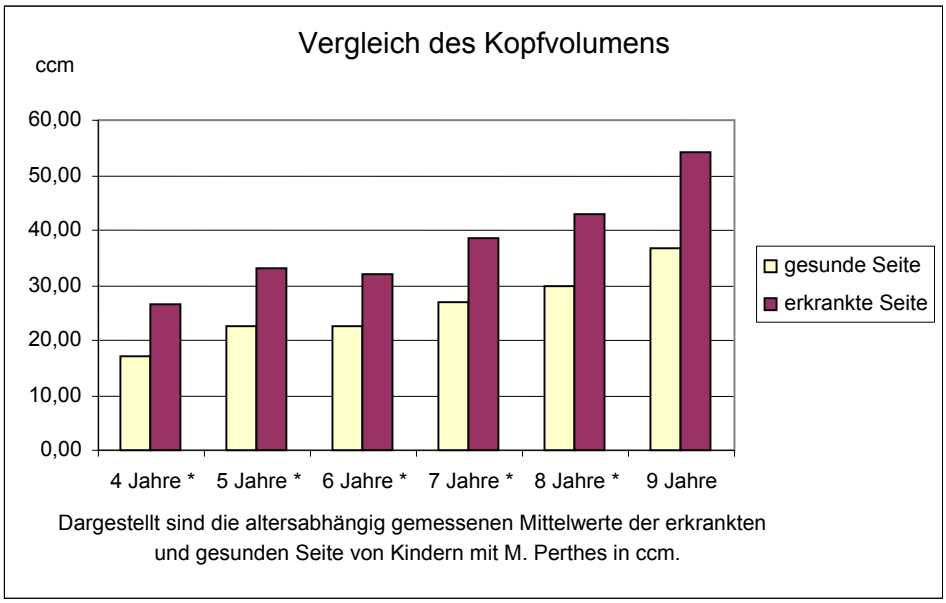


Abb. 3.11: Vergleich des Hüftkopfvolumens der erkrankten mit der nicht betroffenen Gegenseite von an M. Perthes erkrankten Kindern

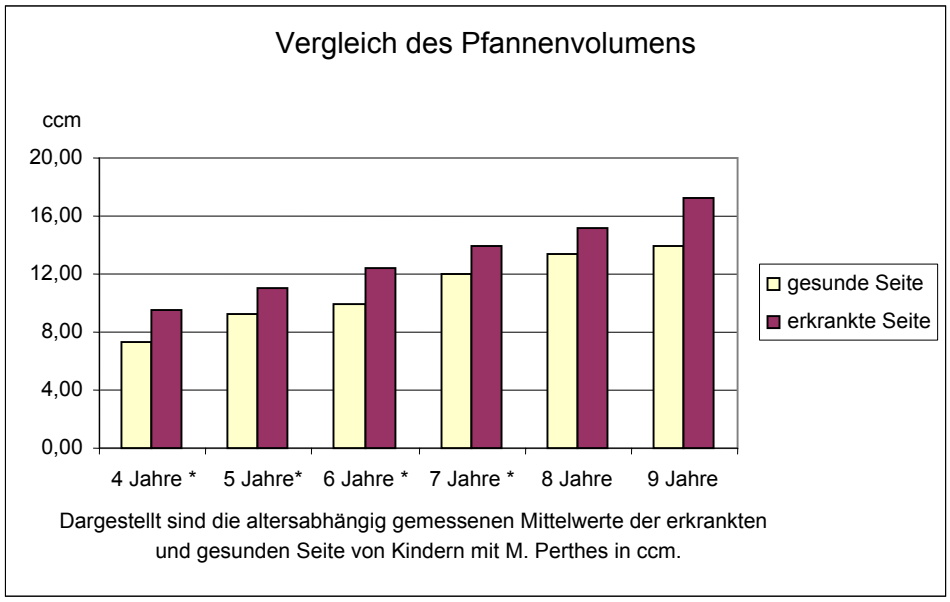


Abb. 3.12: Vergleich des Hüftpfannenvolumens der erkrankten mit der nicht betroffenen Gegenseite von an M. Perthes erkrankten Kindern

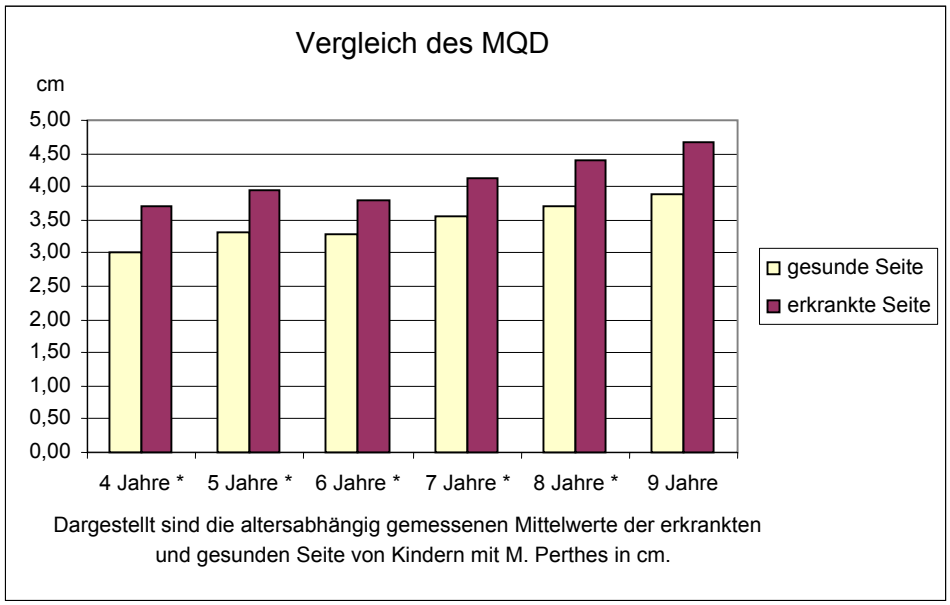


Abb. 3.13: Vergleich des Maximalen Queren Durchmessers (MQD) der erkrankten mit der nicht betroffenen Gegenseite von an M. Perthes erkrankten Kindern

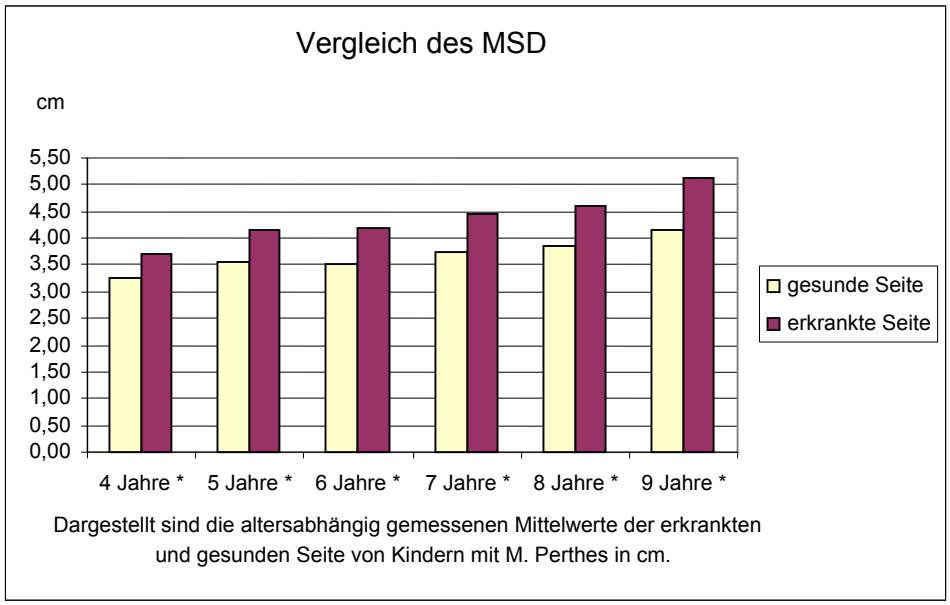


Abb. 3.14: Vergleich des Maximalen Schrägen Durchmessers (MSD) der erkrankten mit der nicht betroffenen Gegenseite von an M. Perthes erkrankten Kindern

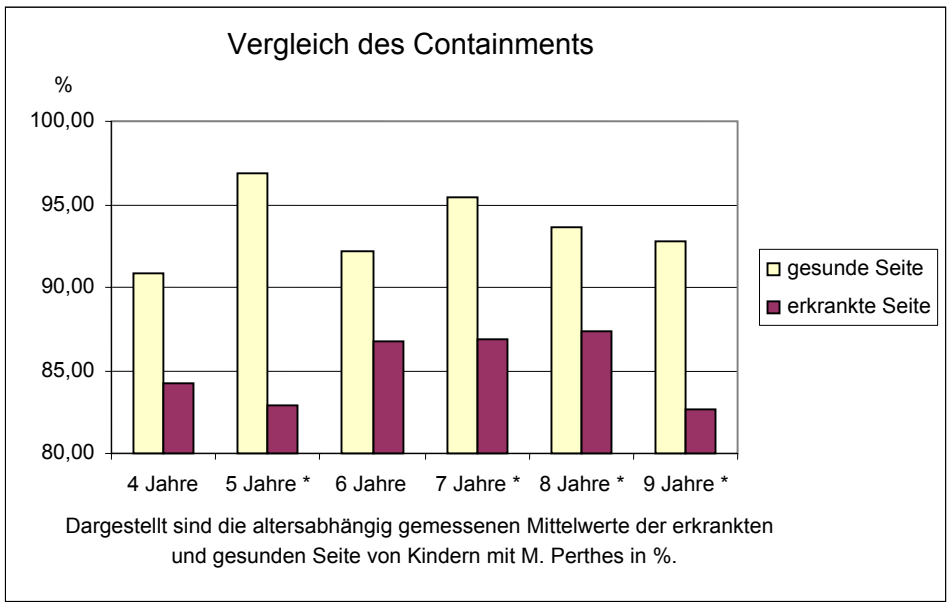


Abb. 3.15: Vergleich des knorpeligen Containments der erkrankten mit der nicht betroffenen Gegenseite von an M. Perthes erkrankten Kindern

Auch beim Vergleich der nicht betroffenen mit der erkrankten Hüftseite der an M. Perthes erkrankten Kinder zeichnet sich der enorme Größenzuwachs der Parameter die erkrankte Seite betreffend überaus deutlich ab. Hüftkopfvolumen und Maximaler Querer Durchmesser weisen - mit Ausnahme der Gruppe der

9-jährigen Kinder - in allen Altersgruppen signifikante Größenunterschiede zugunsten der erkrankten Seite auf. Allerdings muss bei eben dieser genannten Altersgruppe die sehr kleine Anzahl von ausgewerteten Hüften (n=5) in Betracht gezogen werden.

Wie beim Vergleich der erkrankten Hüftseiten mit den Hüften hüftgesunder Kinder zeigen sich auch beim Vergleich des Maximalen Schrägen Durchmessers von kranker mit nicht betroffener Gegenseite signifikante Unterschiede in allen Altersgruppen.

Weniger homogen stellen sich die Größenvergleiche von Pfannenvolumen und knorpeligem Containment in Bezug auf signifikante Unterschiede dar: es ergeben sich signifikant größere Werte für die Altersgruppen der 4-, 5-, 6- und 7-jährigen das Pfannenvolumen betreffend, sowie signifikant kleinere Werte für die 5-, 7-, 8- und 9-jährigen erkrankten Kinder das knorpelige Containment der Hüftgelenke betreffend.

Auch hierzu befinden sich die die Signifikanzen ausweisenden t-Test Ergebnisse im Arbeitsanhang.

