

Aus der Orthopädischen Klinik  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Rüdiger Krauspe

**Bestimmung der Lebensqualität  
und der dynamisch funktionellen Ergebnisse  
bei Kindern mit schwerem Morbus Perthes  
nach Containment-verbessernder Becken- und  
Femurosteotomie**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Nina Kristin Palmen

2016

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf

Erstgutachterin: Prof. Dr. med. Bettina Westhoff

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Tim Lögters

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Palmen NK, Zilkens C, Rosenthal D, Krauspe R, Hefter H, Westhoff B, (2014),  
Post-operative quality of life in children with severe Perthes disease: differences to  
matched controls and correlation with clinical function.  
Orthopedic Reviews, 6 (4):5567

Westhoff B, Palmen N, Rosenthal D, Zilkens C, Krauspe R, (2015),  
Is quality of life altered in LCPD-patients after intense surgery?  
J Child Orthop, 9 (Suppl 1):52–53

Westhoff B, Palmen N, Rosenthal D, Zilkens C, Krauspe R, (2014),  
Quality of life after intense surgery in patients with Perthes-Disease  
J Child Orthop, 8:526–527

Westhoff B, Rosenthal D, Palmen N, Krauspe R, Zilkens C, (2013),  
Change of gait pattern after pelvic osteotomy in children with Legg-Calve-Perthes Disease  
Gait & Posture, 38 (Suppl 1):1-2

## Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die gesundheitsbezogene Lebensqualität bei Kindern mit schwerer Verlaufsform des M. Perthes und komplexer Containment-verbessernder Operation (Becken- und Femurosteotomie) zu evaluieren und mit klinischen Befunden zu korrelieren. Bislang wurde der Aspekt Lebensqualität in Forschungsprojekten zum Morbus Perthes nicht hinreichend analysiert. Die Kinder erfahren jedoch erhebliche Einschränkungen in ihrem täglichen Leben. Dies bedeutet Sportverbot von gelenksbelastenden Sportarten (wie z. B. Fußball), regelmäßige Physiotherapie und ggf. die operative Therapie. Ein weiteres Ziel der Arbeit stellte dar, das Gangbild bei diesen Patienten funktionell und objektiv mittels instrumenteller Ganganalyse prä- und postoperativ zu untersuchen. Bislang wurden zur Beurteilung des Outcomes klinische und im Wesentlichen radiologische Kriterien herangezogen; funktionelle Kriterien wurden kaum berücksichtigt.

Siebzehn Kinder mit schwerem Krankheitsverlauf und ausgedehnter Operation erhielten postoperativ den KIDSCREEN-10 Fragebogen zur Evaluierung der Lebensqualität und den modifizierten Harris Hip Score (mHHS) zur Bestimmung der klinischen Funktion; dieser wurde auch präoperativ bestimmt. Als Vergleich dienten ein alters-entsprechendes Normalkollektiv von 63 Kindern und eine historische Kontrollgruppe der KIDSCREEN-group von 1658 Kindern. Zudem wurden mittels instrumenteller Ganganalyse prä- und postoperativ kinematische Daten und Weg-Zeit-Parameter erfasst und ausgewertet, die mit denjenigen eines Normalkollektivs bestehend aus 30 gesunden Kindern verglichen wurden.

Im Mittel 4,2 Jahre nach der komplexen Operation konnten exzellente klinische Ergebnisse und äußerst positive Resultate in Bezug auf die Lebensqualität erreicht werden.

Der KIDSCREEN-Score war bei den kranken Kindern höher als im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Der mHHS stieg signifikant von prä- zu postoperativ an. Signifikante Korrelationen zeigten sich zwischen dem präoperativen mHHS und dem postoperativen KIDSCREEN-Score. Mit Hilfe der instrumentellen Ganganalyse zeigte sich postoperativ bei den Weg-Zeit-Parametern eine signifikante Zunahme der Gehgeschwindigkeit und der Schrittlänge auf der betroffenen Seite. Der kinematische Vergleich der gesunden mit der erkrankten Seite zeigte postoperativ ein weitgehend symmetrisches Gangbild in der Sagittal- und Frontalebene. Während vor der umfangreichen Operation 10 Patienten ein Duchenne-ähnliches Bewegungsmuster aufwiesen, waren es postoperativ nur noch 3 Patienten. Der Hip-Flexor-Index normalisierte sich bei allen Patienten bis auf eine Ausnahme.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Kinder mit einer schweren Perthes Erkrankung nach Containment verbessernder Operation mittelfristig keine Beeinträchtigung in ihrer Lebensqualität aufweisen. Hierzu passend konnte ein gutes Ergebnis der klinischen Funktion mit geringerer Schmerzsymptomatik nachgewiesen werden. Die instrumentelle Ganganalyse zeigte eine signifikante Verbesserung und weitgehende Normalisierung des Gangbildes mit Wiederherstellung der Gangsymmetrie. Weitere Studien mit einem größeren Kollektiv müssen zeigen, ob sich die erfreulichen Ergebnisse der Lebensqualität, der klinischen Funktion und der Ganganalyse bestätigen lassen. Auch sollten durch weitere Studien funktionelle Prädiktoren für die Langzeitprognose inklusive der Entwicklung einer Sekundärarthrose ermittelt werden.

## **Abkürzungen**

|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| <b>HFI</b>     | Hip flexor index                    |
| <b>inv</b>     | involved= betroffene Seite          |
| <b>non-inv</b> | non-involved= gesunde Seite         |
| <b>LCPD</b>    | Legg-Calvé-Perthes disease          |
| <b>m</b>       | Meter                               |
| <b>m/s</b>     | Meter pro Sekunde                   |
| <b>max</b>     | maximal                             |
| <b>mHHS</b>    | modified Harris Hip score           |
| <b>ROM</b>     | range of motion= Bewegungsausschlag |
| <b>s</b>       | Sekunden                            |
| <b>°</b>       | Grad                                |

## Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Einleitung</b> .....  | 1  |
| 1.1 Morbus Perthes.....   | 1  |
| 1.1.1 Ätiologie und Pathogenese.....  | 1  |
| 1.1.2 Diagnostik.....   | 3  |
| 1.1.3 Therapie.....   | 4  |
| 1.1.3.1 Konservative Therapie.....  | 5  |
| 1.1.3.2 Operative Therapie.....   | 6  |
| 1.1.4 Prognose.....   | 7  |
| 1.2 Grundlagen des menschlichen Ganges.....   | 8  |
| 1.2.1 Der Gangzyklus.....   | 8  |
| 1.2.2 Ganganalyse.....  | 8  |
| 1.2.2.1 Weg-Zeit-Parameter.....   | 8  |
| 1.2.2.2 Kinematik.....  | 9  |
| 1.2.2.3 Kinetik.....  | 9  |
| <b>2. Ziele der Arbeit</b> .....  | 10 |
| <b>3. Material und Methodik</b> .....   | 11 |
| 3.1 Patienten-/Normalkollektiv.....   | 11 |
| 3.2 KIDSCREEN-10 Score.....   | 12 |
| 3.3 Modified Harris Hip Score.....  | 12 |
| 3.4 Instrumentelle Ganganalyse.....   | 12 |
| 3.4.1 Datenanalyse.....   | 14 |
| <b>4. Veröffentlichungen</b> .....  | 16 |
| 4.1 Publierte Originalarbeit.....   | 16 |
| Post-operative quality of life in children with severe Perthes disease:<br>differences to matched controls and correlation with clinical function,<br>Palmen NK, Zilkens C, Rosenthal D, Krauspe R, Hefter H, Westhoff B,<br>Orthopedic Reviews, 6 (4):5567, (2014) |    |
| 4.2 Vorträge.....   | 16 |
| <b>5. Ergebnisse</b> .....  | 21 |
| 5.1 Ergebnisse der Lebensqualitätsanalyse und der klinischen Funktion.....  | 21 |
| 5.2 Ergebnisse der Ganganalyse.....   | 21 |
| 5.2.1 Analyse der Weg-Zeit-Parameter.....   | 21 |
| 5.2.2 Analyse der kinematischen Parameter.....  | 22 |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2.3 Analyse des „Hip flexor index“ .....        | 27        |
| <b>6. Diskussion</b> .....                        | <b>28</b> |
| <b>7. Schlussfolgerungen</b> .....                | <b>33</b> |
| <b>8. Literatur- und Quellenverzeichnis</b> ..... | <b>34</b> |
| <b>9. Anhang</b> .....                            | <b>37</b> |

## **1. Einleitung**

### **1.1 Morbus Perthes**

Der Morbus Perthes ist eine komplexe kindliche Hüfterkrankung, die typischerweise Kinder im Grundschulalter betrifft. Auch heute noch ist der Morbus Perthes eine schwierig zu behandelnde Erkrankung des kindlichen Hüftgelenks, die die Gefahr einer frühzeitigen Sekundärarthrose birgt. Der Morbus Perthes zählt zu den aseptischen Osteochondrosen. Es handelt sich dabei um eine Durchblutungsstörung des Femurkopfes, die zu einer ischämischen Nekrose führt (1).

Die Erkrankung stellt nicht nur das Kind und seine Eltern vor eine Herausforderung, sondern auch den Kinderorthopäden und bedarf in jedem Einzelfall einer individuellen Problemlösung.

1910 wurde der Morbus Perthes erstmals von dem deutschen Chirurgen Georg Clemens Perthes (2), J. Calvé in Frankreich (3) und A. T. Legg in den Vereinigten Staaten (4) unabhängig voneinander beschrieben, wodurch sich vor allem im Angloamerikanischen die Bezeichnung „Legg-Calvé-Perthes disease (LCPD)“ durchgesetzt hat.

Der M. Perthes als orthopädische Kinderkrankheit manifestiert sich zwischen dem 4. und 10. Lebensjahr, wobei die Erkrankung eine Häufung im 5. und 6. Lebensjahr zeigt. Die Inzidenz der Erkrankung liegt bei 1:3000 bei Jungen und 1:11.000 bei Mädchen, Jungen sind somit ca. 4 mal häufiger betroffen (5). Der Morbus Perthes tritt deutlich häufiger in der weißen Bevölkerung, besonders in Europa und USA auf. Dunkelhäutige Kinder sind hingegen seltener betroffen (6,7). Bei ca. 5-18 % der Patienten tritt die Hüftkopfnekrose bilateral auf (5).

In der Vergangenheit wurden bereits viele Studien zur Aufdeckung der Pathogenese und Ätiologie des Morbus Perthes durchgeführt, die jedoch unterschiedliche Ergebnisse lieferten. Ebenso bestehen noch viele Kontroversen in Bezug auf das therapeutische Konzept.

#### **1.1.1 Ätiologie und Pathogenese**

Ätiologisch geht man davon aus, dass der Morbus Perthes auf eine Verminderung bzw. Unterbrechung der Blutgefäßversorgung der Femurkopfepiphyse zurückzuführen ist (8). Die Ursache der Minderversorgung ist bisher nicht eindeutig geklärt worden, so dass verschiedene Theorien (z. B. Gefäßtheorie, Theorie der intraartikulären und intraossären Druckerhöhung, Theorie des multifaktoriellen Vererbungsmodus) diskutiert werden (5,9,10).

Der Morbus Perthes zeigt pathogenetisch einen Verlauf in 5 Stadien, der durch Waldenström beschrieben wurde: Initial-, Kondensations-, Fragmentations-, Reparations- und Endstadium (11).

Im *Initialstadium* kommt es zu einer Zirkulationsstörung in der Epiphyse mit nachfolgender Ischämie. Die enchondrale Ossifikation des Epiphysenkerns wird verlangsamt und sistiert schließlich. Der Gelenkknorpel wächst währenddessen weiter, da er per diffusionem über die Synovialflüssigkeit ernährt wird. Es kann zu überschießendem Knorpelwachstum mit Verlust der Zentrierung des Hüftkopfes kommen (5).