3.8 Korrelationen

Wir haben uns die Frage gestellt, ob die Werte für den Maximalen Queren und Schrägen Durchmesser mit den Hüftkopfvolumenwerten so korrelieren, dass in der Praxis eine Beschränkung auf die Bestimmung dieser Durchmesser möglich wäre, um dadurch auf das Kopfvolumen schließen zu können.
Dazu ermittelten wir den Korrelationskoeffizienten r nach Pearson anhand aller ausgewerteten Hüftköpfe in Abhängigkeit vom Alter der Kinder.
Tabelle 3.23 zeigt die ausnahmslos hohen Korrelationen in Abhängigkeit der betrachteten Parameter Kopfvolumen vs. Maximaler Schräger Durchmesser, sowie Kopfvolumen vs. Maximaler Querer Durchmesser.

Tab. 3.23 Korrelationen anhand des Koeffizienten r nach Pearson

		Hüftkopfvolumen vs. Maximaler Schräger Durchmesser		Hüftkopfvolumen vs. Maximaler Querer Durchmesser	
Alter	n	Signifikanz p(t)	Korrelation (r) nach Pearson	Signifikanz p(t)	Korrelation (r) nach Pearson
4 Jahre	36	0,000	0,871**	0,000	0,887**
5 Jahre	48	0,000	0,929**	0,000	0,922**
6 Jahre	50	0,000	0,844**	0,000	0,836**
7 Jahre	46	0,000	0,848**	0,000	0,804**
8 Jahre	52	0,000	0,889**	0,000	0,881**
9 Jahre	34	0,000	0,873**	0,000	0,824**

Für r = x** ist die Korrelation auf dem Niveau von p< 0,01 (2-seitig) signifikant.

Im Durchschnitt ergibt sich dadurch eine Korrelation von r = 0,870** für die Abhängigkeit der Parameter Kopfvolumen vs. Maximaler Schräger Durchmesser sowie eine Korrelation von r = 0,859** für die Parameter Kopfvolumen vs. Maximaler Querer Durchmesser.

Betrachtet man die sich ergebenden Korrelationen unabhängig vom Alter der Kinder und alle Probanden gesamt betreffend, ergeben sich auf dem Niveau von p<0,001 sogar Werte von r = 0,91 *** bzw. r = 0,89*** für die Korrelationen der Parameter Kopfvolumen vs. Maximaler Schräger, bzw. Kopfvolumen vs. Maximaler Querer Durchmesser.

Daraus ergibt sich, dass anhand der auf dem Röntgenbild einfach zu erhebenden Parameter Maximaler Schräger bzw. Querer Durchmesser (MSD bzw. MQD) mit Hilfe der einfachen Dreisatzrechnung zumindest zur Orientierung dienende Werte für das Hüftkopfvolumen *hüftgesunder Kinder* zu berechnen sind.
Zur Berechnung dienen die in Tabelle 3.24 dargestellten Richtwerte. Diese wurden im Falle der 6-jährigen Kinder dahingehend „berichtigt"(+), dass die erhobenen Daten des Jungen, welcher durch seine maximal überdurchschnittlichen Werte einen Ausreißer in der ansonsten ebenmäßig verlaufenden Wachstumsgerade hervorruft, nicht berücksichtigt wurden. In diesem Fall wurden die Parameter anhand der übrigen 22 Hüftköpfe berechnet.

Tab. 3.24 Richtwerte (RW) zur Dreisatzberechnung

Alter hüftgesunder Kinder	Kopfvolumen in ccm (+ / - 3 ccm) V_{Alter}	RW_{MSD} in cm	RW_{MQD} in cm
4 Jahre	17,85	3,29	3,02
5 Jahre	20,74	3,43	3,23
6 Jahre	24,14 (+)	3,75 (+)	3,59(+)
7 Jahre	26,23	3,72	3,45
8 Jahre	32,08	4,00	3,85
9 Jahre	34,15	4,04	3,76

Anhand des Richtwert-Volumens der Hüftköpfe, ermittelt in Abhängigkeit vom Alter der hüftgesunden Kinder (V_{Alter}), sowie den auf den Röntgenbildern gemessenen Maximalen Schrägen bzw. Queren Hüftkopfdurchmessern ($RÖ_{MSD}$ bzw. $RÖ_{MQD}$), lässt sich anhand der folgenden Formel das unbekannte Volumen eines Hüftkopfes näherungsweise berechnen:

$RÖ_{MSD} \times V_{Alter} \ / \ RW_{MSD}$ = Kopfvolumen in ccm (+/- 3 ccm) bzw.
$RÖ_{MQD} \times V_{Alter} \ / \ RW_{MQD}$ = Kopfvolumen in ccm (+/- 3 ccm)

Innerhalb einer Varianz von +/- 3 ccm liegen nach unseren Messungen über 95% der tatsächlich gemessenen Hüftkopfvolumen.

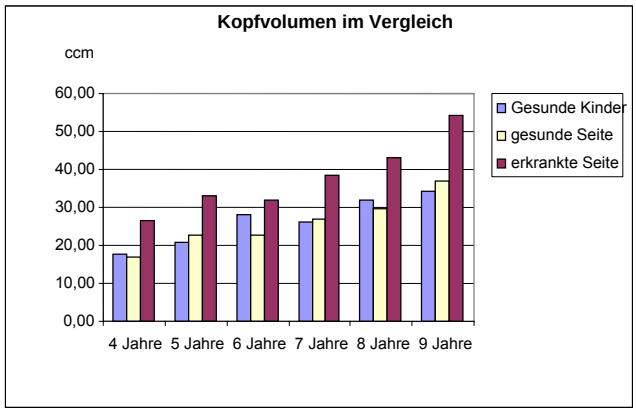
Nicht anwenden lässt sich diese Formel zur Berechnung des Hüftkopfvolumens *erkrankter Kinder*, da es zu starken Abweichungen des Volumens in Abhängigkeit des Erkrankungsstadiums kommt.

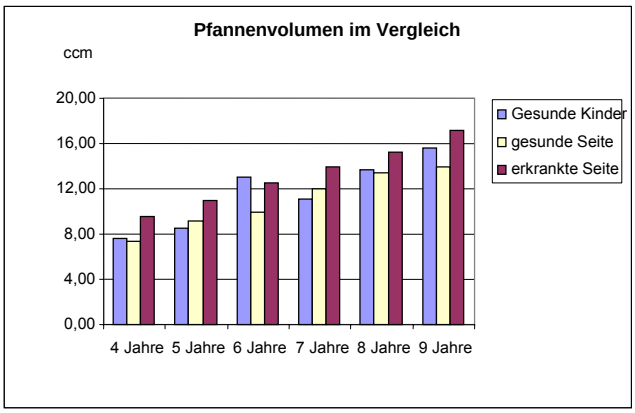
4 Diskussion

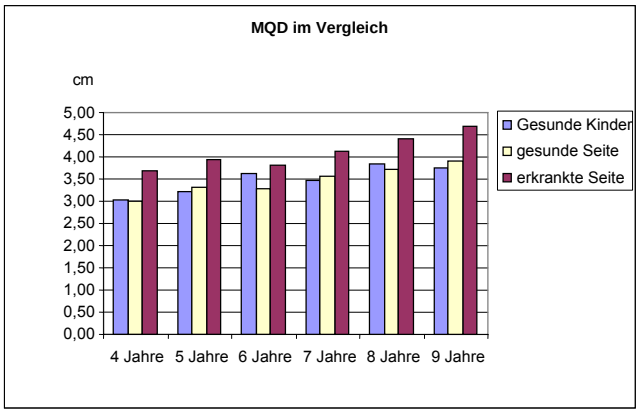
Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die bereits vor knapp einem Jahrhundert benannte und seitdem oft beschriebene, letztlich aber im Ausmaß unbekannte Vergrößerung des Hüftkopfes, die *Coxa magna*, anhand der Auswertung von MRT-Bildern mit Messwerten zu belegen.
Gleichzeitig bestimmten wir das bis heute unbekannte Hüftpfannenvolumen sowie die bereits bekannten Parameter MQD, MSD und das knorpelige Containment, um unsere Ergebnisse mit denen anderer Autoren vergleichen zu können.
Des Weiteren haben wir alle genannten Parameter bei einer aus 72 hüftgesunden Kindern bestehenden Kontrollgruppe gemessen, um den Vergleich zwischen Erkrankten und Hüftgesunden zu ermöglichen.

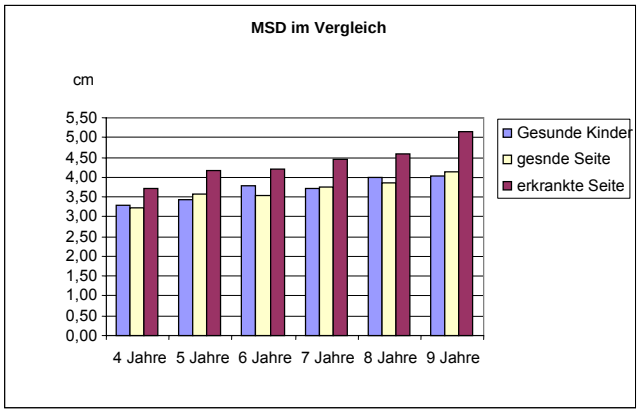
Die folgenden Abbildungen zeigen noch einmal zusammenfassend alle altersabhängig erhobenen Mittelwerte aufgeteilt in die Gruppen

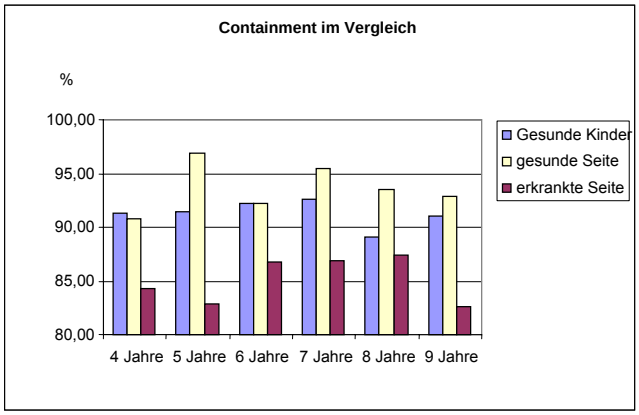
1. Hüftgesunde Kinder (= Gesunde Kinder)
2. gesunde (= nicht betroffene) Seite von Kindern mit M. Perthes
3. erkrankte Seite von Kindern mit M. Perthes.




Pfannenvolumen im Vergleich
ccm
20,00
16,00
12,00
8,00
4,00
0,00
4 Jahre
5 Jahre
6 Jahre
7 Jahre
8 Jahre
9 Jahre
Gesunde Kinder
gesunde Seite
erkrankte Seite


MQD im Vergleich
cm
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
4 Jahre
5 Jahre
6 Jahre
7 Jahre
8 Jahre
9 Jahre
Gesunde Kinder
gesunde Seite
erkrankte Seite


MSD im Vergleich
cm
5,50
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
4 Jahre
5 Jahre
6 Jahre
7 Jahre
8 Jahre
9 Jahre
Gesunde Kinder
gesnde Seite
erkrankte Seite


Containment im Vergleich
%
100,00
95,00
90,00
85,00
80,00
4 Jahre
5 Jahre
6 Jahre
7 Jahre
8 Jahre
9 Jahre
Gesunde Kinder
gesunde Seite
erkrankte Seite

Es soll anhand der erhobenen Werte diskutiert werden, ob diese für das Verständnis der Pathophysiologie der Erkrankung und für bisher etablierte Therapieformen von Bedeutung sind.

4.1 Material und Methode

Eine Schwierigkeit bestand anfangs in der Bildung einer Kontrollgruppe hüftgesunder Kinder. Einem Universitätsklinikum werden in der Mehrzahl der Fälle nur Kinder zur Behandlung zugewiesen, bei denen bereits außerhalb ein pathologischer Befund diagnostiziert wurde, so dass in der radiologischen Abteilung des Universitätsklinikums Eppendorf vor allem Verlaufskontrollen oder präoperative Untersuchungen kranker Kinder durchgeführt wurden. Das bedeutet, Untersuchungsbefunde/-ergebnisse, bei denen letztlich keine pathologischen Befunde diagnostiziert werden können, finden sich vor allem in niedergelassenen radiologischen Praxen. Da es jedoch einheitlicher Geräte und Einstellungstechniken bedarf, um die erhobenen Werte am Ende vergleichen zu können, reduzierte sich die Auswahl der Praxen auf eine einzige in Hamburg. Aus diesem Grund beschränkte sich auch die Anzahl hüftgesunder Kinder für die Bildung der Kontrollgruppen auf 70 bzw. auf 144 gesunde Kinderhüften insgesamt.