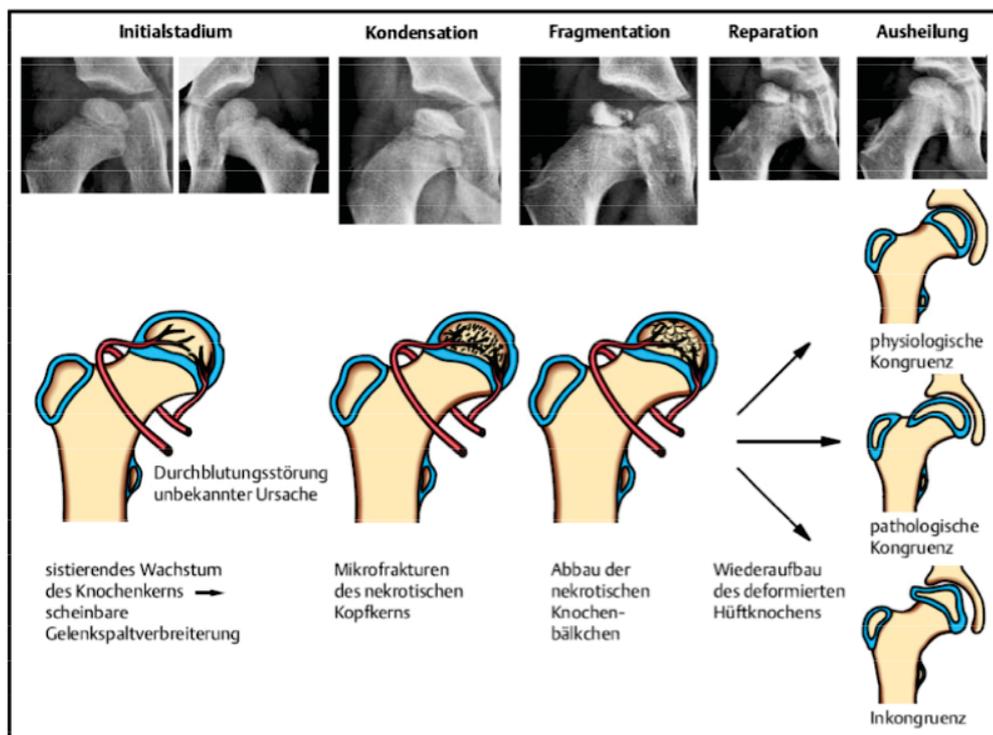
Im *Kondensationsstadium* kommt es zum nekrotischen Umbau des Epiphysenkerns und zur Ablagerung von neu gebildeten Faserknochen auf den nekrotischen Knochenbälkchen. Röntgenologisch zeigt sich eine Verdichtung des Femurkopfkerns.

Es schließt sich die Revaskularisation von peripher nach zentral an und die Nekrose wird resorbiert, wodurch es zur Fragmentation des Epiphysenkerns kommt („*Fragmentationsstadium*“). Es wird unreifer Geflechtknochen gebildet.

Der fließende Übergang ins *Reparationsstadium* ist gekennzeichnet durch die „biologische Plastizität“ des Hüftkopfes. In dieser Phase kann sich abhängig von auf den Hüftkopf einwirkenden Druckgradienten ein deformierter oder im günstigeren Fall ein sphärisch kongruenter Hüftkopf entwickeln (12).

Im *Endstadium* zeigt sich dann die endgültige Hüftkopfform mit sphärischer oder asphärischer Ausheilung. Bei fehlender Kongruenz der Gelenkflächen und Sphärizität des Hüftkopfes kann frühzeitig eine sekundäre Arthrose des Hüftgelenks entstehen (13) (Abb. 1 (14)).

**Abb. 1: Röntgenmorphologischer Verlauf der Perthes-Erkrankung mit zugehörigem pathomorphologischem Befund**



### 1.1.2 Diagnostik

Der Morbus Perthes präsentiert sich klinisch uncharakteristisch. Die erkrankten Kinder können über belastungs- und bewegungsabhängige Schmerzen im Hüftgelenk klagen, die oft in die Knieregion projiziert werden. Daraus resultiert häufig Bewegungsunlust und Schonhinken, das häufig auch das erste Symptom darstellt. In der klinischen Untersuchung fällt meist eine Einschränkung der Hüftbeweglichkeit in der Abduktions-, Innenrotations- und Extensionsfähigkeit auf. Des Weiteren kann es im Verlauf zu einer Atrophie der Oberschenkelmuskulatur und zu Adduktions- und Beugekontrakturen kommen (5).

Die Diagnose des Morbus Perthes kann letztlich in Zusammenschau der Anamnese, der klinischen Untersuchung und der röntgenologischen Befunde gestellt werden. Bei der klinischen Untersuchung werden das Gangbild, die Gelenkbeweglichkeit und der Muskelstatus beurteilt. Zum Ausschluss anderer differentialdiagnostischer Erkrankungen, wie zum Beispiel Coxitis fugax, werden labordiagnostisch die Entzündungsparameter und das Blutbild bestimmt.

Als wichtigste Untersuchungen zur Diagnosesicherung gelten die konventionellen Röntgenaufnahmen des Hüftgelenks in 2 Ebenen, eine Beckenübersichtsaufnahme in anterior-posterioren Strahlengang und eine Aufnahme in Lauensteinprojektion. Die Röntgenuntersuchung dient auch zur Klassifikation und Verlaufsbeobachtung (5). Röntgenradiologisch kann der Krankheitsverlauf nach *Waldenström* in die 5 o. g. Stadien eingeteilt werden (11).

Des Weiteren erfolgt eine Einteilung nach der Ausprägung der Hüftkopfbeteiligung anhand der *Catterall*-Klassifikation (Abb. 2a (14)) (1):

- 1: anterolateraler Quadrant betroffen
- 2: vorderes Drittel oder Hälfte des Femurkopfs betroffen
- 3: bis zu Dreiviertel des Femurkopfs betroffen
- 4: ganzer Femurkopf betroffen

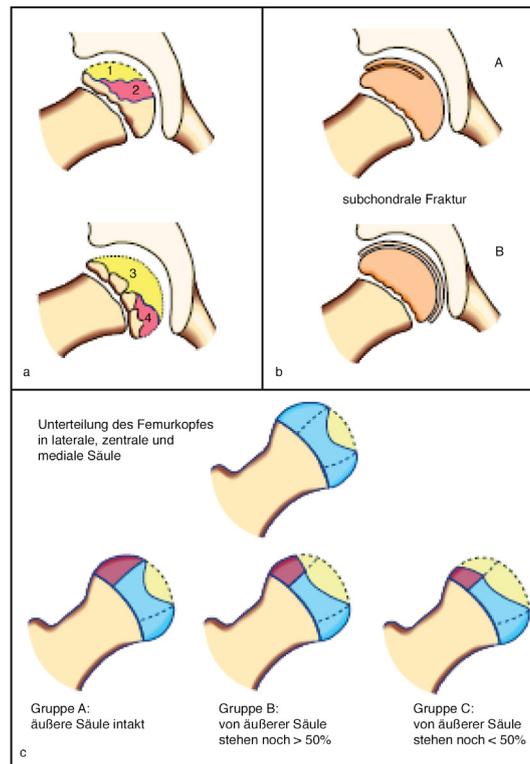
*Catterall* ergänzte diese Einteilung durch Risikozeichen („head at risk“): laterale Femurkopfsubluxation, horizontale Wachstumsfuge, ausgedehnte metaphysäre Beteiligung, Verkalkungen lateral der Epiphyse und das Gage-Zeichen (strahlentransparentes, V-förmiges Segment im äußeren Femurkopfanteil).

In der *Salter und Thompson* Klassifikation wird anhand der subchondralen Frakturlinie im Röntgenbild eine Einteilung in die Gruppen A (subchondrale Frakturen < 50% der Kopfkalotte) und B (subchondrale Frakturen > 50% der Kopfkalotte) vorgenommen (Abb. 2b (14)) (15).

Bei der *Herring*-Klassifikation wird nach der lateralen Epiphysenhöhe im Fragmentationsstadium eingeteilt (Abb. 2c (14)) (16):

- Herring A: die laterale Säule der Epiphyse ist nicht höhengemindert  
Herring B: die laterale Säule der Epiphyse ist um weniger als 50 % höhengemindert  
Herring C: die laterale Säule der Epiphyse ist um mehr als 50% höhengemindert

**Abb. 2: Klassifikation nach Catterall (a), Salter und Thompson (b) und Herring (c)**



Durch eine ergänzende *Sonografie* des Hüftgelenks ist es möglich, einen Hüftgelenkserguss und/oder eine Synovitis als Hinweis für den Reizzustand des Gelenks nachzuweisen oder auszuschließen. Die sonografische Untersuchung dient der Verlaufskontrolle des M. Perthes (17).

Mit Hilfe der *Magnetresonanztomografie* können morphologische Veränderungen wie zum Beispiel Hüftgelenkerguss, Knorpelhypertrophie oder Subluxationsstellung des Femurkopfes gezeigt werden. Sie besitzt eine hohe Spezifität und Sensitivität und eignet sich besonders zur Früherkennung des M. Perthes, wenn das Röntgenbild noch unauffällig ist (18,19).

Die *Skelettszintigrafie* als invasives Verfahren ist aufgrund der hohen Strahlenbelastung und der geringeren Spezifität der Kernspintomografie deutlich unterlegen und ist heutzutage in der Diagnostik des M. Perthes nicht mehr indiziert (5).

### 1.1.3 Therapie

Der Morbus Perthes ist eine Erkrankung, die immer von selbst ausheilt. Neben der symptomatischen Behandlung des Schmerzes und der Bewegungseinschränkung stellt das wichtigste Behandlungsziel die Vermeidung einer präarthrotischen Deformität des Hüftkopfes und einer darauf folgenden sekundären Coxarthrose dar. Das allgemein

anerkannte Behandlungsprinzip des Containments strebt eine Wiederherstellung der Zentrierung des Hüftkopfs und der Gelenkkongruenz an (5). Dadurch soll der Erhalt bzw. die Wiedergewinnung der Schmerzfreiheit, Funktion und Mobilität gewährleistet werden.

Grundsätzlich unterscheidet man konservative von operativen Therapieverfahren. Die Therapiewahl hängt ab vom klinischen Befund (Bewegungseinschränkungen, Schmerzen), vom Alter des Patienten, vom Stadium der Erkrankung und dem Vorhandensein von Hüftkopfrisikozeichen. Die Behandlung sollte im Stadium der biologischen Plastizität, also im Fragmentations- oder frühen Reparationsstadium erfolgen, um das Remodellierungspotenzial des Hüftkopfs zu nutzen und die oben genannten Folgen zu verhindern (20).

Vor Einleitung einer Therapie sollte immer ein ausführliches Aufklärungsgespräch über den natürlichen Verlauf der Erkrankung, dessen Beeinflussbarkeit und die unterschiedlichen Therapieoptionen erfolgen. Zusätzlich sollte auf die Notwendigkeit regelmäßiger orthopädischer Kontrollen und gelenkschonende Sportmöglichkeiten wie zum Beispiel Schwimmen und Fahrradfahren hingewiesen werden (21).

### **1.1.3.1 Konservative Therapie**

Bei niedrigem Catterall-Stadium, fehlenden Risikofaktoren und geringen Schmerzen kann die Behandlung zunächst aus Belastungsreduktion und kontrollierter Observation bestehen. Es wird empfohlen, Extrem- und Sprungbelastungen zu vermeiden. So sollten die Kinder insbesondere auf Sprung- und Stoßsportarten wie zum Beispiel Fußball, Basketball und andere Ballsportarten verzichten. Gegen leichte sportliche Betätigung wie Schwimmen und Fahrradfahren mit viel Bewegung ohne Belastung bestehen keine Einwände (5).

Ergänzende konservative Behandlungsmethoden stellen die Physiotherapie (Erhalt bzw. Wiederherstellung der Gelenkbeweglichkeit, Reduktion des reflektorisch erhöhten Muskeltonus), Entlastung mittels Unterarm-Gehstützen, Extensionsbehandlungen und die analgetisch-antiphlogistische Therapie dar (22). Als ergänzende Maßnahme zur Physiotherapie kann bei kontrakter Adduktorenmuskulatur auch die Anwendung von Botulinumtoxin zur Verbesserung der Abspreizfähigkeit in Erwägung gezogen werden (21).

In der Vergangenheit wurden während der gesamten Erkrankungsdauer Orthesenbehandlungen, Gipsruhigstellungen und Bettruhe durchgeführt, was zu Immobilisations-Schäden an Gelenken und Muskeln, sozialer Ausgrenzung der Kinder und starker psychischer Belastung geführt hat. Des Weiteren haben Messungen des intraartikulären Drucks ergeben, dass die Ruhigstellung in einer Orthese in Innenrotation und Extensionsstellung zu hohen Drücken und somit dem Risiko einer weiteren Deformierung des verformbaren Hüftkopfs geführt haben, weshalb diese Behandlungsmethoden heute als obsolet eingestuft werden können (23).

Aufgrund dieser Feststellungen gilt heute die längerfristige ambulante Physiotherapie zur Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit - ggf. auch kurzfristig stationär mit Anwendung von kontinuierlicher Traktion (Russel-Extension) – als wesentliche anerkannte konservative Behandlungsmaßnahmen (22).

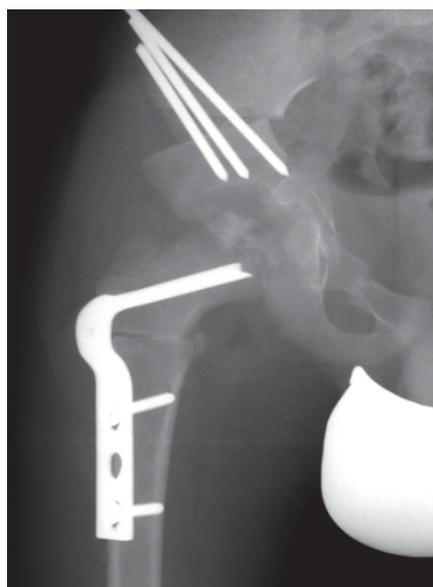
### 1.1.3.2 Operative Therapie

Die operative Wiederherstellung des Containments gelingt mittels intertrochantärer und/oder Beckenosteotomie. Die Rezentrierung des Hüftkopfes stellt das operative Ziel dar. Containment verbessernde Operationen sind indiziert bei radiologisch nachgewiesener Dezentrierung des Hüftkopfs, die prognostisch ein ungünstiges Ergebnis erwarten lässt (22) (Abb. 3, Abb 4).

**Abb. 3: Sieben Jahre alter Junge mit schwerem M. Perthes und Containment-Verlust**



**Abb. 4: Nach Containment verbessernder Operation mit Triple- und Varisations-Osteotomie**



Es stehen Operationsverfahren zur Verfügung, bei denen die Pfanne über den Hüftkopf geschwenkt wird. Um dies zu erreichen, wird der Beckenknochen entweder an einer Stelle (z.B. Beckenosteotomie nach Salter) oder an drei Stellen (Triple-Osteotomie) durchtrennt. Alternativ kann der Kopf durch eine intertrochantäre Varisationsosteotomie unter die Pfanne gebracht werden – ggf. in Kombination mit einer Rotation; Nachteil dabei ist die damit einhergehende Veränderung der biomechanischen Verhältnisse am proximalen Femur sowie eine Beinverkürzung. Beide Verfahren können auch in Kombination angewendet werden. Eine operative Therapie ist jedoch nur erfolgsversprechend, wenn eine gute Hüftgelenkbeweglichkeit mit mindestens 30° Abspreizfähigkeit vorliegt. Eine höhergradige Bewegungseinschränkung gilt als Kontraindikation für eine Containment verbessernde Operation (24).

#### **1.1.4 Prognose**

Die Prognose wird beeinflusst vom Ausmaß der Hüftkopfnekrose und dem Alter des Patienten bei Erkrankungsbeginn. Nach dem 6. Lebensjahr ist die Prognose deutlich schlechter als bei jüngeren Patienten. Weitere prognostisch negative Faktoren sind die Adduktorenkontraktur, das weibliche Geschlecht und Adipositas (5). Catterall beschrieb die bereits erwähnten „head-at-risk-signs“, von denen sich bei weiteren Untersuchungen lediglich die Kriterien „Subluxation“ und „laterale Kalzifikation“ als prognostisch relevant herausgestellt haben. Diese Faktoren sind Anzeichen des Containment-Verlusts (1).

Um die Langzeitprognose zu beurteilen, können die von Stulberg aufgestellten Kriterien zur Klassifikation der Endstadien herangezogen werden. Durch die Einteilung in Untergruppen, die sich an der Sphärizität des Hüftkopfes und der Kongruenz zur Hüftpfanne orientieren, ist eine bessere Abschätzung der Prognose möglich (25):

- sphärische Kongruenz: Arthroserisiko nicht erhöht
- asphärische Kongruenz: Arthroserisiko erhöht
- asphärische Inkongruenz: oft frühzeitig schwere Coxarthrose

## 1.2 Grundlagen des menschlichen Ganges

Der physiologische Gang stellt ein sich wiederholendes Bewegungsmuster der Extremitäten dar und ist das Ergebnis eines komplexen Zusammenwirkens zwischen Stütz- und Bewegungsapparat sowie zentralem und peripherem Nervensystem (26).

Im Gegensatz zum Laufen hat der Körper in jeder Phase des Bewegungszyklus Bodenkontakt über die Füße. Gehbehinderungen können die Lebensqualität stark beeinträchtigen, da das Gehen eine zentrale Funktion des menschlichen Lebens darstellt.

### 1.2.1 Der Gangzyklus

Ein Gangzyklus erstreckt sich vom initialen bis zum nächsten Bodenkontakt desselben Fußes, das entspricht einem Doppelschritt (27). Er wird in die Stand- und die Schwungphase unterteilt. In der Standphase hat der Fuß Bodenkontakt; in der Schwungphase schwingt das Bein frei in der Luft.

Die Standphase kann in 3 Unterphasen eingeteilt werden: bipedale initiale Standphase, monopedale Standphase und die terminale bipedale Standphase. Im Anschluss folgt die Schwungphase des ursprünglichen Standbeins und endet mit dem erneuten Bodenkontakt bzw. der nächsten bipedalen Standphase, die einen neuen Gangzyklus einleitet.

In der Regel entfallen im Gangzyklus 60% der Zeit auf die Standphase und 40% auf die Schwungphase (26).

### 1.2.2 Ganganalyse

Die Geschichte der Ganganalyse lässt sich bis in die Jahre vor Christus zurückverfolgen, als sich schon Aristoteles und andere Wissenschaftler mit der Analyse des menschlichen Ganges beschäftigten. Die Ganganalyse wird zur klinischen Diagnostik, Therapieplanung und Nachkontrolle eingesetzt.

Man unterscheidet die qualitativ-beobachtende von der quantitativ-instrumentellen Analyse. Die beobachtende Analyse ermöglicht durch die unmittelbare Beobachtung des Untersuchers lediglich relative Aussagen mit geringer Objektivität. Durch die instrumentelle Analyse kann das Gehen in Zahlen beschrieben werden. In Ganglaboratorien können mit Hilfe von Kraftmessplatten und einem Bewegungsanalysesystem Weg-Zeit-Parameter, sowie kinematische und kinetische Daten objektiv erfasst werden (26).

#### 1.2.2.1 Weg-Zeit-Parameter

Die einfachsten objektiven Messungen der Ganganalyse stellen die Weg-Zeit-Parameter dar. Hierbei handelt es sich um die *Schrittlänge* in cm („Step length“: Abstand zwischen den Bodenkontaktstellen beider Füße), die *Doppelschrittlänge* in cm („Stride length“: Distanz zwischen initialem Bodenkontakt der einen Extremität und erneutem Kontakt derselben), die *Gehgeschwindigkeit* in m/s („Walking speed“: Zurückgelegte Distanz pro Zeiteinheit) und die *Schrittfrequenz/Kadenz* in Schritten/min.

Die Symmetrie des Gangbildes ist abhängig vom Verhältnis der Schwung- und Standphasendauer und der Variation der Schrittlänge (26).

### **1.2.2.2 Kinematik**

Die Kinematik beschäftigt sich mit der Bewegung von Punkten bzw. Gelenken im Raum. Mittels Computer-gestützter, instrumenteller Ganganalysesystemen kann die Stellung eines Gelenkes in allen 3 Ebenen des Raumes, der Sagittal-, Frontal- und Transversalebene, in Winkelgraden zu jedem Zeitpunkt des Gangzyklus erfasst werden. Hierdurch erhält man Informationen zum Bewegungsbild (26).

### **1.2.2.3 Kinetik**

Die Kinetik liefert Informationen zu biomechanischen Faktoren, die die Fortbewegung verursachen. Es werden Drehmomente, die an Gelenken auftreten, sowie die physikalische Leistung, die an Gelenken aufgebracht wird, analysiert. Als kinetische Parameter werden die Bodenreaktionskraft, Gelenkmomente und Leistung gemessen. Die Bodenreaktionskräfte überträgt der Körper durch die Füße beim Auftreten auf den Boden und diese können während des Gehens mittels sog. Mehrkomponenten-Kraftmessplatten gemessen werden. (26).

## 2. Ziele der Arbeit

In Zusammenschau der Erkenntnisse bzw. des Wissens über den Morbus Perthes lässt sich konstatieren, dass es sich um ein seltenes Krankheitsbild handelt, bei dem noch sehr viel Unklarheit herrscht - sowohl bzgl. Ätiologie und Pathogenese als auch bzgl. der optimalen Therapiemethode. Der Aspekt „Lebensqualität“ wurde bislang bei der Behandlung von Kindern mit M. Perthes vernachlässigt.

Die Diagnose „M. Perthes“ führt für die Kinder in ihrem Alltag zu erheblichen Einschränkungen und Veränderungen – u.a. Vermeidung von Sprung- und Stoßsportarten wie Fußballspielen, regelmäßige Krankengymnastik und ggf. eine Operation.

Ein Ziel der Arbeit war es daher, die Auswirkungen auf die Gesundheits-bezogene Lebensqualität bei diesen Patienten zu evaluieren und mit klinischen Befunden zu korrelieren.

Von großen klinischen Interesse ist auch das Outcome nach M. Perthes. Dieses wird langfristig dadurch bestimmt, ob und ggf. wann sich eine sekundäre Arthrose entwickelt. Bislang werden zur Beurteilung des Outcomes klinische und im Wesentlichen radiologische Kriterien herangezogen. Funktionelle Kriterien wurden bisher kaum berücksichtigt.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit war es demnach, das Gangbild bei Patienten mit M. Perthes, die eine schwere Verlaufsform aufwiesen und eine komplexe Containment-verbessernde Operation (Becken- und Femurosteotomie) benötigten, objektiv mittels instrumenteller Ganganalyse zu untersuchen.

Zentrale Fragen der Arbeit stellen dar: Hat die Operation und die lange Krankheitsdauer mit Phasen der Immobilisation und Bewegungseinschränkung Einfluss auf die Lebensqualität; ist die Lebensqualität postoperativ nachweisbar beeinträchtigt? Korreliert die Lebensqualität mit der klinischen Funktion? Und wie verändert sich das Gangbild nach einer Becken- und Femurosteotomie im Vergleich zu präoperativ? Kommt es zu einer nachweisbaren Verbesserung und Wiederherstellung der Symmetrie?

### **3. Material und Methodik**

#### **3.1 Patienten-/ Normalkollektiv**

In die Studie wurden Patienten mit M. Perthes aufgenommen, die folgende Einschlusskriterien erfüllten:

- Einseitiger Befall
- schwerer Verlauf der Erkrankung mit Catterall Typ 3 oder 4, Herring B oder C
- Containment-Verlust, der eine ausgedehnte Operation mit Becken- und Femurosteotomie erforderlich machte.

Die Ausschlusskriterien waren eine beidseitige Perthes-Erkrankung und andere Vorerkrankungen, die das Gangbild oder die Lebensqualität beeinflussen können. Alle Kinder mussten an einem Physiotherapie-Programm für mindestens 1 Jahr postoperativ teilnehmen. Ergänzend wurde ihnen empfohlen nach der Konsolidierungsphase zu Schwimmen und Fahrrad zu fahren.

Im Zeitraum von 2002 bis 2008 wurden 43 Patienten mit einem schweren Verlauf des Morbus Perthes mit einer Becken- und Femurosteotomie behandelt; 24 Patienten erfüllten davon die Einschlusskriterien; 17 Kinder (16 Jungen, 1 Mädchen) konnten rekrutiert werden; davon erhielten 8 eine Triple- und 9 eine Salter-Beckenosteotomie, alle Patienten erhielten eine Femurosteotomie. Die Follow-up-Quote beträgt 70,8 %.