Die Software zur Volumenbestimmung hingegen konnte nur bei den seit 1997 in digitaler Form abgespeicherten MRT-Bildern angewendet werden. Deshalb konnten viele Kinder, die in den Jahren zuvor untersucht worden waren, nicht in die Auswertung einbezogen werden. Aus diesem Grund erübrigte sich eine weitere Gruppenunterteilung (z. B. gemäß des Stadiums der Krankheit oder in chirurgisch oder konservativ behandelte Kinder). Die Gruppen wären sonst zu klein und nicht mehr statistisch zu beurteilen gewesen wären. Dennoch konnten wir insgesamt 47 erkrankte Kinder in die Auswertung einbeziehen. 14 Kinder waren doppelt untersucht worden, so dass insgesamt 122 Hüftgelenke ausgewertet werden konnten.

Zur Bestimmung des Hüftkopf- bzw. Pfannenvolumens haben wir ein Computerprogramm eingesetzt, welches seit vielen Jahren vor allem in der

Herzdiagnostik (Rominger et al. 2004), in Organtransplantationszentren (Brinkmann et al. 2002) und in der Neuroradiologie (Friedlinger 1999) etabliert ist.
Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit des Verfahrens ist für verschiedenste anatomische Strukturen gut belegt (Lemke et al. 2003, Chrysikopoulos et al. 1990, Brinkmann et al. 2002).
Um die systemische Fehlerwahrscheinlichkeit so gering wie möglich zu halten, wählten wir eindeutige Parameterbegrenzungen, die im Folgenden besprochen werden.

4.2 Parameter

Zur Bestimmung von Hüftkopf- und Hüftpfannenpfannenvolumen wählten wir MRT-Bilder in T1-Wichtung, da auf ihnen die Knorpelgrenzen besonders eindeutig abgebildet werden.
Der Hüftkopf wurde zur Volumenbestimmung im Kopf-Hals-Bereich zu einem sphärischen Körper ergänzt, was sich als gut reproduzierbar darstellte.
Das Pfannenvolumen wurde lateral bis zur Spitze des *Labrum acetabulare* bestimmt, da sich diese auf allen Schichten gut abgrenzen lässt (Petersilge et al. 1996, Ghebontni et al. 2000).
Das Festlegen der medialen Pfannengrenze gestaltete sich schwieriger, weil das *Ligamentum transversum* nur in einzelnen Schichten gut abgebildet ist. Deshalb wählten wir als Grenze den Unterrand des Pfannengrundes (analog der Köhlerschen Tränenfigur im Röntgenbild).

Bezüglich des MQD, des MSD und des knorpeligen Containments orientierten wir uns an den Messverfahren von Lange (1997) und Clarfeld (2003).
Der MSD verläuft annähernd quer zur Schenkelhalsachse und ist umso größer, je stärker die eliptische Verformung des erkrankten Hüftkopfes im Coronarschnitt ist.
Das knorpelige Containment entspricht dem „Knorpeligen Acetabulum-Kopf-Index (kAKI)“ (Meiss 2001) als Wert für das wahre Hüftkopfcontainment unter Berücksichtigung der noch nicht abgeschlossenen Verknöcherung. Es dient als Maß für die Überdachung des Hüftkopfes durch die Pfanne, also zur Beurteilung der beim M. Perthes schon lange radiologisch bekannten sekundären Hüftdysplasie (Dustmann et al. 1998).

Die eingangs gestellte Frage, ob mit der MRT eine Messung der Parameter möglich ist, kann bejaht werden. Ein Vergleich mit Werten anderer Autoren entfällt, da hierzu noch keine Veröffentlichungen vorliegen.

4.3 Messergebnisse der hüftgesunden Kinder

Die Daten der hüftgesunden Kinder sollten zum einen der Veröffentlichung von Normwerten dienen, zum anderen sollte anhand ihrer die Frage beantwortet werden, ob Korrelationen zwischen den auf dem Röntgenbild einfach zu erhebenden Parametern MSD und MQD und dem Kopfvolumen bestehen, um im Falle von Abweichungen auf pathologische Befunde schließen zu können.
Wir konnten zeigen, dass in Anlehnung an die im entsprechenden Alter linear ansteigenden Wachstumskurven von 4- bis 9-jährigen Mädchen und Jungen (Illing und Claßen 2003) auch unsere Parameter einer annähernd gleichmäßig ansteigenden Wachstumsgerade folgen.
Wie zu erwarten, waren die Werte von rechter und linker Hüftseite in Abhängigkeit vom Alter der Kinder immer annähernd gleich groß (kein signifikanter Unterschied), da es sich um symmetrisch angelegte Strukturen handelt.
Die einzige Zacke wird durch die Gruppe der 6-jährigen Kinder gebildet: extrem hohe Werte aller gemessenen Parameter eines einzelnen Jungen verschieben die Mittelwerte dieser Gruppe in Richtung höhere Werte und verzerren die ansonsten gleichmäßig ansteigenden Wachstumsgeraden.

Aufgrund der auffälligen erhobenen Hüftparameter des genannten 6-jährigen Jungen wurden die Akten erneut ausgewertet. Die MRT-Untersuchung wurde bei diesem Patienten durchgeführt, da vom überweisenden Arzt aufgrund einer Dilatation der Aorta ascendens subjektiv der Verdacht auf ein Marfan Syndrom geäußert wurde. Im weiteren Verlauf wurde bei diesem Patienten jedoch das Vorliegen einer Duraektasie, eines der Hauptkriterien der Genter Nosologie, sowie weitere Nebenkriterien (Protrusio acetabuli, Pectus excavatum und weitere klinische Parameter) ausgeschlossen. Zwar liegen seine Werte wahrscheinlich oberhalb der 97. Perzentile (ein Vergleich entfällt, da hierzu bisher keine Veröffentlichungen vorliegen). Dennoch muss dieser Patient im Rahmen einer einwandfreien statistischen Auswertung bei ebenso wenig nachgewiesenen

anderen Ursachen (z. B. Thrombophilie oder Faktor-VIII-Mangel) für eine Hüftkopfvergrößerung, als hüftgesund eingestuft werden und in die Gruppe des hüftgesunden Kollektivs eingeschlossen werden.

Auffallend ist, dass sich das Hüftkopfvolumen der hüftgesunden Kinder vom 4. bis 9. Lebensjahr um 47,7% vergrößert. Dies entspricht der durchschnittlichen pathologischen Vergrößerung von erkrankter Hüftseite zu nicht betroffener Gegenseite beim M. Perthes (im Durchschnitt 46,8 %, Streubreite 41,6 – 56,7%). Der Größenunterschied zwischen erkrankter und nicht betroffener Hüftseite eines Kindes mit M. Perthes entspricht demnach der Größe des Hüftkopfes eines 4-jährigen, hüftgesunden Kindes, wenn man diesen mit dem Hüftkopf eines 9-jährigen, hüftgesunden Kindes vergleicht.
Gleichfalls vergrößert sich das Pfannenvolumen hüftgesunder Kinder vom 4. bis 9. Lebensjahr um 51,2 %. Die Größendifferenz der Hüftköpfe erkrankter Kinder (erkrankte Hüftseite im Vergleich zur nicht betroffenen) beträgt hingegen nur 21,0 %. Darauf soll im folgenden Kapitel näher eingegangen werden.

Von besonderem Interesse ist schließlich, dass das wahre Containment in Abhängigkeit vom Alter der Kinder im Durchschnitt 93,6% (Streubreite 89,1 – 92,6%) beträgt und dass sich dieser hohe Normalwert vom 4. - 9. Lebensjahr praktisch nicht verändert. Die Natur sorgt offensichtlich dafür, dass im Wachstum eine gute Hüftkopfüberdachung erhalten bleibt. Es gibt also keine wachstumsbedingte Hüftdysplasie außer eben beim M. Perthes.
Dennoch konnten Werte ohne offensichtliche Einschränkungen der Hüftgelenksfunktion von bis zu 70,8% bei hüftgesunden Kindern gemessen werden. Dies ist bemerkenswert, betrachtet man die Ergebnisse des knorpeligen Containments von an M. Perthes erkrankten Kindern: das kleinste gemessene knorpelige Containment betrug hier 65,0%, der altersunabhängige Durchschnitt betrug 85,1% (Streubreite 82,6 – 87,3%). Der Containmentverlust bei diesen Kindern geht jedoch mit einer zum Teil massiven Einschränkung der Hüftgelenksbeweglichkeit einher.

In Kapitel 3.5 veröffentlichten wir erstmalig die Normwerte für die von uns bestimmten Parameter hüftgesunder Kinder. Es muss berücksichtigt werden, dass diese letztlich nur aus 12 Kindern pro Gruppe ermittelt werden konnten.

Nicht alle Ergebnisse waren in den t -Tests für Mehrfachvergleiche (Scheffe´- Prozedur) signifikant, was vor allem an den extrem hohen Werten des 6-jährigen Jungen lag. Dadurch stellten sich fast alle Vergleiche mit dieser Altersgruppe als nicht signifikant heraus. Aus diesem Grund sollten unsere Normwerte eher als „zur Orientierung dienende“ anstelle von absolut gültigen betrachtet werden. Dennoch gilt es als sehr wahrscheinlich, dass sich unsere Werte im Vergleich zu Mittelwerten aus eventuell zukünftig größer angelegten Studien in zumindest ähnlichen Bereichen befinden, da sich in den anderen Gruppen nur sehr wenige Ausreißer befanden und die Standardfehler insgesamt klein ausfielen.

Anhand der Durchschnittswerte haben wir überprüft, ob Korrelationen zwischen radiologisch messbaren Parametern und nur im MRT bestimmbaren Volumen der Hüftköpfe bestehen.
Es ergaben sich Korrelationskoeffizienten nach Pearson auf dem Niveau von $p<0,001$ für $r = 0,91$ *** bzw. $r = 0,89$*** für die Korrelationen der Parameter Kopfvolumen vs. Maximaler Schräger, bzw. Kopfvolumen vs. Maximaler Querer Durchmesser. Daraus resultiert, dass es prinzipiell möglich ist, anhand der röntgenologisch messbaren MSD und MQD durch die einfache Dreisatzrechnung auf das Hüftkopfvolumen zu schließen.
Es kann davon ausgegangen werden, dass bei altersabhängig errechneten Kopfvolumen, die sehr von unseren dargestellten Richtwerten abweichen, eine *Coxa magna* und somit die Differentialdiagnose eines M. Perthes als wahrscheinlich betrachtet werden muss.
Nicht angewendet werden kann diese Methode zur Bestimmung des wahren Hüftkopfvolumens, wenn die Perthes’sche Erkrankung bereits diagnostiziert wurde. Sie kann dann allenfalls als Verlaufsparameter hinzugezogen werden. Dies liegt daran, dass das Volumen in Abhängigkeit vom Stadium der Erkrankung großen Schwankungen unterliegt. Da wir die erkrankten Kinder jedoch diesbezüglich nicht in weitere Gruppen unterteilt haben, können wir keine Richtwerte zur Berechnung angeben.

4.4 Messergebnisse der an M. Perthes erkrankten Kinder

Wir konnten zeigen, dass ausnahmslos alle altersabhängig ausgewerteten Hüftköpfe der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes bedeutend größer als die der hüftgesunden Kontrollgruppe sind. Dabei konnten in Abhängigkeit vom Alter der Kinder signifikant bedeutsame Größenzunahmen von im Durchschnitt 43,6% (Streubreite 13,5 – 59,4%) gemessen werden.

Der Vergleich von nicht betroffener mit erkrankter Seite von an M. Perthes erkrankten Kindern zeigt gleichfalls, dass mit Ausnahme der 9jährigen Kinder (Größenzunahme von im Durchschnitt 47,0%) alle Hüftkopfvolumen der erkrankten signifikant größer als die der nicht betroffenen Gegenseite sind. Die Streubreite liegt hier bei 41,6% in der Gruppe der 6 Jahre alten, bis hin zu 56,7% bei den 4 Jahre alten Kindern, die durchschnittliche Kopfvergrößerung beträgt 46,8%.
Wir konnten mehrere Hüftkopfvergrößerungen von über 80% im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite ermitteln; die größte gemessene betrug 90,5% bei einem 5-jährigen Jungen!

Inhomogener gestalten sich die Ergebnisse des Pfannenvolumens.
Zunächst ist zu erwähnen, dass das durchschnittliche Pfannenvolumen der 6-jährigen hüftgesunden Kinder 4,4 % *größer* ist als das durchschnittliche Pfannenvolumen der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes im gleichen Alter.
Erwartungsgemäß ist jedoch das durchschnittliche Pfannenvolumen der erkrankten Seite in den übrigen Altersgruppen absolut gesehen abermals stets größer als das Pfannenvolumen hüftgesunder Kinder (durchschnittlich 20,2%, Streubreite 10,0 – 29,2%, ohne Berücksichtigung der Gruppe der 6-jährigen).
Das Gleiche gilt für das Pfannenvolumen der erkrankten Seite im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite (durchschnittlich 20,0%; Streubreite 13,4 – 29,6%).

Wir haben uns die Frage gestellt, wie es möglich sein kann, dass der erkrankte Hüftkopf 46,8% an Volumen zunimmt, während die erkrankte Hüftpfanne sich nur um 20,0% im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite vergrößert.

Bei erneuter Betrachtung der MRT-Bilder fiel auf, dass sich die erkrankte Pfanne vor allem aufweitet: der Abstand zwischen der Spitze des Labrums und dem Unterrand des Pfannengrundes vergrößert sich, die Pfannentiefe dagegen nimmt ab. Die Volumenzunahme der Pfanne ist dadurch geringer als die des Hüftkopfes. Dennoch findet ein Wachstum statt, wenn auch nicht so deutlich, wie es beim Hüftkopf der Fall ist. Die gleichzeitig damit einhergehende Verringerung der Kopfüberdachung durch die Hüftpfanne bedeutet einen Containmentverlust.
Clarfeld (2003) beschreibt in seiner Arbeit knorpelige Acetabulum Kopf Index-Werte von im Durchschnitt 75 – 85% (Streubreite 62 – 91%), abhängig davon, ob und welche Art der operativen Versorgung bei seinen Probanden durchgeführt wurde. Er geht in seiner Arbeit ausführlich auf die Ursachen für die Abnahme des Containments bei Kindern mit M. Perthes ein und erwähnt mehrere Faktoren, die zur Verschlechterung der Überdachung führen können. Bestätigen können wir anhand unserer Beobachtungen die folgenden:

1. „Das Pfannenwachstum bleibt hinter dem Wachstum des Kopfes zurück". Diese Hypothese können wir durch unsere Ergebnisse bestätigen. Zwar vergrößert sich das Pfannenvolumen absolut betrachtet, relativ gesehen jedoch nicht in dem Umfang, wie dies beim Hüftkopf der Fall ist (siehe Tabelle 3.22). Dies gilt ebenfalls für den Vergleich mit der hüftgesunden Kontrollgruppe (siehe Tabelle 3.21).

2. „Der sich deutlich vergrößernde Kopf wird bei mangelnder Pfannenaufweitung aus der Pfanne herausgedrängt". Er konnte bei nahezu allen Patienten eine Vergrößerung der Pfannenweite nachweisen. Ebenso beschreiben Bauer und Jünger (1974) ein „Abnehmen der Pfannentiefe". Dies deckt sich mit unseren Beobachtungen wie oben beschrieben.

Anders als zu den bisher diskutierten sind zu den Parametern MSD und MQD bei erkrankten Kindern durchaus Vergleichswerte aus anderen Studien bekannt.
Der MSD wurde erstmals 1996 in der Arbeit von Meiss et al. beschrieben, 1997 von Lange ausführlich diskutiert und 2003 von Clarfeld erneut aufgegriffen.
Lange berichtet in ihrer Arbeit von einer Kopfvergrößerung gemessen anhand des ΔMSD, von durchschnittlich 10 – 15% im Vergleich zur nicht betroffenen

Gegenseite. Der größte von ihr gemessene ΔMSD betrug 26%. Sie berichtet weiterhin von zunehmenden ΔMSD-Werten um 25% innerhalb von 6 Monaten nach Beginn der Symptome, gemessen anhand von im Verlauf angefertigter MRT-Bilder ihrer Probanden. Sie weist darauf hin, dass der ΔMSD zur Verlaufsbeurteilung und eventuell für Therapieentscheidungen geeignet ist.
Clarfeld macht Angaben zu von ihm durchschnittlich gemessenen ΔMSD-Werten von 11 – 27% (Streubreite 2 – 34%), abhängig von der durchgeführten Therapieform (nur TAL-Durchtrennung, TAL-Durchtrennung plus weitere Operation). Auch er wertet einen ΔMSD von über 20% als prognostisch schlechtes Kriterium, weist aber darauf hin, dass der MSD nicht isoliert, sondern als ein Parameter von vielen (u.a. Schonhaltung des Beines, Erweichung des Hüftkopfes) zur Einschätzung der Prognose betrachtet werden muss.
Beide gehen zudem auf den Sektionsbefund von Catterall (1982a) eines an M. Perthes erkrankten und an einem Lymphom verstorbenen Jungen ein. Hier wird ein ΔMSD von 34% beschrieben (Meiss 2001).
Alle diese Werte stimmen mit den von uns erhobenen überein.
Im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite ermittelten wir altersabhängig signifikante ΔMSD von 14,8 – 24,2% (altersunabhängiger Mittelwert 18,8%). Wir sahen außerdem einige ΔMSD >34%: der größte von uns gemessene betrug 35,7%. Dieser Wert korreliert mit der von uns maximal gemessenen Kopfvolumenvergrößerung von 90,5% im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite.

Neu ist der mögliche Vergleich der erkrankten Hüftseiten mit hüftgesunden Kindern: hier konnten wir altersabhängig signifikante ΔMSD von 10,9 – 27,2% (altersunabhängiger Mittelwert 17,9%) messen, was in etwa dem Größenzuwachs im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite entspricht.

Beim Vergleich der MQD ergaben sich ähnlich eindrucksvolle Ergebnisse. So kam es hier zu einer durchschnittlichen Verbreiterung des ΔMQD von 17,9% (Streubreite 4,7 – 24,5%) im Vergleich zum MQD von hüftgesunden Kindern, sowie einer durchschnittlichen Verbreiterung von 18,7% (Streubreite 15,5 – 22,6%) im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite.

Der MQD muss zur Ermittlung des knorpeligen Containments erhoben werden. Er spielt unserer Meinung nach jedoch als Parameter in Bezug auf seine Aussagekraft hinsichtlich Verlauf und Therapie im Vergleich zum MSD eine nur untergeordnete Rolle.

Wir konnten zeigen, dass sich das knorpelige Containment sowohl hüftgesunder Kinder (durchschnittlich 91,3%) als auch der nicht betroffenen Gegenseite erkrankter Kinder (durchschnittlich 93,6%) immer besser als das der erkrankten Hüftseiten (durchschnittlich 85,1%) darstellt. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass das knorpelige Containment der nicht betroffenen Gegenseite – außer im Fall der 6-jährigen – immer höhere Werte als bei der hüftgesunden Kontrollgruppe annimmt (siehe Tabelle S. 69).

4.5 Unsere Ergebnisse: Neue Ansätze zum Verständnis der Pathophysiologie beim M. Perthes

Betrachtet man nochmals die die Diskussion einleitenden Balkendiagramme, so fällt auf, dass beim Vergleich der Parameter von Hüftgesunden mit denen der nicht betroffenen Gegenseite kein eindeutiger Trend aufgezeigt werden kann: Mal sind die Werte der Hüftgesunden und mal die der nicht betroffenen Gegenseite vergrößert. Dies lässt den Schluss zu, dass es sich beim M. Perthes nicht um eine systemische Erkrankung handeln dürfte, da ansonsten auch die Parameter der nicht betroffenen Gegenseite zumindest eindeutiger (kleiner oder größer als bei Hüftgesunden) verändert sein müssten. Wären beispielsweise Hormone oder Wachstumsfaktoren für die Erkrankung verantwortlich, müssten diese Auswirkungen auf Rezeptoren an beiden Hüftgelenken haben.
Folglich sprechen unsere Ergebnisse eher für die eingangs erwähnte Hypothese, dass es sich bei der Perthes'schen Erkrankung um ein lokales Krankheitsgeschehen handelt

Durch szintigraphische Untersuchungen konnten Tsao et al. (1997) beweisen, dass ein auslösendes Ereignis unbekannter Ursache letztlich zur Ischämie und Nekrose des Hüftkopfes führt. Sie beschreiben eine gänzlich fehlende Signalanreicherung im Bereich der Epiphyse und den somit vollständig aufgehobenen Knochenstoffwechsel.

Allerdings entspricht die entstehende Nekrosezone im Kopfbereich nicht seiner Gefäßverteilung (Ueo et al. 1985). Daraus schließen wir, dass es erst durch die nun folgenden Traumatisierungen des ohnehin vorgeschädigten Hüftkopfes zu dem von Ueo et al. (1987) als „Swelling of Articular Cartilage“ (Anschwellen des Hüftgelenksknorpels) bezeichneten Prozess und zum Zusammenbrechen der Knochenbälkchen kommt. Dies beschreiben so auch Sanchis et al. (1973) anhand ihrer tierexperimentellen Untersuchungen und sprechen von einer „Theory of the double or repeated infarct“. Bereits minimale Stauchungen wie die beim Gehen sowie das zusätzlich auf dem Gelenk lastende Körpergewicht des Kindes erscheinen in dieser Zeit als eine zu hohe Belastung für die nun sehr fragilen Strukturen. Deshalb erscheint eine Ruhigstellung des Gelenks zur Abwendung weiterer Traumen unabdingbar. Weiterhin beschreiben Ueo et al. (1987) in ihrer Arbeit „eine Erweiterung des Gelenkspaltes, in der von der Perthes’schen Krankheit betroffenen Hüfte, die schon im äußersten Frühstadium der Krankheit beobachtet wird, wenn im Knochen noch keine Veränderungen festzustellen sind. Dies weist auf eine Schwellung des Gelenkknorpels hin“.

Die Aussage den vergrößerten Gelenkspalt betreffend kann durch unsere Ergebnisse bestätigt werden: beweisend dafür ist die Tatsache, dass bereits die Gruppe der 4-jährigen Kinder, welche sich alle noch in einem frühen Krankheitsstadium befanden, ein massiv vergrößertes Hüftkopfvolumen aufwiesen. Die Ursache hierfür besteht unserer Meinung nach jedoch nicht im Anschwellen, sondern in einer durch echtes Wachstum hervorgerufenen Vergrößerung des Hüftkopfes, insbesondere seiner im MRT sichtbaren knorpeligen Anteile. Knorpel ist im Röntgenbild nur indirekt sichtbar. Demnach führt das Wachstum der knorpeligen Strukturen zu der scheinbaren Gelenkspaltvergrößerung im Röntgenbild.