Das mittlere Alter beträgt zum Zeitpunkt der Operation 8.0 Jahre +/- 1.7 (Spannweite 5.1-11.3 J.) und der mittlere Nachuntersuchungszeitraum liegt bei 4.2 Jahren +/- 1.8 (Spannweite 2.0-7.5 J.). Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung beträgt das mittlere Alter 12.1 Jahre +/- 2.1 (Spannweite 8.3-15.3 J.). Bei 7 Kindern ist die linke und bei 10 die rechte Seite betroffen.

Zum Vergleich der postoperativen Lebensqualitätsergebnisse wurden 63 gesunde Kinder (24 Mädchen, 39 Jungen) mit einem mittleren Alter von 12.1 Jahren +/- 2.0 (Spannweite 8.0-15.8 J.) rekrutiert. Die Kontrollen wurden zufällig ausgewählt aus einem heterogenen Pool mit Rücksicht auf den sozioökonomischen Status; dieser Faktor war nicht kontrolliert.

Zum Vergleich der Ganganalysedaten der Pertheskindern wurde ein Normalkollektiv bestehend aus 30 Kindern, 16 Mädchen und 14 Jungen, verwendet aus der Datenbank des Ganglabors der orthopädischen Universitätsklinik Düsseldorf. Die Kinder waren in einem guten Allgemeinzustand und hatten einen unauffälligen orthopädischen und neurologischen Befund. Sie waren mindestens 6 Jahre und maximal 10 Jahre alt. Das Durchschnittsalter beträgt 8.1 Jahre +/- 1.2.

Das Studien-Protokoll wurde von der lokalen Ethikkommission (Studiennummer des Ethikvotums: 2553) geprüft. Alle Kinder und Eltern haben ihr schriftliches Einverständnis gegeben.

### **3.2 KIDSCREEN-10 Score**

Zur Bestimmung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität wurde der KIDSCREEN-10 Score nach Ravens Sieberer gewählt (28). Er besteht aus 10 Fragen und jede Frage wird mit einer 5-Punkte-Skala beantwortet. Die Fragen des KIDSCREEN-10 Fragebogen sind:

1. Hast du dich fit und wohl gefühlt?
2. Bist du voller Energie gewesen?
3. Hast du dich traurig gefühlt?
4. Hast du dich einsam gefühlt?
5. Hast du genug Zeit für dich selbst gehabt?
6. Konntest du in deiner Freizeit die Dinge machen die du tun wolltest?
7. Haben deine Mutter/ dein Vater dich gerecht behandelt?
8. Hast du mit deinen Freunden Spaß gehabt?
9. Bist du in der Schule gut zurechtgekommen?
10. Konntest du gut aufpassen?

Die Befragungen wurden postoperativ durchgeführt zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, mindestens 2 Jahre postoperativ. Die Auswertung der Fragebögen erfolgte nach den Vorgaben der europäischen KIDSCREEN Gruppe, die die Validität und Reliabilität in der europäischen Bevölkerung geprüft haben. Die Antworten wurden für jedes Kind in Nummern codiert und aufsummiert. Rasch Person Parameter wurden zu jedem Summen-Score hinzugefügt und in T-Werte transformiert wie es in dem Scoring-Modell des KIDSCREEN Handbuch vorgegeben ist (28,29). Ein niedriger Punktwert impliziert eine schlechte und ein hoher eine bessere gesundheitsbezogene Lebensqualität (30).

### **3.3 Modified Harris Hip score (mHHS)**

Das modified Harris Hip Scoring System stellt eine Bewertungsmethode für die Kriterien Schmerz (max. 44 Punkte) und Funktion (max. 47 Punkte) dar ohne die Kategorien Fehlstellung (max. 4 Punkte) und Beweglichkeit (max. 5 Punkte) des klassischen Harris Hip Score zu berücksichtigen (31). Die Fragebögen wurden prä- und postoperativ von den Kindern beantwortet. Durch eine Multiplikation mit einem Faktor von 1,1 kann ein Maximum von 100 Punkten erreicht werden. Ein Punktwert zwischen 90 – 100 Punkten stellt ein exzellentes, 80 – 89 Punkte ein gutes, 70 – 79 Punkte ein ausreichendes und weniger als 70 Punkte ein schlechtes Ergebnis dar (32,33).

### **3.4 Instrumentelle Ganganalyse**

Es wurde eine instrumentelle Ganganalyse im Ganglabor (Abb. 5) der Orthopädie der Universitätsklinik Düsseldorf für die Untersuchung der Auswirkung des Morbus Perthes auf das Gangbild vor und nach Becken/Femur-Osteotomie durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte mit Hilfe eines VICON 512 System mit acht 50 Hz Infrarotkameras und zwei ATMI-Kraftmessplatten, die dreidimensionale kinematische und kinetische Daten und die Weg-Zeit-Parameter erfasst haben. Reflektierende Marker mit einem Durchmesser von 25mm wurden an den von Kadaba et al. definierten Positionen angebracht (34,35).

**Abb. 5: Ganglabor der Orthopädischen Universitätsklinik Düsseldorf**



Definierte Lokalisationen nach Kadaba et al. (35) sind:

- 1 Marker über dem ersten Sakralwirbel – in der Mitte zwischen den Spinae iliacae posteriores superiores
- 1 Marker über Spina iliaca anterior superior bds.
- 1 Marker auf einer Linie zwischen Trochanter major und Kniegelenksachse bds.
- 1 Marker am lateralen Femurkondylus in Höhe der Kniegelenksachse bds.
- 1 Marker auf einer Linie zwischen Kniegelenksachse und lateralem Malleolus bds.
- 1 Marker über der Spitze des lateralen Malleolus bds.
- 1 Marker am Tuber calcanei bds
- 1 Marker über den zweiten Metatarsalköpfchen bds.

Zusätzlich wurde ein von Richard Barker für VICON konzipiertes, erweitertes Markerset zur Erfassung der Rumpfbewegung verwendet. Die Marker wurden an folgenden Stellen positioniert:

- 1 Marker über dem Acromioclavikulargelenk bds.
- 1 Marker über dem Processus spinosus C7
- 1 Marker über dem Processus spinosus Th10
- 1 Marker über dem Sternoclaviculargelenk
- 1 Marker über der Mitte der Skapula
- 1 Marker über dem Processus xyphoideus

Nach dem Aufkleben der Marker sind die Kinder wiederholt barfuß eine ca. 10 Meter lange Strecke in einer frei wählbaren Geschwindigkeit hin und zurück gelaufen. Bei jedem Messdurchgang wurden die Bewegungen der Marker von mehreren Infrarotkameras erfasst und das Gangbild mit 2 Videokameras von frontal und seitlich aufgezeichnet. Die Messungen wurden solange wiederholt, bis die im Boden integrierte Kraftmessplatte mindestens fünfmal exakt von jedem Fuß getroffen worden ist.

### **3.4.1 Datenanalyse**

Der Gangzyklus wurde entsprechend dem internationalen Standard für die Datenauswertung auf 100% normalisiert. Die gewonnenen Kurven wurden durch 51 Datenpunkte charakterisiert, entsprechend jeweils 2% des Gangzyklus. Die Werte der einzelnen Datenpunkte von 5 auswertbaren Gangzyklen wurden gemittelt und diese für die weitere Auswertung in Excel exportiert. Die Auswertung der Gangzyklen erfolgte separat für die rechte und linke Seite für das Patientenkollektiv, für das Normalkollektiv erfolgte die Auswertung seitenunabhängig. Pro Proband wurden 5 auswertbare Gangzyklen gemittelt.

Es wurden die Weg-Zeit-Parameter sowie die kinematischen Daten in allen 3 Raumebenen (Frontal-, Sagittal- und Transversalebene) ausgewertet. Es erfolgten ein prä- und postoperativer Datenvergleich der erkrankten Seite, sowie ein Vergleich der „kranken“ Seite mit der „gesunden“ Seite prä- und postoperativ. Die Daten wurden mit dem Normalkollektiv verglichen. Die kinematischen Daten wurden in Winkelgraden angegeben.

Ergänzend erfolgte die Beurteilung der Hüftflexor-Funktion in der Sagittalebene anhand des „Hip flexor index“ (HFI) nach Schwartz et al. (36), der mathematisch-statistisch durch eine Hauptkomponentenanalyse entwickelt wurde.

In die Berechnung des HFI gehen 4 Variablen zur Beschreibung der Hüftfunktion in der Sagittalebene ein:

- Maximale Anteversion („maximum pelvic tilt“)
- Becken-Bewegungsausmaß in der Sagittalebene („pelvic tilt range“)
- Maximale Hüftextension in der Standphase („maximum hip extension in stance“)
- Maximale Hüft-Flexor-Power in der späten Standphase („late stance power burst H3“)

Berechnet wird der HFI nach Schwartz nach folgender Formel:

$$\text{HFI-Schwartz} = 0,61 * Z_{\text{subj MPT}} + 0,42 * Z_{\text{subj PTR}} + 0,59 * Z_{\text{subj HEST}} - 0,32 * Z_{\text{subj H3}}$$

- $Z_{\text{subj MPT}}$  = für die Testperson normalisierter Wert „maximum pelvic tilt“
- $Z_{\text{subj PTR}}$  = für die Testperson normalisierter Wert „pelvic tilt range“
- $Z_{\text{subj HEST}}$  = für die Testperson normalisierter Wert „maximum hip extension“
- $Z_{\text{subj H3}}$  = für die Testperson normalisierter Wert „late stance power burst H3“

Als durchschnittlicher HFI für das Normalkollektiv wird „Null“ erwartet.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Wilcoxon-Test mit Hilfe des Computerprogramms SPSS-Version 21.0. Ein p-Wert  $<0,05$  wurde als signifikant angesehen.

## 4. Veröffentlichungen

### 4.1 Publierte Originalarbeit

- *Post-operative quality of life in children with severe Perthes disease: differences to matched controls and correlation with clinical function*

Palmen NK, Zilkens C, Rosenthal D, Krauspe R, Hefter H, Westhoff B  
Orthopedic Reviews, 6 (4):5567, (2014)

(nachfolgend auf Seite 17-20)

### 4.2 Vorträge

- *Korrelation von Lebensqualität und klinischer Funktion von Kindern mit schwerem Morbus Perthes nach Containment verbessernder Operation*

Palmen N, Rosenthal D, Zilkens C, Hefter H, Krauspe R, Westhoff B  
Vortrag Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, Berlin. Oktober 20–23, (2015)

- *Is quality of life altered in LCPD-patients after intense surgery?*

Westhoff B, Palmén N, Rosenthal D, Zilkens C, Krauspe R  
J Child Orthop, 9 (Suppl 1):52–53, (2015)  
Vortrag 34<sup>th</sup> Annual Meeting of EPOS, Marseille, France. April 15-18, (2015)

- *Quality of life after intense surgery in patients with Perthes-Disease*

Westhoff B, Palmén N, Rosenthal D, Zilkens C, Krauspe R  
J Child Orthop, 8:526–527, (2014)  
Vortrag 28th Annual Meeting of the Children's Orthopaedics, Bonn. March 15–16, (2014)

- *Change of gait pattern after pelvic osteotomy in children with Legg-Calve-Perthes Disease*

Westhoff B, Rosenthal D, Palmén N, Krauspe R, Zilkens C  
Gait & Posture, 38 (Suppl 1):1-2, (2013)  
Vortrag 21st Annual Meeting of ESMAC, Stockholm, Sweden. September 13-15, (2012)

- *Veränderung des Gangbildes nach Triple Osteotomie bei Kindern mit Morbus Perthes*

Zilkens C, Rosenthal D, Palmén N, Jäger M, Krauspe R, Westhoff B  
Vortrag Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, Berlin. Oktober 25–28, (2011)

## Post-operative quality of life in children with severe Perthes disease: differences to matched controls and correlation with clinical function

Nina K. Palmen,<sup>1</sup> Christoph Zilkens,<sup>1</sup> Dietmar Rosenthal,<sup>2</sup> Rüdiger Krause,<sup>1</sup> Harald Hefter,<sup>2</sup> Bettina Westhoff<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie; <sup>2</sup>Klinik für Neurologie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Germany

### Abstract

The diagnosis of Legg-Calvé-Perthes disease (LCPD) has a considerable influence on the daily life of the patients with restrictions in their leisure time activities. This might influence their mood. Until now this aspect of the disease has been neglected. Therefore the objective of the study was to evaluate the health related quality of life (HRQoL) of children with severe LCPD who had an extensive surgery with pelvic/femoral osteotomy. The KIDSCREEN-10 and the mHHS-questionnaire were administered to 17 children (16 boys and 1 girl) aged 5 to 11 years at the time of surgery. Analyses of mHHS were made preoperatively and at the time of the follow-up examination at least 2 years postoperatively. KIDSCREEN-analyses were made postoperatively. The follow-up results were compared to an age-matched normal control group. Correlations were computed between KIDSCREEN-10 and mHHS pre- and post-operatively. The postoperative calculated KIDSCREEN-10-T-value [70.2 (SD 12.7)] was higher than the mean T-value of the control-group [56.6 (SD 10.4)]. The mHHS improved from 54.4 (SD 19.9) to a score of 99.5 (SD 1.5) postoperatively. A strong correlation was found between the preoperative mHHS and the postoperative KIDSCREEN-10-T-value (Spearman's-rho 0.67,  $P=0.003$ ). After containment improving surgery and a mean follow-up period of 4.2 years the HRQoL-status is even better compared with a healthy age-matched control group. As well an excellent clinical function could be achieved.