Ein weiterer Grund für die Annahme, dass es sich um echtes Wachstum handelt, ist die Tatsache, dass sich der Kopf im Verlauf der Krankheit nie wieder verkleinert, was im Falle eines Anschwellens der Fall sein müsste. Der erkrankte Hüftkopf verkleinert sich im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite lediglich relativ betrachtet, da die nicht betroffene Gegenseite ihr physiologisches Wachstum fortsetzt und die absoluten Größen sich dadurch einander angleichen. Dies geht aus den von Lange (1997) mehrfach durchgeführten MRT-Verlaufskontrollen ihrer Probanden in Bezug auf den MSD hervor. Da wir zeigen

konnten, dass eine große Korrelation zwischen dem MSD und dem tatsächlichen Hüftkopfvolumen besteht, schließen wir daraus, dass dies auch für die absolute Größe des Kopfes, gemessen anhand des Volumens, zutrifft.

Diese Beobachtungen werfen die Frage auf, ob nicht lokal ausgeschüttete Wachstumsfaktoren für die Größenzunahme verantwortlich sein könnten, weil der Knorpel lediglich durch Diffusion an einem Stoffaustausch teilnimmt. Ein weiterer Hinweis auf das Vorhandensein dieser Wachstumsfaktoren innerhalb der Kapsel sind neben unseren die Beobachtungen von Maas (Clarfeld 2002, persönliche Mitteilung von Maas), der feststellte, dass sich szintigraphisch in der Revaskularisierungsphase nicht nur der Kopf durch eine deutliche Mehrbelegung auszeichnet, sondern auch die Pfanne. Dabei handelt es sich jedoch nicht nur um ein durch den gesteigerten Knochenstoffwechsel hervorgerufenes Wachstum. Hall Rush et al. (1988) beschreiben in ihrer Studie eine Dickenzunahme des Pfannenknorpels um 92 – 116% im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite! Diese und unsere Beobachtungen hinsichtlich einer sich vergrößernden Pfanne im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite wie auch im Vergleich mit der hüftgesunden Kontrollgruppe widersprechen der Aussage Ueos et al. (1987). Sie beschreiben in ihrer Arbeit, dass „das Knorpelvolumen eines Kugelgelenks nicht leicht verändert werden kann“ und die „Schwellung deshalb einen merklichen Druck innerhalb des Schenkelkopfes ausübt“. Aus unseren Ergebnissen geht hervor, dass sich die knorpeligen Anteile sowohl des Hüftkopfes wie auch der Hüftpfanne sogar stark verändern und beide Anteile in der Lage sind, sich zum Teil massiv zu vergrößern. Aus diesem Grund müssen sich die von uns vermuteten Wachstumsfaktoren in der die Kapsel ausfüllenden Flüssigkeit befinden und wirken folglich auf alle knorpeligen Anteile des betroffenen Hüftgelenks. Ob es sich dabei um in der Synovialflüssigkeit befindliche Faktoren handelt, die aktiviert werden, oder diese aus den ödematösen Flüssigkeitsansammlungen hervorgehen, bedarf weiterer Untersuchungen. Howorth beschrieb bereits 1948 anhand intraoperativer Beobachtungen, dass sowohl die *Membrana synovialis* als auch die gesamte Gelenkkapsel „hyperemic and edematous“ imponieren. So könnten die von uns vermuteten Wachstumsfaktoren durch diese vermehrte Blutfüllung herbei transportiert und durch die Entstehung des Ödems in die Kapsel gelangen.

Zusammenfassend scheint es, als würden immer alle knorpeligen Strukturen des Hüftgelenks einheitlich auf die lokalen Geschehnisse reagieren.
Die Frage bleibt, ob ein sich vergrößernder Hüftkopf die Pfanne aufweitet, oder aber eine sich vergrößernde Pfanne die Volumenausbreitung des Kopfes zulässt.

5 Zusammenfassung

Schon von den Erstbeschreibern des M. Perthes wurde vor fast 100 Jahren darauf hingewiesen, dass die Erkrankung mit einer Hüftkopfvergrößerung einhergeht. Röntgenologisch wurde später der Begriff der *Coxa magna* geprägt.
Exakte Volumenbestimmungen des Hüftkopfes wie auch der Pfanne fehlen jedoch bis heute.

Ziel der Arbeit waren MR-basierte Volumenbestimmungen von erkrankten Hüften und der nicht betroffenen Gegenseite. Zum Vergleich wurden Daten bei hüftgesunden Kindern erhoben.
Retrospektiv wurden MRT-Aufnahmen von insgesamt 266 Kinderhüften ausgewertet. Folgende Parameter wurden bestimmt:

- Hüftkopfvolumen
- Hüftpfannenvolumen
- Maximaler Querer Durchmesser (MQD)
- Maximaler Schräger Durchmesser (MSD)
- Knorpeliges Containment.

Wesentliche Ergebnisse:
1. Normwerte für das Hüftkopfvolumen, das Hüftpfannenvolumen, den Maximalen Queren und Maximalen Schrägen Durchmesser (MQD und MSD) sowie für das knorpelige Containment von hüftgesunden Kindern konnten ermittelt werden.

2. Für die erkrankten Hüften wurden in den verschiedenen Altersgruppen mittlere Volumenwerte für den Hüftkopf von 26,6 bis 54,1 ccm ermittelt, entsprechend einem Durchschnittsvolumen von 37,9 ccm. Der nicht betroffene Hüftkopf hatte ein Durchschnittsvolumen von 25,9 ccm. Daraus ergibt sich eine mittlere Volumenzunahme von 12,0 ccm, entsprechend 46%.
Der Vergleich mit dem Durchschnittsvolumen des Hüftkopfes hüftgesunder Kinder ergibt eine mittlere Volumenzunahme von 11,3 ccm, entsprechend 43%.
Wir sahen absolute Volumenzunahmen von über 80 % (Maximum 90,5 %!).

2. Für die erkrankten Hüften wurden in den verschiedenen Altersgruppen mittlere Volumenwerte für die Hüftpfanne von 9,5 bis 17,2 ccm ermittelt, entsprechend einem Durchschnittsvolumen von 13,2 ccm. Die Pfanne der nicht betroffenen Gegenseite hatte ein Durchschnittsvolumen von 11,0 ccm. Daraus ergibt sich eine mittlere Volumenzunahme von 2,2 ccm, entsprechend 20,1%.
Der Vergleich mit dem Durchschnittsvolumen der Hüftpfanne hüftgesunder Kinder ergibt eine mittlere Volumenzunahme von 1,6 ccm, entsprechend 13,9%.

3. MQD und MSD waren beide durchschnittlich 18,7% größer als auf der nicht betroffenen Seite und 17,9% größer als bei hüftgesunden Kindern.

4. Erwartungsgemäß verringerte sich das knorpelige Containment auf der erkrankten Seite, und zwar um durchschnittlich 9,3% im Vergleich zur nicht betroffenen Gegenseite, bzw. um 6,7% im Vergleich zu den Hüften hüftgesunder Kinder.

5. MQD- und MSD-Werte korrelieren hochsignifikant mit dem Kopfvolumen ($p<0,01$). In der Praxis kann man von diesen relativ einfach zu bestimmenden Werten auf das Kopfvolumen schließen.

Mit den gewonnenen Daten lässt sich eindrücklich belegen, dass der M. Perthes regelhaft mit einer erheblichen Kopfvergrößerung einhergeht (ermitteltes Maximum 68%!). Das Pfannenvolumen nimmt nicht im gleichen Maße zu, so dass bei der Erkrankung von einem chronischen Missverhältnis zwischen Kopf- und Pfannengröße ausgegangen werden muss.
Daraus ergibt sich ein besseres Verständnis des M. Perthes:
Die Veränderungen der Gelenkgeometrie sind offensichtlich bedeutsamer als die Veränderungen der Morphologie in Zusammenhang mit der Epiphysionekrose.
Darüber hinaus ergeben sich Ansätze für eine rationale Therapie der Erkrankung:

A. Verhinderung bzw. Minderung der knorpeligen Vergrößerung des Hüftkopfes
B. Förderung der Vergrößerung der Hüftpfanne.

Literaturverzeichnis

Bauer R, Jünger H (1974). Die Intertrochantäre Varisierungsosteotomie zur Behandlung des M. Perthes. Arch OrthopTraum Surg, 79,187

Blome KH (2006). Metaanalyse zur Therapie des M. Perthes. Med Dissertation. Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Brinkmann M, Lemke A, Pascher A, Sauer IM, Steinmüller T, Niehues SM, Neuhaus P, Felix R (2002). Präexplantatorische MRT-Volumetrie des rechten Leberlappens bei Leberlebendspendern. RoeFo 2002 Wissenschaftliches Vortragsprogramm VO63

Burwell RG (1978) Perthes disease (Editorial). J Bone Joint Surg [Br] 60:1-3

Caan P (1924) Osteochondritis deformans juvenilis coxae, coxa plana, Calvé-Legg-Perthes Krankheit. Ergebn d Chir u Orthop 17:64

Calvé J (1910) Sur une forme particulière de pseudocoxalgie grefée sur déformations caractéistique de l´extrémité supérieure du fémur. Rev Chir 42:54

Catterall A (1971) The natural history of Perthes' disease. J Bone Joint Surg. 53-B 37

Catterall A (1980) Natural history, classification and x-ray signs in Legg-Calvé-Perthes disease. Acta Orthop Belg 46/4:346-351

Catterall A, Pringle J, Byers PD, Fulford GE, Kemp HB, Dolman CL, Bell HM, McKibbin B, Ralis Z, Jensen OM, Lauritzen J, Ponseti IV, Ogden J (1982) A review of the morphology of Perthes' disease. J Bone Joint Surg Br. 64(3):269-75

Catterall A, Pringle J, Byers PD, Fulford GE, Kemp HB (1982) Perthes' disease: is the epiphysial infarction complete? J Bone Joint Surg Br. 64(3):276-81

Catterall A (1982a) Legg-Calvé-Perthes-Disease. Current problems in Orthopedics, Churchill-Livingstone; Edinburgh, London, Melbourne, New York

Chrysikopuolos H, Press G, Grafe M, Hesselink JR, Wiley CA (1990) Encephalitis caused by HIV: CT and MR Imaging manifestations with Clinical and Pathological Correlation. Radiology 175: 185-1991

Clarfeld L (2003) Ein neuer Ansatz in der Behandlung des M. Perthes: Durchtrennung des Ligamentum transversum acetabuli. Ergebnisse einer Pilotstudie. Med. Dissertation. Universität Hamburg

Dustmann et al. HO, Schulitz KP (1998) M. Perthes: Ätiopathologie, Differentialdiagnose, Therapie und Prognose. 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin

Friedlinger, M (1999) Automatisierte Segmentierung und Volumetrie bispektraler Magnetresonanz-Bilddaten des Gehirns. PhD thesis. Universität Heidelberg

Fritz J (2005) Magnetresonanz-gesteuerte Infiltration der Sakroiliakalgelenke bei Patienten mit therapierefraktärer Sakroiliitis. Med. Dissertation. Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Ghebontni L, Roger B, El-khoury J, Brasseur JL, Grenier PA (2000) MR arthrography of the hip: normal intra-articular structures and common disorders. Eur Radiol 10, 83-88

Gigante C, Frizziero P, Turra S (2002) Prognostic value of Catterall and Herring classification in Legg-Calvé-Perthes disease: follow-up to skeletal maturity of 32 patients. J Pediatr Orthop 22(3):345-9.

Glimcher MJ, Kenzora JE (1979) The biology of osteonecrosis of the human femoral head and its clinical implications. Clin Orthop 140: 273-312

Gordon JE, Schoenecker PL, Osland JD, Dobbs MB, Szymanski DA, Luhmann SJ (2004) Smoking and socio-economic status in the etiology and severity of Legg-Calvé-Perthes' disease. J Pediatr Orthop B 13(6):367-70.

Hall Rush B, Bramson TB, Ogden JA (1988) Legg-Calvé-Perthes Disease: Detection of Cartilaginous and Synovial Changes with MR Imaging. Radiology 167:473 – 476

Harrison MHM, Turner MH, Jacobs P (1976) Skeletal immaturity in Perthes disease. J Bone Joint Surg [Br] 58:37

Harrison MHM, Burwell RG (1981) Perthes disease. A concept of pathogenesis. Clin Orthop 156:115

Heuck A, Lehner K, Schittich I, Reiser M (1988) Value of MR for the diagnosis, differential diagnosis and therapy follow-up of Perthes' disease. Rofo 148(2):189-94.

Heyman CH, Herndon CH (1959) Legg Perthes disease: a method for the measurement of the roentgenographic result. J Bone Joint Surg [Am] 32:767-778.

Howorth MB (1948) Coxa plana. J Bone Joint Surg [Am] 30: 601-620.

Illing S, Claßen M (2003) Klinikleitfaden Pädiatrie. 6. Aufl. Urban & Fischer, München, Jena

Jonsäter S, (1953) Coxa plana, a histopathologic and arthrographic study. Acta Orthop Scand [Suppl] 1

Kayser R, Franke J, Mahlfeld K (2003) Value of ultrasound diagnosis in Legg-Calve-Perthes disease. Schweiz Rundsch Med Prax 92(24):1123-7.

Kery L, Vizkelety IL, Wouters HW (1971) Recherches experiméntal à propos de l'effect de la stase veineuse sur l'os. Rev Chir Orthop 57:8.

Kim HK, Su PH, Qiu YS (2001) Histopathologic changes in growth-plate cartilage following ischemic necrosis of the capital femoral epiphysis. An experimental investigation in immature pigs. J Bone Joint Surg Am 83-A(5):688-97

Kim HK, Su PH (2002) Development of flattening and apparent fragmentation following ischemic necrosis of the capital femoral epiphysis in a piglet model. J Bone Joint Surg Am 84-A(8):1329-34.

Lange F (1997) Zur Coxa magna cartilaginea in der Frühphase des M. Perthes: Ergebnisse kernspintomographischer Untersuchungen und ihre Wertung. Med. Dissertation. Universität Hamburg

Legg AT (1910) An obscure affection of the hip-joint. Boston Med Surg J 162:202-204

Lemke AJ, Kazi I, Hosten N, Bechrakis NE, Foerster MH, Felix R (2003) MR-based volumetric analysis of small tumor volumes: accuracy of phantom examinations of simulated eye tumors. Rofo 175(7):958-62.

Levin C, Zalman L, Shalev S, Mader R, Koren A (2000) Legg-Calvé-Perthes disease, protein C deficiency, and beta-thalassemia major: report of two cases. J Pediatr Orthop 20(1):129-31

Maas R (2002) Persönliche Mitteilung in Clarfeld, L (2003) Med. Dissertation

Mayr NA, Taoka T, Yuh WT, Denning LM, Zhen WK, Paulino AC, Gaston RC, Sorosky JI, Meeks SL, Walker JL, Mannel RS, Buatti JM (2002) Method and timing of tumor volume measurement for outcome prediction in cervical cancer using magnetic resonance imaging. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1;52(1):14-22.

Meehan PL, Angel D, Nelson JM (1992) The Scottish rie abduction orthosis fort he treatment of Legg-Perthes disease. J Bone Joint Surg 74-A 2

Meiss AL (2001) MRT zur Diagnostik des Containment-Verlustes beim M. Perthes. Med Orth Tech 121:47-54

Meiss AL (2006) Persönliche Mitteilung

Meiss AL, Korn U, Lange F (1996) Cartilaginous Coxa magna in initial stage of LCP disease – MR findings of pathogenetic significance? 24th Pediatric Orthopedic International Seminar, San Francisco, USA

Meiss AL, Korn U, Maas R (1996). MRI for Detection of radiologically occult Legg-Calvé-Perthes disease. A priliminary report [Abstract]. 24th Pediatric Ortopedic International Seminar, San Francisco, USA

Meiss AL, Lund C (1997) The maximum oblique diameter (MOD) – a new parameter for decision making in Legg-Calvé-Perthes disease. 25th International Paediatric Orthopaedic Seminar, Chicago, USA

Perthes GC (1910) Über die Arthritis deformans juvenilis. Dtsch Chir. 107:111-159

Petersilge CA, Haque MA, Petersilge WJ, Lewin JS, Lieberman JM, Buly R (1996) Acetabular Labral Tears: Evaluation with MR Arthrography. Radiology 200: 231-235

Ritterbusch JF, Shantharam SS, Gelinas C (1993) Comparison of lateral pillar classification and Catterall classification of Legg-Calvé-Perthes' disease. J Pediatr Orthop 13(2):200-2.

Rösingh GE, James J (1969) Early phases of avascular necrosis of the femoral head in rabbits. J Bone Joint Surg [Br] 51:165-174

Rösingh GE, Steendijk R, Van den Hooff A, Oosterhoff J (1969) Consequences of avascular necrosis of the femoral head in rabbits. J Bone Joint Surg [Br] 51:551-562

Rominger MB, Kluge A, Bachmann GF (2004) Biventricular MR volumetric analysis and MR flow quantification in the ascending aorta and pulmonary trunk for quantification of valvular regurgitation. Rofo176(3):342-9.

Salter, RB (1961) The classic. Innominate osteotomy in the treatment of congenital dislocation of the hip. Clin Orthop 137 (1978) 2-14 Reprinted with permission from Salter RB. J Bone Joint Surg [Br] 43:3:518

Salter RB (1984) The Present Status of Surgical Treatment for Legg-Calvé-Perthes Disease. J Bone Joint Surg 66(6)A: 961-966

Sanchis MD, Zahir A, Freeman MAR (1973) The experimental simulation of Perthes' Disease by consecutive interruption of the blood supply to the capital femoral epiphysis in the Puppy. J Bone Joint Surg 55-A :335

Savvides E, Löer F (1992) Ein Behandlungsprinzip mit fragwürdiger Wirksamkeit bei Morbus Perthes. Z Orthop 130, 120

Schwarz E (1914) Eine typische Erkrankung der oberen Femurepiphyse. Beitr Klein Chir 93:1

Stücker MH, Buthmann J, Meiss AL (2005) Evaluation of hip containment in Legg-Calvé-Perthes disease: a comparison of ultrasound and magnetic resonance imaging. Ultraschall Med 26(5):406-10.

Trueta J (1957) The normal vascular anatomy of the human femoral head during growth. J Bone Joint Surg [Br] 39:358

Tsao AK, Dias LS, Conway JJ, Straka P (1997) The Prognostic Value and Significance of Serial Bone Scintigraphy in Legg-Calvé-Perthes Disease. J Pediatr Orthop 17(2):230-239

Tschauner C (1997) Die Hüfte – Diagnostik und Therapie großer Gelenke. Auflage 1997-12, Ferdinand Enke Verlag,

Ueo T, Tsutsumi S, Yamamuro T, Okumura H, Shimizu A, Nakamura T (1985) Biomechanical Aspects of the Development of Aseptic Necrosis of the Femoral Head. Arch Orthop Trauma Surg 104, 145-149

Ueo T, Tsutsumi S, Yamamuro T, Okumura H (1987) Biomechanical analysis of Perthes' disease using the finite element method: the role of swelling of articular cartilage. Arch Orthop Trauma Surg 106(4):202-8.

Vizkelety T, Wouters HW (1969 a) Recherches experimentales sur le dévelopment de la nécrose aseptiques ischémiques de l'os. Rev Chir Orthop 55:40

Vizkelety T, Wouters HW (1969 b) Recherches experimentales sur le dévelopment de la crise ischémique de l'os. Rev Chir Orthop 55:603-614

Waldenström H (1909) Der obere tuberculöse Collumherd. Z Orthop Chir 24:487

Anhang

5.1 Messergebnisse

Anhang I Kopfvolumen hüftgesunder Kinder in ccm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	9 Jahre
13,02	11,11	19,72	19,84	23,71	23,72
13,55	16,20	21,34	21,17	26,43	24,92
14,25	16,44	22,27	21,44	27,19	27,47
14,41	16,80	22,69	21,54	27,26	27,53
14,79	17,84	22,92	22,41	27,28	28,81
15,30	18,18	23,55	22,43	27,46	29,37
15,67	18,30	24,85	22,87	28,86	29,57
16,50	18,45	25,85	23,06	29,17	30,61
16,74	19,23	27,45	23,91	29,52	30,89
16,95	19,25	27,47	25,26	30,18	31,23
16,97	19,32	27,54	25,37	30,29	31,77
17,25	20,16	27,75	25,45	31,18	32,54
17,52	20,23	27,86	26,32	31,76	33,33
17,60	20,87	27,98	26,52	31,87	33,63
17,73	21,12	28,28	26,75	32,35	34,26
17,91	22,01	29,28	26,81	33,14	36,76
19,86	22,53	29,42	27,88	33,26	36,83
20,34	23,45	29,98	28,07	33,94	38,87
21,01	23,60	31,16	29,02	35,21	39,79
21,75	24,34	32,12	30,91	37,90	41,08
21,93	24,80	32,73	32,84	38,67	43,32
22,02	26,63	37,28	33,15	40,60	43,88
22,60	27,51	37,42	33,21	40,81	44,38
22,83	29,50	37,68	33,34	41,80	44,93

Anhang II Pfannenvolumen hüftgesunder Kinder in ccm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
5,10	5,93	9,16	7,58	10,24	10,93
5,11	6,45	9,38	8,02	10,81	12,83
5,53	6,67	9,63	8,19	11,73	12,84
5,54	7,11	9,83	8,33	11,96	12,85
5,95	7,55	9,87	8,87	12,00	13,02
6,15	7,63	10,40	9,05	12,01	13,96
6,24	7,75	10,55	9,31	12,19	14,12
6,45	7,81	10,91	9,31	12,20	14,18
7,13	7,96	12,05	9,32	12,53	14,38
7,25	8,28	12,49	10,38	12,78	14,65
7,45	8,45	12,68	10,68	13,08	14,68
7,66	8,49	12,80	10,80	13,73	14,93
7,68	8,59	13,06	10,91	13,86	15,04
7,79	8,64	13,55	10,95	14,24	15,18
7,83	8,81	13,57	11,33	14,26	15,19
8,52	8,84	13,95	11,83	14,30	15,90
8,58	9,16	14,06	11,89	14,33	16,39
8,92	9,23	14,06	11,96	14,36	16,83
9,00	9,39	14,57	12,12	14,47	17,31
9,11	9,98	14,71	13,69	15,07	17,91
9,23	10,09	15,25	13,85	15,44	19,25
9,66	10,18	15,45	15,47	16,34	20,55
10,25	10,21	19,03	15,67	17,41	20,93
11,33	10,44	22,16	16,27	17,67	22,01

Anhang III Maximaler Querer Durchmesser (MQD) hüftgesunder Kinder in cm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
2,67	2,70	3,23	2,83	3,25	3,13
2,67	2,96	3,30	3,03	3,38	3,26
2,70	3,05	3,30	3,05	3,52	3,43
2,80	3,05	3,31	3,10	3,53	3,45
2,80	3,09	3,37	3,19	3,60	3,52
2,80	3,13	3,38	3,29	3,61	3,54
2,81	3,13	3,39	3,30	3,66	3,57
2,83	3,16	3,42	3,38	3,69	3,61
2,86	3,16	3,48	3,38	3,72	3,62
2,88	3,16	3,53	3,38	3,83	3,69
3,05	3,17	3,53	3,39	3,83	3,69
3,05	3,17	3,59	3,41	3,84	3,77
3,05	3,19	3,63	3,44	3,90	3,79
3,08	3,21	3,63	3,47	3,93	3,80
3,08	3,22	3,69	3,55	3,93	3,88
3,08	3,26	3,75	3,56	3,96	3,88
3,16	3,29	3,82	3,66	3,96	3,92
3,23	3,32	3,83	3,67	4,00	3,94
3,25	3,34	3,86	3,73	4,02	3,96
3,28	3,35	3,94	3,76	4,05	4,01
3,30	3,40	3,99	3,76	4,19	4,09
3,30	3,51	4,01	3,76	4,27	4,11
3,34	3,69	4,07	3,78	4,32	4,27
3,35	3,87	4,07	4,01	4,43	4,38