### Introduction

Legg-Calvé-Perthes disease (LCPD) is a complex pediatric hip disorder which usually affects children in primary school age. The course of the disease may last for several

years. In the early stage children often complain about discomfort or pain especially after physical activities.<sup>1,2</sup>

After diagnosis behavioral recommendations for daily life include reduction of physical activities, especially sport disciplines which produce a huge peak impact load for the joint.<sup>2</sup> Most of the children receive physiotherapy over several months for improving joint mobility; some get an orthosis prescribed either to keep containment or to reduce loading of the joint although a positive effect has not been proven.<sup>3,4</sup> In case of loss of containment surgical procedures like femoral or/and pelvic osteotomies are performed.<sup>5</sup>

All these factors restrict the children in their daily life, in their leisure time activities and in the interaction with their peer group. These restrictions may influence their mental and social development.

Until now this aspect of the disease has not been sufficiently considered in research. Therefore the objective of this study was to evaluate the *health related quality of life* (HRQoL) of children with LCPD. Due to the fact that the individual course of the disease and the treatment concepts differ considerably, we chose a group of patients who were severely affected and had an extensive surgery with pelvic (Salter or Triple) and femoral osteotomy.

### Materials and Methods

#### Legg-Calvé-Perthes disease patients and control subjects

In the context of a LCPD-outcome study 17 children were recruited for the HRQoL-aspect of this study. Inclusion criteria were unilateral hip involvement, a severe course of the disease with Catterall type 3 or 4, Herring B or C and a loss of containment demanding a pelvic and femoral osteotomy (Figure 1).

The minimum follow-up time was 2 years postoperatively. Exclusion criterion was an additional disease that might affect HRQoL over a certain period of time. All children had to attend a physiotherapy program over at least 1 year postoperatively. In addition they were ordered to reduce their sports activities to avoid impact load and were encouraged to swim and cycle after consolidation of the osteotomies.

In the period from 2002 to 2008, 43 patients were treated by a pelvic and femoral osteotomy for severe LCPD by two surgeons, 24 fulfilled the inclusion criteria; 17 patients (16 boys, 1 girl) could be recruited - corresponding follow-up-rate 70.8%. The mean age at the time of surgery was 8.0 years (SD 1.7, range 5.1-11.3 ys.) and the mean follow-up time was 4.2 years (SD 1.8, range 2.0-7.5 ys.). At the time of fol-

Correspondence: Nina Kristin Palmen, Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Moorenstrasse 5, 40225 Düsseldorf, Germany.  
Tel.: +49.211.811.8314 - Fax: +49.211.811.6693.  
E-mail: NinaKristin.Palmen@uni-duesseldorf.de

Key words: Legg-Calvé-Perthes disease, osteotomy, KIDSCREEN, quality of life, modified Harris Hip Score.

Acknowledgments: the authors would thank all children and parents that participated at the study

Contributions: NKP, first author; NKP, BW, CZ, clinical consultation; DR, statistical evaluation; all authors, study design.

Conflict of interests: the authors declare no potential conflict of interests.

Received for publication: 21 August 2014.  
Accepted for publication: 7 September 2014.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0).

©Copyright N.K. Palmen et al., 2014  
Licensee PAGEPress, Italy  
Orthopedic Reviews 2014; 6:5567  
doi:10.4081/or.2014.5567

low-up the mean age was 12.1 years (SD 2.1, range 8.3-15.3 ys.).

For the comparison of the follow-up results 63 healthy children (24 girls, 39 boys) from the community with a mean age of 12.1 years (SD 2.0, range 8.0-15.8 ys.) were recruited as an age-matched normal control group to define a normal HRQoL-score. The controls were chosen randomly from a heterogeneous pool with respect to socioeconomic status; this status was not controlled.

The study protocol was approved by the local ethics committee and all children and parents gave their written informed consent.

#### KIDSCREEN-10 score

For evaluating the HRQoL the *KIDSCREEN-10 score* was chosen as an appropriate measuring instrument. It consists of 10 items and each question has to be answered on a 5-point response scale. These are the questions of KIDSCREEN-10 questionnaire:<sup>6</sup> i) Have you felt fit and well? ii) Have you felt full of energy? iii) Have you felt sad? iv) Have you felt lonely? v) Have you had enough time for yourself? vi) Have you been able to do the things that you want to do in your free time? vii) Have your parent(s) treated you fairly? viii) Have you had fun with your friends? ix) Have you got on well at school? x) 10. Have you been able to pay attention?

KIDSCREEN-10-Data were collected postoperative at the time of the follow-up examination at least 2 years postoperatively. The scoring of the KIDSCREEN questionnaires was carried out based on the guidelines of the European KIDSCREEN Group. The validity and reliability of KIDSCREEN have been proven in the European population. The answers were coded in numbers and summed for each child. Rasch person parameters were assigned to each sum score and were transformed into T-values as documented in the scoring model of the KIDSCREEN handbook.<sup>6,7</sup> A low score implicates a poor, a high score a better HRQoL.<sup>8</sup>

#### Modified Harris Hip score

To correlate the HRQoL with the clinical situation the *modified Harris Hip Score* (mHHS) was analyzed pre- and post-operatively. The mHHS includes an assessment based on *pain* (maximum 44 points) and *function* (maximum 47 points). The elements of *deformity* (maximum 4 points) and *range of motion* (maximum 5 points) from the original Harris Hip Score are excluded.<sup>9</sup> The total sum score was multiplied for every child with 1.1, so that a total possible score of 100 points could be reached; a score of 90 to 100 pts. means an excellent, 80 to 89 pts. a good, 70 to 79 pts. a fair and less than 70 pts. a poor result.<sup>10,11</sup>

#### Statistical analysis

Descriptive statistics were computed for all variables of the KIDSCREEN-10 survey postoperatively and for the mHHS at two points of time:  $t_0$  preoperatively and  $t_1$  postoperatively. They were all reported as means and standard deviations (SD). Rasch scores and T-values were calculated according to the KIDSCREEN-10 manual.<sup>5</sup> The independent samples t-test was used for the comparison of normal control group KIDSCREEN-T-value with the postoperative T-value of patient collective, as well as differences in individual KIDSCREEN-items between control group and patients group.

Correlations were computed between the HRQoL (KIDSCREEN-10) and the clinical result (mHHS). They were based on the Spearman's rho for the T-values and Kendall-tau-b correlation coefficient for individual KIDSCREEN-10 items as non-parametric measures of statistical dependence. A  $P < 0.05$  was considered statistically significant. The Bonferroni-Holm-procedure was applied to the comparisons between patients and the control group, to keep the number of false-positive results low. Power-sample-size computation yielded, that a small effect of size 0.31 (Cohen's d) can be detected in the comparisons between controls and patients, for the given alpha-level and desired statistical power

of 0.8. All statistical analyses were conducted using SPSS Version 21.0.

#### Results

Complete mHHS and KIDSCREEN-10 results were available for all 17 patients. The postoperative mean KIDSCREEN-10-score-T-value was calculated at 70.2 (SD 12.7, range 53.1-83.8).

The age-matched control group achieved a mean KIDSCREEN-10-score-T-value of 56.6 (SD 10.4, range 38.3-83.8); the comparison with the postoperative T-value of children with LCPD (Figure 2A) revealed a significant difference indicating a higher HRQoL-Level in LCPD-patients after surgery ( $P < 0.001$ ).

Detailed analysis revealed that LCPD-patients reported that they felt more comfortable ( $P < 0.001$ ) and powerful ( $P < 0.001$ ) in comparison to the healthy control group (Figure 3). Moreover, the psychological well-being was significantly higher: patients stated to feel less sad ( $P = 0.002$ ) (Figure 3). The *time for themselves* and the organization of their leisure time activities was also significantly higher ( $P < 0.001$ ) (Figure 3). Furthermore the LCPD-patients stated to concentrate better at school than the normal control group ( $P = 0.003$ ) (Figure 3).

The mean mHHS increased from 54.4 (SD 19.9) at  $t_0$  to a score of 99.5 (SD 1.5) at  $t_1$  (Figure 2B). While preoperatively 11 (65%) children demonstrated a poor mHHS of less than 70 pts. and the remaining 6 a fair score (mHHS: 70 to 80), after a mean follow-up of 4.2 ys. postoperatively all patients had excellent results with a mHHS of more than 90 pts. This was statistically highly significant ( $P < 0.001$ ).

The analysis of the correlations between mHHS and KIDSCREEN-10 resulted in a strong correlation between the preoperative ( $t_0$ ) mHHS and the postoperative ( $t_1$ ) KIDSCREEN-10-T-value (Spearman's-rho 0.67,  $P = 0.003$ ). In addition we found significant correlations between the mHHS at  $t_0$  and the subscales of KIDSCREEN-10 at  $t_1$ : they were statistically significant for the KIDSCREEN-10 subscale *feeling fit and well* at  $t_1$  (Kendall-tau-b 0.46,  $P = 0.032$ ) as well as for the subscale *being able to pay attention* at  $t_1$  (Kendall-tau-b 0.47,  $P = 0.027$ ). No correlation was found between postoperative mHHS and postoperative KIDSCREEN-10-index-score.

#### Discussion and Conclusions

Up to now the HRQoL of children with LCPD has not been sufficiently subject to research projects although this diagnosis, the consecutive behavioral restrictions and the treatment

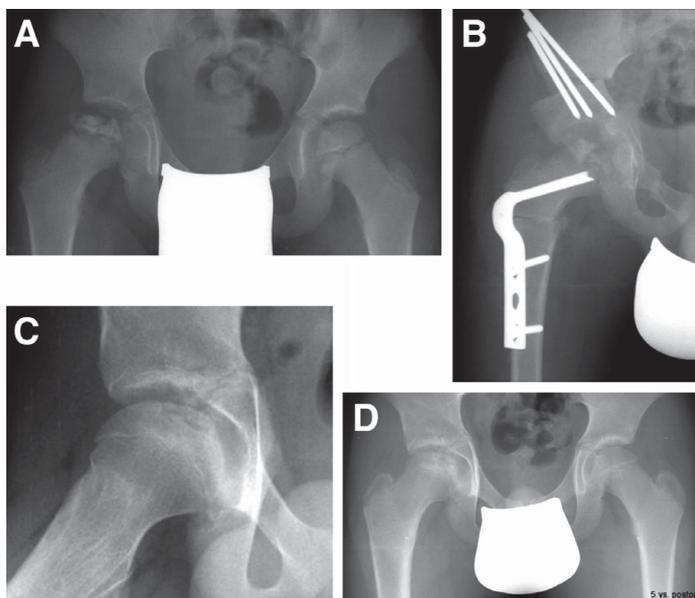


Figure 1. A 7-year-old boy with severe Legg-Calvé-Perthes disease and loss of containment (A); (B) x-ray after containment improving surgery with triple and varus/rotation femoral osteotomy; (C,D) 5 ys. postoperatively.

modalities implicate a severe impact on their daily life. Therefore the aim of the present study was to evaluate the HRQoL after extensive surgical containment treatment. As measuring-instrument the KIDSCREEN-10-questionnaire was chosen, a validated and established test.<sup>7,8,12</sup> The results were correlated with the functional status measured by the mHHS.

As a result the study showed that on average 4.2 years after complex surgery an excellent clinical result could be achieved. The evaluation of the HRQoL also resulted in very positive findings: the LCPD patients achieved a significantly higher KIDSCREEN index score compared to the age-matched healthy control group and as well as in comparison to a histor-

ical healthy German control group aged 8-18 ys. [52.1 (SD 9.5)].<sup>6</sup>

These positive findings demonstrate that after LCPD – even with a severe course – HRQoL is not impaired – it is quite the contrary: HRQoL is significantly higher. A possible explanation might be that children with a disease like LCPD which required extensive therapy and limited their daily life during a long period appreciate more their regained health and daily activity options and therefore better assess their HRQoL in the KIDSCREEN questionnaire.

In further studies it would be interesting to calculate as well the preoperative HRQoL for the comparison with the postoperative result. In this study it was not possible to acquire preoperative KIDSCREEN-Data, because KIDSCREEN-questionnaires exist only since 2006.<sup>6</sup>

The correlation analysis pointed out that children who had a better preoperative mHHS and therefore a better clinical function showed a higher HRQoL after surgery. This is also underlined by the correlation results of preoperative mHHS with the subscales of postoperative KIDSCREEN-10: Children with better preoperative clinical function felt postoperative more comfortable and fit, as well as paying more attention at school. Surprisingly no correlation could be found between postoperative mHHS and HRQoL. This might be explained by the small study population and the excellent results: there is not a single patient with a poor or fair clinical outcome and the T-scores are on average significantly better than these of a healthy control group. Of course further studies with a bigger study population are necessary to confirm these findings.

The present study is to our knowledge the first attempt to determine HRQoL of children with severe LCPD. Up to now there has been only two studies looking for behavioural sequelae of LCPD: Price *et al.* evaluated patients who were treated either by an orthosis or by surgery, by the Louisville Behavioral Checklist; as a result the bracing group was more likely to demonstrate deficits in social, academic and sexual behavior as compared with patients in the surgery group.<sup>13</sup> The opposite was found by Khurana *et al.* who concluded that LCPD treated non-operatively using abduction cast and brace did not affect the emotional and mental well-being of patients in the longterm.<sup>14</sup>

Therefore we feel that the evaluation of the HRQoL-aspect is worthwhile because parents are deeply concerned if they get the diagnosis of LCPD for their child, hear the recommendations for the daily life (restrictions for sport activities, intensive physiotherapy, in some cases hip unloading by using crutches or a wheelchair etc.) and finally get in severe cases the recommendation for a surgical procedure. But children are usually at an age, in which

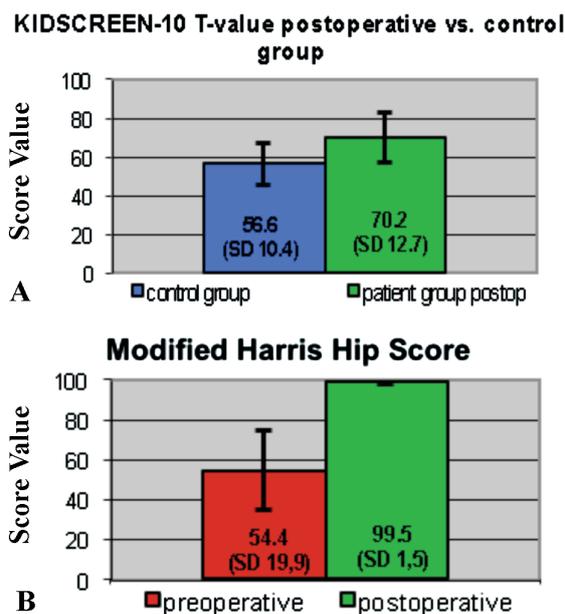


Figure 2. A) Comparison of mean and standard deviation of postoperative KIDSCREEN-10 score vs. control group. B) Comparison of mean and standard deviation mHHS pre- and postoperatively.

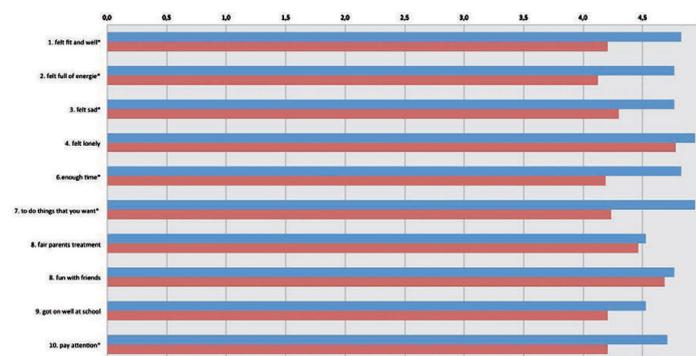


Figure 3. Results of the KIDSCREEN 10-questionnaire: patient group postoperative (blue) vs. normal group (red). Asterisks indicate significant values.

motor activities with their peers play an important role in their daily life. Therefore parents understandably also worry about the psychosocial development of their child.

In conclusion this study is the first to demonstrate that patients with severe LCPD do not have any impaired HRQoL after a follow-up period of at least 2 ys. after containment improving surgery; the quality of life status is even better compared with a healthy age-matched control group. Therefore, worried parents can be calmed, their children will return to a normal attitude towards life.

## References

1. Kim HK. Legg-Calve-Perthes disease: etiology, pathogenesis, and biology. *J Pediatr Orthop* 2011;31:141-6.
2. Krauspe R, Raab P. [Perthes disease]. *Orthopäde* 1997;26:289-302. [Article in German]
3. Kamegaya M. Nonsurgical treatment of Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop* 2011;31:174-7.
4. Wild A, Westhoff B, Raab P, et al. [Nonoperative treatment in Legg-Calvé-Perthes disease]. *Orthopäde* 2003;32:139-45. [Article in German]
5. Wenger DR, Pandya NK. Advanced containment methods for the treatment of Perthes disease: salter plus varus osteotomy and triple pelvic osteotomy. *J Pediatr Orthop* 2011;31:198-205.
6. The KIDSCREEN Group Europe. The KIDSCREEN questionnaires. Quality of life questionnaires for children and adolescents. Handbook. Lengerich: Pabst Science Publishers; 2006.
7. Ravens-Sieberer U, Erhart M, Rajmil L, et al. Reliability, construct and criterion validity of the KIDSCREEN-10 score: a short measure for children and adolescents' well-being and health-related quality of life. *Qual Life Res* 2010;19:1487-500.
8. Erhart M, Ottova V, Gaspar T, et al. Measuring mental health and well-being of school-children in 15 European countries using the KIDSCREEN-10 index. *Int J Public Health* 2009;54:160-6.
9. Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 1969;51:737-55.
10. Byrd JW, Jones KS. Hip arthroscopy in the presence of dysplasia. *Arthroscopy* 2003;19:1055-60.
11. Chan CL, Villar RN. Obesity and quality of life after primary hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br* 1996;78:78-81.
12. Barriuso-Lapresa L, Hernando-Arizaleta L, Rajmil L. Social inequalities in mental health and health related quality of life in children in Spain. *Pediatrics* 2012;130:528-35.
13. Price CT, Day DD, Flynn JC. Behavioral sequelae of bracing versus surgery for Legg-Calvé-Perthes Disease. *J Pediatr Orthop* 1988;8:285-7.
14. Khurana A, Kadambande S, Goel V, et al. Psychosocial development in children with Perthes disease. *Orthop Proc* 2010;92:369.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Ergebnisse der Lebensqualitätsanalyse und der klinischen Funktion

Die Ergebnisse des KIDSCREEN-Fragebogens zur Analyse der Lebensqualität und des mHHS zur Bestimmung der klinischen Funktion, sowie die Ergebnisse der Korrelationsanalyse von Lebensqualität und klinischer Funktion von Kindern mit schwerem Morbus Perthes nach Containment verbessernder Operation sind in der Publikation "*Post-operative quality of life in children with severe Perthes disease: Differences to matched controls and correlation with clinical function*" (Orthopedic Reviews, 2014 Volume 6 (4): 5567) veröffentlicht.

### 5.2 Ergebnisse der Ganganalyse

Die Ergebnisse der Ganganalyse wurden bereits im Rahmen von Vorträgen veröffentlicht. Da die Daten bislang nicht in einer publizierten Originalarbeit veröffentlicht wurden, sondern nur in den genannten Vorträgen unter 4.2, werden die Ergebnisse der Ganganalyse nachfolgend präsentiert.

#### 5.2.1. Analyse der Weg-Zeit-Parameter

Bei dem Vergleich der prä- mit den postoperativ erhobenen Ganganalysedaten zeigten die Analysen der Weg-Zeit-Parameter eine signifikante Zunahme der absoluten Gehgeschwindigkeit (gait velocity) ( $p=0,017$ ) und der absoluten Schrittlänge (stride-length) auf der betroffenen Seite ( $p<0,001$ ). Der Hink-Index (limp-index) ( $p=0,020$ ) stieg zu einem Wert von 1 an und normalisierte sich somit. Die Einzelunterstützungsphase (single limp support) stieg auf der betroffenen Seite ebenfalls signifikant an ( $p=0.015$ ), d. h. der Teil der Standphase, bei dem die Körpermasse nur durch die erkrankte Seite getragen wird, wird postoperativ länger (Tab. 1).

**Tab. 1: Weg-Zeit-Parameter**

| Weg-Zeit-Parameter          | präoperativ | postoperativ | p-Wert |
|-----------------------------|-------------|--------------|--------|
| Gait velocity (m/s)         | 1.03 (0.20) | 1.17 (0.11)  | 0.017  |
| Stride length_inv (m)       | 0.97 (0.14) | 1.17 (0.09)  | <0.001 |
| Limp index                  | 0.96 (0.06) | 1.00 (0.02)  | 0.020  |
| Single limp support_inv (s) | 0.38 (0.04) | 0.41 (0.03)  | 0.015  |

Die angegebenen prä- und postoperativen Weg-Zeit-Werte sind Mittelwerte (Standardabweichung); p-Wert für den Test präoperativ im Vgl. zu postoperativ (Wilcoxon-Test).

*Gait velocity (m/s)*: absolute Gehgeschwindigkeit (in Metern pro Sekunde).

*Stride length\_inv (m)*: absolute Schrittlänge der erkrankten Seite (in Metern).

*Limp index*: Dauer der Standphase der einen dividiert durch die Dauer der Standphase der anderen Seite. Wenn gleich 1, ist das Gangbild symmetrisch.

*Single limp support\_inv (s)*: Teil der Standphase, bei dem die Körpermasse nur durch die erkrankte Seite getragen wird (in Sekunden).

## 5.2.2 Analyse der kinematischen Parameter

Bei der Analyse der kinematischen Daten konnte in der Sagittalebene im Vergleich von prä- zu postoperativ auf der erkrankten Seite eine signifikante Abnahme des Bewegungsausschlags des Beckens (pelvic ROM) ( $p < 0,001$ ) und der maximalen vorderen Beckenkipfung (pelvic max. anterior tilt) ( $p = 0,001$ ) festgestellt werden.

Der Bewegungsausschlag des erkrankten Hüftgelenks (Hip\_inv ROM) in der Sagittalebene nahm signifikant zu ( $p < 0,001$ ), ebenso auch die Hüftextension (hip\_inv max. extension) ( $p < 0,001$ ) (Tab. 2). Im Vergleich von prä- zu postoperativ zeigte sich während des Gangzyklus insgesamt eine deutliche Annäherung der postoperativen kinematischen Werte des Beckens und der Hüfte in der Sagittalebene an die Daten des Normalkollektivs. Fast alle postoperativen Werte liegen im einfachen Standardabweichungsbereich des Normalkollektivs (Abb. 6).

**Tab. 2: Kinematik prä- und postoperativ**

| Kinematik                 | präoperativ  | postoperativ | p-Wert |
|---------------------------|--------------|--------------|--------|
| Pelvic ROM                | 7.44 (2.89)  | 2.79 (0.99)  | <0.001 |
| Pelvic max. anterior tilt | 18.15 (4.28) | 10.26 (4.08) | 0.001  |
| Hip_inv ROM               | 28.13 (4.95) | 39.54 (4.97) | <0.001 |
| Hip_inv max extension     | 3.03 (5.52)  | 11.30 (6.31) | <0.001 |

Die angegebenen prä- und postoperativen kinematischen Werte (°) sind Mittelwerte (Standardabweichung); p-Wert für den Test präoperativ im Vgl. zu postoperativ (Wilcoxon-Test).