Anhang IV Maximaler Schräger Durchmesser (MSD) hüftgesunder Kinder in cm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
3,00	3,04	3,46	3,19	3,49	3,67
3,04	3,14	3,48	3,37	3,55	3,68
3,04	3,18	3,50	3,40	3,75	3,79
3,10	3,23	3,55	3,44	3,83	3,79
3,13	3,23	3,56	3,52	3,89	3,83
3,13	3,24	3,60	3,56	3,92	3,85
3,16	3,24	3,60	3,57	3,92	3,87
3,16	3,31	3,62	3,60	3,95	3,89
3,17	3,33	3,63	3,62	3,97	3,99
3,20	3,37	3,73	3,64	3,98	4,02
3,20	3,39	3,78	3,66	3,99	4,02
3,21	3,44	3,80	3,67	4,00	4,05
3,23	3,46	3,83	3,72	4,01	4,05
3,24	3,47	3,83	3,72	4,02	4,09
3,31	3,49	3,84	3,74	4,03	4,10
3,31	3,51	3,84	3,82	4,08	4,10
3,41	3,52	3,86	3,84	4,09	4,13
3,42	3,54	3,89	3,85	4,11	4,15
3,44	3,55	3,93	3,88	4,13	4,18
3,52	3,62	3,94	3,92	4,15	4,26
3,58	3,64	4,06	3,92	4,20	4,28
3,61	3,71	4,13	4,09	4,23	4,33
3,68	3,83	4,15	4,11	4,32	4,42
3,77	3,92	4,15	4,37	4,34	4,52

Anhang V Knorpeliges Containment hüftgesunder Kinder in %

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
70,82	76,29	80,70	80,97	74,55	77,55
77,85	76,68	82,93	84,59	79,68	83,38
82,50	84,86	86,12	86,98	82,34	84,01
85,07	85,11	86,27	87,68	82,51	84,82
85,71	86,08	86,97	87,84	82,96	84,84
86,23	88,33	87,96	89,05	84,72	86,34
87,64	88,96	89,09	89,11	85,42	86,60
88,06	89,10	89,09	89,89	86,39	86,74
88,79	89,70	89,43	90,43	86,42	88,95
90,85	89,76	90,91	90,98	86,67	88,96
92,14	89,78	91,74	91,28	86,72	89,71
92,66	90,37	92,17	92,80	87,00	89,78
94,12	91,72	92,60	93,51	87,21	92,47
94,30	92,02	93,19	93,65	90,30	92,77
94,43	92,79	95,18	93,77	90,91	94,12
94,48	94,59	95,26	94,41	91,22	94,63
94,85	94,67	96,26	94,52	91,67	94,89
95,13	96,12	96,48	94,85	94,89	95,66
96,43	98,99	96,51	98,03	95,57	96,23
97,78	99,02	96,69	99,06	96,21	96,72
100,00	99,12	97,30	100,00	96,92	97,24
100,00	100,00	100,00	100,00	97,54	100,00
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Anhang VI Kopfvolumen der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes in ccm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
17,87	16,32	17,58	26,94	26,61	40,42
21,12	17,18	22,10	26,96	28,52	47,33
26,52	23,04	23,57	30,77	33,32	50,70
26,91	23,59	26,41	32,80	35,44	52,44
27,58	26,26	28,63	35,87	35,56	79,35
32,37	29,41	28,82	36,74	40,53	
34,03	29,83	28,86	42,75	43,66	
	30,27	32,16	43,42	44,60	
	30,44	33,53	44,08	44,73	
	37,97	34,37	49,29	45,47	
	47,52	37,65	54,46	45,47	
	48,73	37,81		52,88	
	50,75	39,63		54,35	
	51,58	55,38		56,82	
				57,43	

Anhang VII Pfannenvolumen der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes in ccm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
7,11	6,87	7,86	10,37	10,79	13,78
7,13	7,76	10,98	11,67	12,03	14,77
9,01	7,82	11,12	12,28	12,76	16,37
9,59	9,00	11,12	13,00	13,47	17,32
10,30	9,07	11,96	13,21	13,58	23,86
11,54	9,26	12,02	13,46	13,73	
11,76	9,80	12,14	13,88	14,27	
	10,22	12,66	15,35	14,38	
	10,47	12,81	16,42	14,45	
	13,31	12,86	16,62	14,52	
	13,98	13,13	16,81	16,41	
	14,18	13,42		16,66	
	15,07	13,70		17,12	
	16,74	18,95		19,56	
				24,46	

Anhang VIII Maximaler Querer Durchmesser (MQD) der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes in cm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
3,17	3,11	2,87	3,77	3,54	3,68
3,31	3,32	3,04	3,79	3,70	4,51
3,66	3,34	3,38	3,86	3,95	4,61
3,69	3,61	3,43	4,04	3,95	4,80
3,92	3,64	3,45	4,09	4,01	5,82
3,96	3,77	3,63	4,10	4,17	
4,12	3,79	3,79	4,11	4,26	
	3,83	3,81	4,26	4,26	
	4,03	3,93	4,35	4,38	
	4,43	3,93	4,41	4,62	
	4,43	4,10	4,51	4,98	
	4,51	4,16		4,99	
	4,64	4,38		5,04	
	4,81	5,36		5,13	
				5,18	

Anhang IX Maximaler Schräger Durchmesser (MSD) der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes in cm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
3,30	3,43	3,39	3,97	3,67	4,52
3,33	3,52	3,68	4,11	3,75	4,85
3,41	3,58	3,73	4,15	4,15	4,90
3,76	3,74	3,94	4,26	4,17	5,02
3,78	3,75	4,01	4,40	4,22	6,43
4,21	3,78	4,05	4,47	4,41	
4,24	3,78	4,06	4,57	4,73	
	3,96	4,33	4,57	4,75	
	3,99	4,36	4,62	4,82	
	4,75	4,36	4,74	4,93	
	4,92	4,44	4,98	4,98	
	5,02	4,62		5,03	
	5,11	4,67		5,08	
	5,11	5,00		5,12	
				5,26	

Anhang X Knorpeliges Containment der erkrankten Seite
von Kindern mit M. Perthes in %

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
75,49	69,58	72,01	65,03	71,03	70,38
79,29	72,69	76,84	78,40	74,41	84,04
81,84	74,50	79,61	81,27	77,71	84,36
84,29	78,36	80,77	84,90	81,29	86,77
84,97	79,52	81,07	87,76	84,56	87,50
85,97	81,17	81,79	88,05	87,35	
97,79	81,32	88,12	90,22	87,98	
	84,86	89,80	90,69	89,55	
	85,60	89,90	94,16	90,14	
	86,35	92,39	95,17	90,64	
	87,73	93,61	99,51	93,44	
	88,10	93,66		94,43	
	91,87	95,67		94,86	
	99,10	100,00		95,44	
				97,26	

Anhang XI Kopfvolumen der nicht betroffenen Seite von Kindern mit M. Perthes in ccm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
15,86	13,76	14,82	19,77	15,36	29,12
16,08	15,38	17,71	22,26	21,85	29,87
16,80	17,40	18,93	23,29	24,48	33,76
17,60	20,60	20,06	24,28	25,31	43,69
18,63	22,49	20,64	24,31	28,35	47,35
	24,91	21,69	25,77	28,40	
	24,94	22,11	28,35	29,80	
	26,87	23,15	30,26	30,36	
	27,86	23,65	31,37	31,65	
	31,14	26,54	31,68	33,62	
		26,64	33,75	33,65	
		34,35		37,47	
				45,47	

Anhang XII Pfannenvolumen der nicht betroffenen Seite von Kindern mit M. Perthes in ccm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
6,46	6,03	7,01	9,55	8,04	11,58
6,73	6,90	8,03	9,56	9,57	12,58
7,58	7,68	8,17	10,02	10,94	14,12
7,67	8,03	9,17	10,81	11,32	15,21
8,18	9,18	9,45	11,84	11,36	16,42
	9,42	9,48	11,99	11,88	
	9,96	9,67	12,60	12,75	
	10,52	10,53	12,74	13,27	
	12,16	11,08	12,98	14,16	
	12,31	11,38	15,03	15,07	
		11,85	15,39	15,79	
		13,59		17,41	
				22,85	

Anhang XIII Maximaler Querer Durchmesser (MQD) der nicht betroffenen Seite von Kindern mit M. Perthes in cm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
2,68	2,84	2,57	3,15	2,70	3,79
3,00	3,01	3,04	3,22	3,14	3,79
3,06	3,09	3,09	3,29	3,27	3,85
3,09	3,11	3,13	3,37	3,28	4,04
3,22	3,16	3,20	3,46	3,53	4,05
	3,17	3,25	3,58	3,59	
	3,42	3,25	3,66	3,83	
	3,58	3,42	3,73	3,94	
	3,80	3,55	3,75	3,98	
	3,90	3,66	3,98	4,06	
		3,66	4,00	4,07	
		3,69		4,26	
				4,59	

Anhang XIV Maximaler Schräger Durchmesser (MSD) der nicht betroffenen Seite von Kindern mit M. Perthes in cm

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
3,06	3,07	3,01	3,29	3,10	3,70
3,17	3,19	3,06	3,35	3,30	4,05
3,25	3,38	3,38	3,49	3,61	4,14
3,32	3,41	3,38	3,64	3,80	4,22
3,38	3,46	3,51	3,70	3,82	4,61
	3,50	3,53	3,74	3,97	
	3,77	3,59	3,79	3,98	
	3,81	3,59	3,97	3,99	
	3,89	3,61	4,00	4,06	
	4,11	3,82	4,05	4,12	
		3,83	4,08	4,13	
		3,95		4,13	
				4,29	

Anhang XV Knorpeliges Containment der nicht betroffenen Seite von Kindern mit M. Perthes in %

4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7Jahre	8 Jahre	9 Jahre
81,67	84,24	80,12	79,23	85,93	87,13
83,96	91,23	81,25	84,97	86,35	90,62
91,93	95,79	85,63	95,17	88,67	93,93
96,44	98,72	85,94	95,96	90,20	95,25
100,00	99,21	90,46	96,82	91,08	97,14
	100,00	92,61	97,95	93,12	
	100,00	92,92	100,00	94,09	
	100,00	98,59	100,00	94,52	
	100,00	98,63	100,00	94,62	
	100,00	100,00	100,00	97,72	
		100,00	100,00	100,00	
		100,00		100,00	
				100,00	

5.2 t-Test Ergebnisse

Die Anhänge XVI – XX zeigen die t-Test Ergebnisse aus dem Vergleich der Parameter hüftgesunder Kinder mit den Parametern der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes. Signifikante Ergebnisse (für p<0,05) sind als solche mit einem * gekennzeichnet.