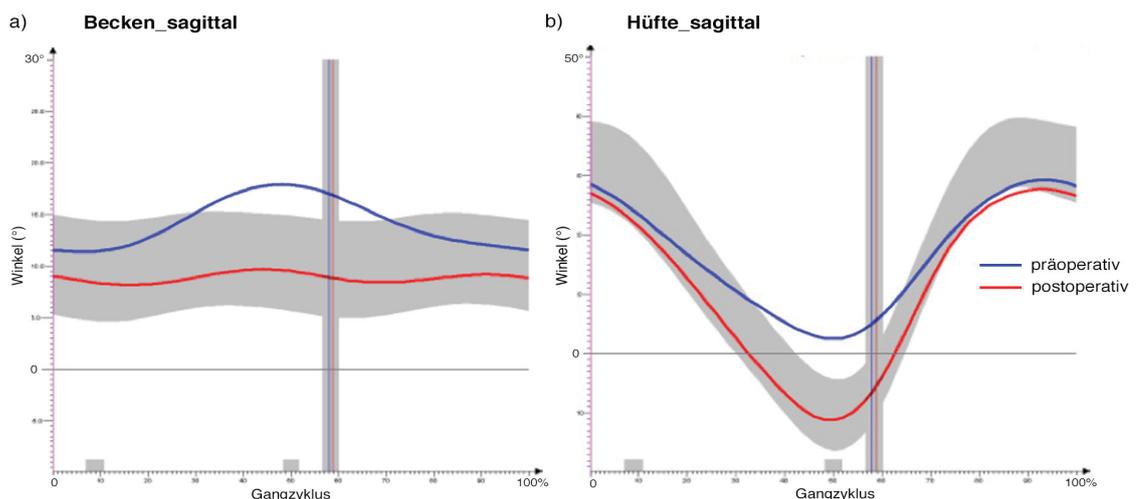
*Pelvic ROM* (°): Bewegungsausmaß des Beckens (Grad).

*Pelvic max. anterior tilt* (°): maximale vordere Beckenkipfung (Grad).

*Hip\_inv ROM* (°): Bewegungsausmaß des erkrankten Hüftgelenks (Grad).

*Hip\_inv max extension* (°): maximale Hüftextension der erkrankten Seite (Grad).

**Abb. 6: Prä- und postoperative kinematische Daten**



Kinematik des Beckens (a) und der erkrankten Hüfte (b) in der Sagittalebene. Blaue Linie: präoperativ, rote Linie: postoperativ, graues Band: Bereich der einfachen Standardabweichung des Normalkollektivs. Der vertikale Balken repräsentiert den Übergang der Stand- zur Schwungphase. X-Achse: Gangzyklus (%), Y-Achse: Winkelgrade (°), horizontale Linie zeigt 0° an.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass präoperativ die kranke Seite im Vergleich zur gesunden Seite in der Sagittalebene eine signifikante Beeinträchtigung des Bewegungsausschlages der Hüfte (hip ROM) ( $p < 0.001$ ), der Hüftextension (hip\_max extension) ( $p < 0.001$ ), des Bewegungsausschlages des Kniegelenks (knee ROM) ( $p < 0.001$ ) mit Reduktion der maximalen Knieflexion (knee\_max flexion) ( $p = 0.005$ ) aufweist (Tab. 3). Präoperativ liegen die kinematischen Werte des erkrankten Hüft- und Kniegelenks in der Sagittalebene vielfach während des Gangzyklus außerhalb des Bereichs der einfachen Standardabweichung des Normalkollektivs. Hingegen liegen die Werte des gesunden Hüft- und Kniegelenks zu jedem Messpunkt innerhalb der einfachen Standardabweichung (Abb. 7 a+b).

In der Frontalebene zeigen auch die Bewegungsmuster des Beckens und des Rumpfes eine Asymmetrie, wobei der Rumpf über den gesamten Gangzyklus zur erkrankten Seite geneigt ist. Die maximale Neigung des Beckens ( $p = 0.039$ ) und des Rumpfes ( $p = 0.002$ ) in der Frontalebene zeigen einen signifikanten Unterschied mit deutlich niedrigeren Werten auf der kranken Seite (Tab. 3, Abb. 7 c+d).

**Tab. 3: Kinematik präoperativ**

**Sagittalebene**

| <b>Präoperativ</b> | <b>Gesunde Seite</b> | <b>Kranke Seite</b> | <b>p-Wert</b> |
|--------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Hip ROM            | 49.71 (4.64)         | 28.13 (4.95)        | <0.001        |
| Hip_max extension  | 10.61 (5.20)         | 3.03 (5.52)         | <0.001        |
| Knee ROM           | 55.89 (5.70)         | 45.72 (8.35)        | <0.001        |
| Knee_max flexion   | 58.68 (5.30)         | 52.46 (9.93)        | 0.005         |

**Frontalebene**

| <b>Präoperativ</b>   | <b>Gesunde Seite</b> | <b>Kranke Seite</b> | <b>p-Wert</b> |
|----------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Pelvic obliquity_max | 4.03 (1.68)          | 2.35 (2.56)         | 0.039         |
| Thorax obliquity_max | 4.95 (2.67)          | 0.06 (2.43)         | 0.002         |

Die angegebenen kinematischen Werte (°) sind Mittelwerte (Standardabweichung); p-Wert für den Test gesunde im Vgl. mit der kranken Seite präoperativ (Wilcoxon-Test).

*Hip ROM* (°): Bewegungsausmaß der Hüfte (Winkelgrad).

*Hip\_max extension* (°): maximale Hüftextension (Winkelgrad).

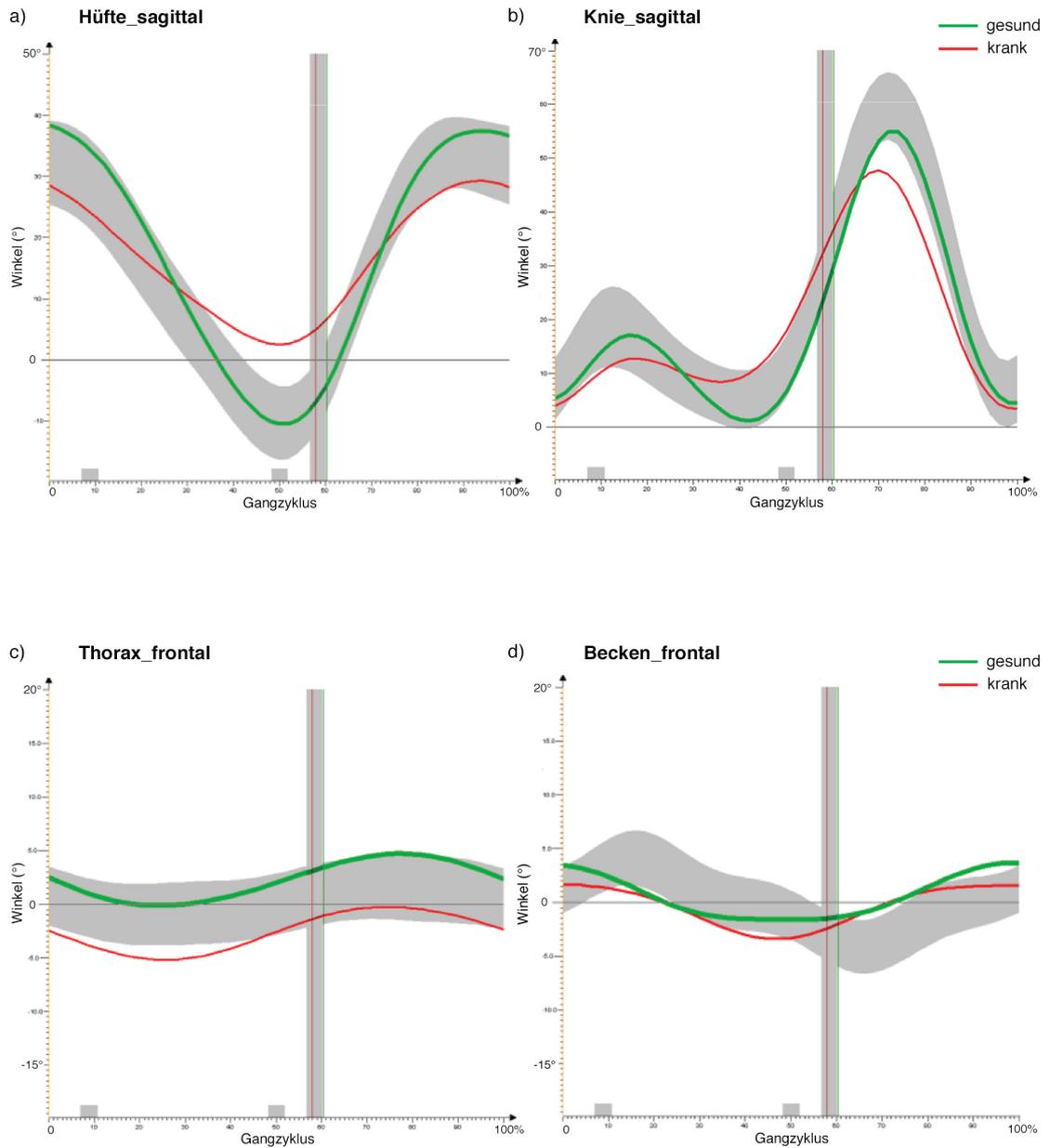
*Knee ROM* (°): Bewegungsausmaß des Kniegelenks (Winkelgrad).

*Knee\_max flexion* (°): maximale Knieflexion (Winkelgrad).

*Pelvic obliquity\_max* (°): maximale Neigung des Beckens in der Frontalebene, d.h. die Drehung des Beckens um die anteroposteriore Achse (Winkelgrad).

*Thorax obliquity\_max* (°): maximale Neigung des Thorax in der Frontalebene, d. h. die Drehung des Thorax um die anteroposteriore Achse (Winkelgrad).

**Abb. 7: Präoperative kinematische Daten**



a,b: Kinematik des Hüft- und Kniegelenks in der Sagittalebene präoperativ;  
 c,d: Kinematik von Thorax (Rumpf) und Becken in der Frontalebene präoperativ.  
 Grüne Linie: gesunde Seite, rote Linie: kranke Seite, graues Band: Bereich der einfachen Standardabweichung des Normalkollektivs.  
 Der vertikale Balken repräsentiert den Übergang der Stand- zur Schwungphase. X-Achse: Gangzyklus (%), Y-Achse: Winkelgrade (°), horizontale Linie zeigt 0° an.

Bei dem Vergleich der kinematischen Daten der gesunden und der kranken Seite postoperativ ergab sich nur bzgl. des Bewegungsausschlags des Kniegelenks (knee ROM) in der Sagittalebene ein signifikanter Unterschied ( $p=0.017$ ) (Tab. 4). Für den Bewegungsausschlag der Hüfte (hip ROM), die Hüftextension (hip\_max extension), die Knieflexion (knee\_max flexion), sowie in der Frontalebene für den Becken- (pelvic-) und den Rumpf-Schiefstand (thorax obliquity) ergab sich kein signifikanter Unterschied (Tab. 4). Somit zeigte sich postoperativ ein weitgehend symmetrisches Bewegungsmuster (Abb. 8). Fast alle postoperativen kinematischen Werte, sowohl der gesunden als auch der erkrankten Seite des Hüftgelenks (Sagittalebene), des Rumpfes und Beckens (Frontalebene) liegen über dem gesamten Gangzyklus innerhalb des einfachen Standardabweichungsbereichs des Normalkollektivs (Abb. 8 a+c+d). Die kinematischen Daten des Kniegelenks (Sagittalebene) liegen nur knapp außerhalb des einfachen Standardabweichungsbereichs. Der Kurvenverlauf für das gesunde und kranke Kniegelenk ist jedoch auch symmetrisch (Abb.8 b).