Anhang XVI Kopfvolumen

	Hüftgesunde Kinder			erkrankte Seite von Kindern mit M. Perthes			Ergebnisse des t-Tests		
Kopf	Anzahl n	Mittelwert	SD	Anzahl n	Mittelwert	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	24	17,85	3,02	7	26,63	5,71	-5,466	29,00	0,000*
5 Jahre	24	20,74	4,11	14	33,06	12,22	-3,653	14,73	0,002*
6 Jahre	24	28,11	4,94	14	31,89	9,27	-1,415	17,38	0,175
7 Jahre	24	26,23	4,15	11	38,55	9,02	-4,325	11,99	0,001*
8 Jahre	24	32,08	4,95	15	43,03	9,76	-4,032	18,56	0,001*
9 Jahre	24	34,15	6,29	5	54,05	14,87	-2,938	4,30	0,039*

Anhang XVII Pfannenvolumen

Pfanne	Hüftgesunde Kinder			erkrankte Seite von Kindern mit M. Perthes			Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert	SD	Anzahl n	Mittelwert	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	24	7,64	1,68	7	9,49	1,89	-2,490	29,00	0,019*
5 Jahre	24	8,49	1,24	14	10,97	3,10	-2,870	15,47	0,011*
6 Jahre	24	13,05	3,08	14	12,48	2,37	0,594	36,00	0,556
7 Jahre	24	11,07	2,48	11	13,92	2,14	-3,274	33,00	0,002*
8 Jahre	24	13,63	1,91	15	15,21	3,36	-1,887	37,00	0,067
9 Jahre	24	15,66	2,80	5	17,22	3,96	-1,057	27,00	0,300

Anhang XVIII Maximaler Querer Durchmesser (MQD)

MQD	Hüftgesunde Kinder			erkrankte Seite von Kindern mit M. Perthes			Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert	SD	Anzahl n	Mittelwert	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	24	3,02	0,23	7	3,69	0,35	-6,100	29,00	0,000*
5 Jahre	24	3,23	0,23	14	3,95	0,54	-4,723	15,90	0,000*
6 Jahre	24	3,63	0,27	14	3,80	0,62	-1,005	15,94	0,330
7 Jahre	24	3,45	0,29	11	4,12	0,25	-6,627	33,00	0,000*
8 Jahre	24	3,85	0,29	15	4,41	0,55	-3,661	19,13	0,002*
9 Jahre	24	3,76	0,30	5	4,68	0,77	-4,609	27,00	0,000*

Anhang XIX Maximaler Schräger Durchmesser (MSD)

MSD	Hüftgesunde Kinder			erkrankte Seite von Kindern mit M. Perthes			Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert	SD	Anzahl n	Mittelwert	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	24	3,29	0,21	7	3,72	0,40	-2,72	7,05	0,030*
5 Jahre	24	3,43	0,22	14	4,17	0,65	-4,148	14,73	0,001*
6 Jahre	24	3,78	0,21	14	4,19	0,43	-3,282	16,71	0,004*
7 Jahre	24	3,72	0,26	11	4,44	0,30	-7,261	33,00	0,000*
8 Jahre	24	4,00	0,20	15	4,60	0,51	-4,406	16,87	0,000*
9 Jahre	24	4,04	0,22	5	5,14	0,74	-3,282	4,15	0,029*

Anhang XX Knorpeliges Containment

knorpeliges Containment	Hüftgesunde Kinder			erkrankte Seite von Kindern mit M. Perthes			Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert	SD	Anzahl n	Mittelwert	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	24	91,24	7,35	7	84,23	7,00	2,242	29,00	0,033*
5 Jahre	24	91,42	6,69	14	82,91	7,87	3,544	36,00	0,001*
6 Jahre	24	92,20	5,38	14	86,80	8,14	2,215	19,74	0,039*
7 Jahre	24	92,64	5,21	11	86,83	9,45	2,352	33,00	0,025*
8 Jahre	24	89,08	6,61	15	87,34	8,03	0,735	37,00	0,467
9 Jahre	24	91,10	6,05	5	82,61	7,00	2,786	27,00	0,010*

Die Anhänge XXI – XXV zeigen die t-Test Ergebnisse aus dem Vergleich der Parameter der nicht betroffenen (= gesunden) Seite mit den Parametern der erkrankten Seite von Kindern mit M. Perthes. Signifikante Ergebnisse (für p<0,05) sind als solche mit einem * gekennzeichnet.

Anhang XXI Kopfvolumen

	Kinder mit M. Perthes						Ergebnisse des t-Tests		
Kopf	Anzahl n	Mittelwert gesunde Seite	SD	Anzahl n	Mittelwert kranke Seite	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	5	16,99	1,14	7	26,63	5,71	-3,670	10,00	0,004*
5 Jahre	10	22,54	5,69	14	33,06	12,22	-2,824	19,49	0,011*
6 Jahre	12	22,52	5,05	14	31,89	9,27	-3,120	24,00	0,004*
7 Jahre	11	26,83	4,51	11	38,55	9,02	-3,857	14,71	0,002*
8 Jahre	13	29,67	7,42	15	43,03	9,76	-4,021	25,61	0,000*
9 Jahre	5	36,76	8,29	5	54,05	14,87	-2,270	6,27	0,053

Anhang XXII Pfannenvolumen

Pfanne	Kinder mit M. Perthes						Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert gesunde Seite	SD	Anzahl n	Mittelwert kranke Seite	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	5	7,32	0,71	7	9,49	1,89	-2,414	10,00	0,036*
5 Jahre	10	9,22	2,10	14	10,97	3,10	-1,545	22,00	0,137
6 Jahre	12	9,95	1,84	14	12,48	2,37	-3,004	24,00	0,006*
7 Jahre	11	12,05	2,00	11	13,92	2,14	-2,118	20,00	0,047*
8 Jahre	13	13,42	3,82	15	15,21	3,36	-1,325	26,00	0,197
9 Jahre	5	13,98	1,95	5	17,22	3,96	-1,641	8,00	0,139

Anhang XXIII Maximaler Querer Durchmesser (MQD)

MQD	Kinder mit M. Perthes						Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert gesunde Seite	SD	Anzahl n	Mittelwert kranke Seite	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	5	3,01	0,20	7	3,69	0,35	-3,896	10,00	0,003*
5 Jahre	10	3,31	0,35	14	3,95	0,54	-3,281	22,00	0,003*
6 Jahre	12	3,29	0,33	14	3,80	0,62	-2,579	24,00	0,016*
7 Jahre	11	3,56	0,29	11	4,12	0,25	-4,808	20,00	0,000*
8 Jahre	13	3,71	0,52	15	4,41	0,55	-3,462	26,00	0,002*
9 Jahre	5	3,90	0,13	5	4,68	0,77	-2,244	8,00	0,055

Anhang XXIV Maximaler Schräger Durchmesser (MSD)

MSD	Kinder mit M. Perthes						Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert gesunde Seite	SD	Anzahl n	Mittelwert kranke Seite	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	5	3,24	0,13	7	3,72	0,40	-2,601	7,59	0,018*
5 Jahre	10	3,56	0,33	14	4,17	0,65	-2,753	20,22	0,006*
6 Jahre	12	3,52	0,29	14	4,19	0,43	-4,535	22,63	0,000*
7 Jahre	11	3,74	0,28	11	4,44	0,30	-5,728	19,87	0,000*
8 Jahre	13	3,87	0,35	15	4,60	0,51	-4,401	24,74	0,000*
9 Jahre	5	4,14	0,33	5	5,14	0,74	-2,756	5,50	0,025*

Anhang XXV Knorpeliges Containment

knorpeliges Containment	Kinder mit M. Perthes						Ergebnisse des t-Tests		
	Anzahl n	Mittelwert gesunde Seite	SD	Anzahl n	Mittelwert kranke Seite	SD	t	df	Signifikanz p(t)
4 Jahre	5	90,80	7,87	7	84,23	7,00	1,523	10,00	0,159
5 Jahre	10	96,92	5,27	14	82,91	7,87	4,882	22,00	0,000*
6 Jahre	12	92,18	7,49	14	86,80	8,14	1,741	24,00	0,094
7 Jahre	11	95,46	6,96	11	86,83	9,45	2,438	20,00	0,024*
8 Jahre	13	93,56	4,96	15	87,34	8,03	2,419	26,00	0,023*
9 Jahre	5	92,81	3,97	5	82,61	7,00	2,836	8,00	0,022*

Danksagung

Mein herzlichster Dank gebührt an dieser Stelle zu allererst meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. A. L. Meiss für die Überlassung des interessanten Themas und seinem damit verbundenen, ansteckenden Enthusiasmus. Seine engagierte Unterstützung, wo und wann immer nötig, die immer freundliche und gelassene Art, vor allem im Umgang mit seinen kleinen Patienten, haben einen ganz besonderen und nachhaltigen Eindruck bei mir hinterlassen. Vielen Dank !

Danken möchte ich ebenfalls Herrn Privatdozent Dr. C. R. Habermann für die Betreuung dieser Arbeit seitens der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie. Ohne seine Hilfe, vor allem hinsichtlich des Umfahrens vermeintlicher Sackgassen und seiner Geduld, wäre das Zustandekommen dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Des Weiteren gilt mein ganz besonderer Dank all den so freundlichen und hilfsbereiten MitarbeiterInnen der Radiologischen Praxis Altona, insbesondere den Dres. Fünsterer und Wenzel, sowie Herrn Christian Blöcker, der stets Lösungen für scheinbar unlösbare Probleme finden konnte.

Und nicht zuletzt meinem lieben Vater für Korrekturlesungen, Beratungsgespräche, viele interessante Anregungen und die fortwährende Ermutigung.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Sintje Singerhoff,

geboren am 21. April 1979 in Herdecke

Schulische und Universitäre Laufbahn

1989 – 1998	Quenstedt-Gymnasium Mössingen
1996	Besuch der 11. Klasse in Kingsbridge, England
Juni 1998	Abitur
Oktober 2000	Aufnahme des Studiums der Humanmedizin an der Universität Hamburg
März 2003	Physikum
Mai 2004	Beginn der Promotionsarbeit
November 2007	2. Ärztliche Prüfung und Approbation
Dezember 2007	Promotion (Magna cum laude)

Praktika und klinische Erfahrungen

Juli 98 – Sept.1999	AuPair in Boston, Massachusetts Praktikum im Lowell General Hospital, Massachusetts, USA, Department of Obstretics and Neonatology
Okt. 99 – Sept.2000	Freiwilliges Soziales Jahr im Krankenhaus Rissen, Abteilung für Innere Medizin

Famulaturen während des Medizinstudiums

August 2003	Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Pädiatrie
März 2004	Landeskrankenanstalt Hermagor, Österreich, Unfallchirurgie
April 2005	University of Cape Town, Groote Schuur Hospital, Südafrika, Orthopaedic Surgery
Juni 2005	Kinderkrankenhaus Altona, Kinderchirurgie
September 2005	Harvard University, Massachussetts General Hospital, Paediatric Radiology

Tertiale im Praktischen Jahr

Innere Medizin	UKE Hamburg-Eppendorf
Kinderchirurgie	Kinderkrankenhaus Altona und Red Cross Children's Hospital, Kapstadt, Südafrika
Chirurgie	Spital Region Oberaargau, Langenthal, Schweiz
seit Juni 2002	Studentische Aushilfe im European Surgical Institue, Norderstedt
seit Mai 2004	Studentische Aushilfe in der Chirurgischen Notaufnahme des UKE Hamburg-Eppendorf

Publikationen

Poster: Singerhoff S., Habermann C. R., Meiss A. L., *MR-Volumetric Evaluation of the Femoral Head in Perthes' Disease,* 25th EPOS Meeting 2006, Dresden

Vortrag: Singerhoff S., Meiss A. L., Habermann C. R., *MR-basierte Hüftkopfvolumetrie beim Morbus Perthes und einem Normalkollektiv*, 20. Jahrestagung der Vereinigung für Kinderorthopädie 2006, Basel

Vortrag: Meiss A. L., Singerhoff S., Habermann C. R., *MR-Based Volumetric Analysis of the Femoral Head and the Acetabulum in Perthes' Disease,* 26th EPOS Meeting 2007, Sorrento

Vortrag: Singerhoff S., Meiss A. L., Habermann C. R., *Veränderungen des Hüftkopf- und Acetabulumvolumens beim Morbus Perthes – eine MR-basierte Analyse,* 21. Jahrestagung der Vereinigung für Kinderorthopädie 2007, Düsseldorf

Abstract: Meiss A. L., Singerhoff S., Habermann C. R., *MR-Based Volumetric Analysis of the Femoral Head and the Acetabulum in Perthes' Disease,* Journal of Children's Orthopaedics (2007), 1(1): S 33

Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.
Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Sintje Singerhoff