Die detailliertere Analyse des postoperativen Gangmusters in der Frontalebene zeigte auch, dass vor der umfangreichen Containment-verbessernden Operation 10 Patienten ein Duchenne-ähnliches Bewegungsmuster mit Neigung des Rumpfes zur Standbeinseite um mehr als  $3^\circ$  bei stabilem oder sogar zur Standbeinseite hin abgesenkten Becken aufwiesen. Postoperativ waren es lediglich noch 3 Kinder.

In der Transversalebene fanden sich bezüglich der Rotation am Hüftgelenk, Becken, Thorax und des Fußöffnungswinkels keine wesentlichen signifikanten Auffälligkeiten.

**Tab. 4: Kinematik postoperativ**

**Sagittalebene**

| Postoperativ      | Gesunde Seite | Kranke Seite | p-Wert            |
|-------------------|---------------|--------------|-------------------|
| Hip ROM           | 41.69 (3.75)  | 39.45 (4.97) | Nicht signifikant |
| Hip_max extension | 12.89 (5.47)  | 11.30 (6.31) | Nicht signifikant |
| Knee ROM          | 55.95 (5.24)  | 53.68 (5.35) | 0.017             |
| Knee_max flexion  | 56.30 (8.78)  | 54.96 (4.30) | Nicht signifikant |

**Frontalebene**

| Postoperativ         | Gesunde Seite | Kranke Seite | p-Wert            |
|----------------------|---------------|--------------|-------------------|
| Pelvic obliquity_max | 2.13 (3.03)   | 1.71 (3.01)  | Nicht signifikant |
| Thorax obliquity_max | 2.48 (2.26)   | 2.19 (2.01)  | Nicht signifikant |

Die angegebenen kinematischen Werte ( $^\circ$ ) sind Mittelwerte (Standardabweichung); p-Wert für den Test gesunde im Vgl. mit der kranken Seite postoperativ (Wilcoxon-Test).

*Hip ROM* ( $^\circ$ ): Bewegungsausmaß der Hüfte (Winkelgrad).

*Hip\_max extension* ( $^\circ$ ): maximale Hüftextension (Winkelgrad).

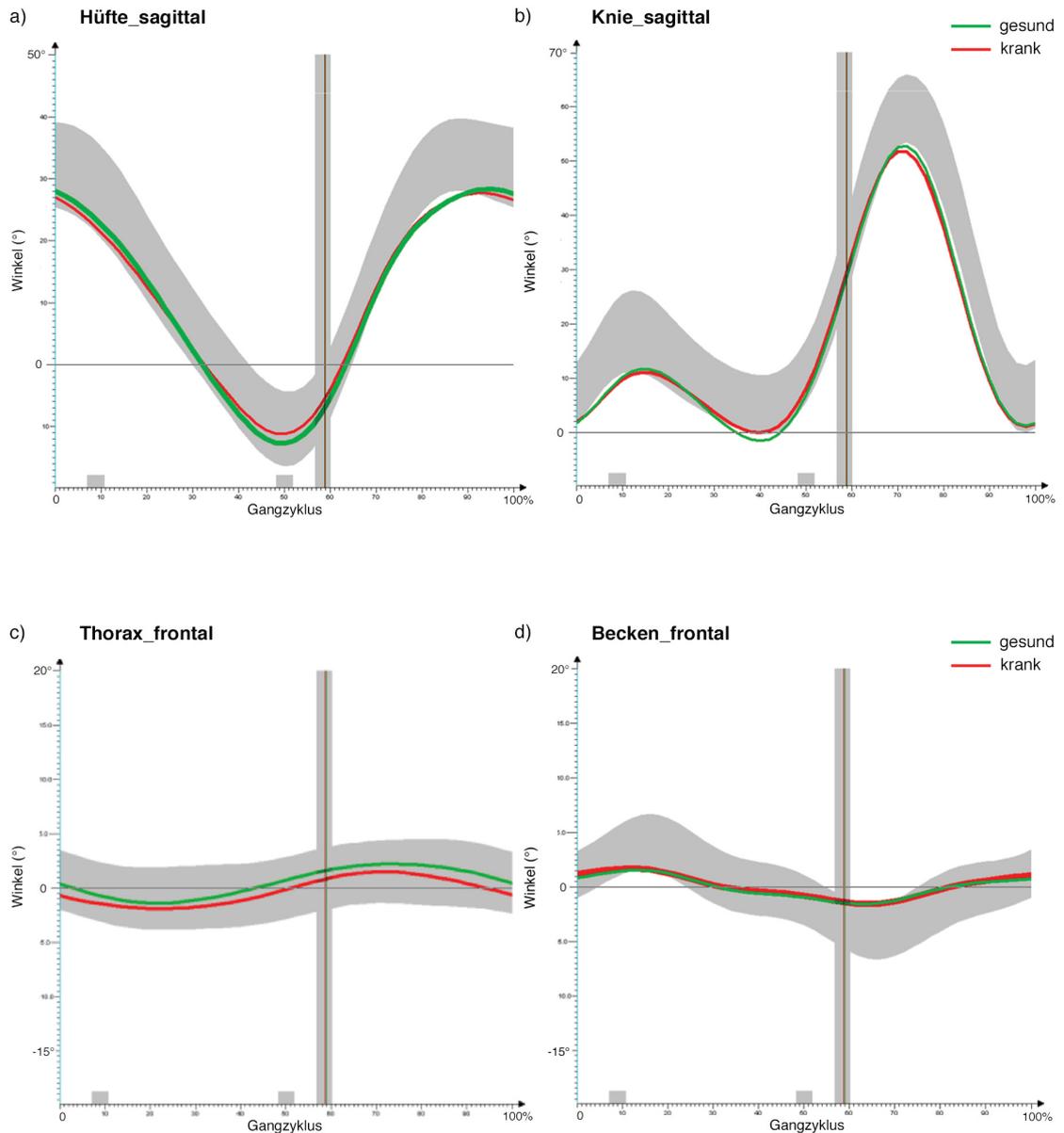
*Knee ROM* ( $^\circ$ ): Bewegungsausmaß des Kniegelenks (Winkelgrad).

*Knee\_max flexion* ( $^\circ$ ): maximale Knieflexion (Winkelgrad).

*Pelvic obliquity\_max* ( $^\circ$ ): maximale Neigung des Beckens in der Frontalebene, d.h. die Drehung des Beckens um die anteroposteriore Achse (Winkelgrad).

*Thorax obliquity\_max* ( $^\circ$ ): maximale Neigung des Thorax in der Frontalebene, d. h. die Drehung des Thorax um die anteroposteriore Achse (Winkelgrad).

**Abb. 8: Postoperative kinematische Daten**



a,b: Kinematik des Hüft- und Kniegelenks in der Sagittalebene postoperativ;  
 c,d: Kinematik von Thorax (Rumpf) und Becken in der Frontalebene postoperativ.  
 Grüne Linie: gesunde Seite, rote Linie: kranke Seite, graues Band: Bereich der einfachen Standardabweichung des Normalkollektivs.  
 Der vertikale Balken repräsentiert den Übergang der Stand- zur Schwungphase. X-Achse: Gangzyklus (%), Y-Achse: Winkelgrade (°), horizontale Linie zeigt 0° an.

### **5.2.3 Analyse des „Hip flexor index“**

Die Analyse des „Hip flexor index (HFI)“ nach Schwartz et al. (46), der ein quantitatives Maß zur Beurteilung der Hüftfunktion in der Sagittalebene darstellt, ergab präoperativ 4.60 (1.86) und postoperativ 0.01 (1.66),  $p < 0.001$ ). Der HFI normalisierte sich postoperativ - mit Ausnahme von einem – bei allen Patienten, während präoperativ 16 der 17 Kinder außerhalb des 1s-Bereichs lagen.

## 6. Diskussion

Der Aspekt „Lebensqualität“ wurde bislang in Forschungsprojekten zum Morbus Perthes nicht hinreichend analysiert. Die Diagnose Morbus Perthes hat schwerwiegende Auswirkungen auf das alltägliche Leben der betroffenen Kinder. Die Kinder erhalten Handlungsanweisungen mit Einschränkungen der sportlichen Aktivitäten (keine Sprung- und Stoßsportarten) und es folgen zeitintensive physiotherapeutische Maßnahmen bis hin zu operativer Versorgung bei schweren Verlaufsformen.

Aus diesem Grund war das zentrale Ziel der Studie den Effekt auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität nach der schwerst-möglichen Verlaufsform des Morbus Perthes mit Containment-Verlust und umfangreicher chirurgischer Behandlung zu untersuchen. Der KIDSCREEN-10-Fragebogen als ausgewähltes Messinstrument ist ein valider und etablierter Test zur Bestimmung der Lebensqualität bei Kindern (29,30,37).

Es konnte gezeigt werden, dass im Mittel 4,2 Jahre nach der komplexen Operation, sowohl exzellente klinische Ergebnisse als auch äußerst positive Resultate in Bezug auf die Lebensqualität erreicht wurden. Die an Morbus Perthes erkrankten Kinder erzielten einen signifikant höheren KIDSCREEN-Index Score (70.2 (SD 12.7)) im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe vergleichbaren Alters (56.6 (SD 10.4)), wie auch im Vergleich zu einer historischen Kontrollgruppe von 1658 deutscher Kinder im Alter von 8-18 Jahren (52.1 (SD 9.5)) (28).

Der mHHS als klinischer Funktions-Score mit den Kriterien Schmerz und Funktion stieg signifikant von 54.4 (SD 19.9) präoperativ auf 99.5 (SD 1.5) postoperativ an. Der mHHS ist ein etablierter klinischer Fragebogen zur Erfassung von Beschwerden und Problemen bei alltäglichen Aktivitäten, die durch das Hüftgelenk verursacht werden (32,33,38). Nach einer mittleren Follow-up-Zeit von 4.2 Jahren postoperativ hatten alle Patienten ein exzellentes klinisches Ergebnis mit einem mHHS von über 90 Punkten.

Diese positiven Ergebnisse zeigen, dass auch bei Kindern mit einem schweren Krankheitsverlauf des Morbus Perthes die gesundheitsbezogene Lebensqualität und die klinische Funktion nach einer komplexen Osteotomie nicht beeinträchtigt sind. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität ist sogar signifikant höher als bei gesunden Kindern. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass Kinder, die über einen langen Zeitraum in ihrem Alltag durch eine umfangreiche Therapie und erhebliche Reglementierungen ihrer Freizeitaktivitäten (keine Sprung- und Stoßsportarten) eingeschränkt waren, ihre wiedergewonnene Gesundheit mehr wertschätzen. Daraus kann der signifikant höhere KIDSCREEN-Index Score resultieren.

In weiteren Studien wäre es interessant zum Vergleich auch die präoperative Lebensqualität zu bestimmen. Dies war in dieser Studie leider nicht möglich, da der KIDSCREEN-Fragebogen erst seit 2006 etabliert ist (28); die ersten Operationen bei den Studienpatienten erfolgten schon 2002. Auch der Vergleich mit der Lebensqualität von Kindern, die eine konservative Therapie erhalten haben, wäre lohnenswert.

Weitere interessante Ergebnisse erbrachten die Korrelationsanalysen von Lebensqualität und klinischem Ergebnis. Es zeigte sich, dass Kinder mit einem besseren präoperativen mHHS, also einer besseren klinischen Funktion vor der Operation, einen höheren postoperativen Lebensqualitäts-Score (Spearman`s-rho 0.67, p=0.003) aufweisen. Eine

mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass Kinder mit einer besseren präoperativen klinischen Funktion von der Operation mehr profitieren und somit ihre postoperative Lebensqualität besser bewerten. Hierzu passend zeigten sich auch signifikante Korrelationen zwischen dem präoperativen mHHS und den postoperativen KIDSCREEN-Subskalen „sich fit und wohl fühlen“ (Kendall-tau-b 0.47,  $p=0.027$ ) und „aufmerksam sein“ (Kendall-tau-b 0.47,  $p=0.027$ ). Überraschenderweise konnten keine Korrelationen zwischen dem postoperativen mHHS und dem KIDSCREEN-10-Score gefunden werden. Dies kann möglicher Weise durch die kleine Studienpopulation von 17 Kindern und die ausgezeichneten klinischen Ergebnisse bedingt sein: Kein einziger Patient hat ein schlechtes oder mittelmäßiges klinisches Resultat und die KIDSCREEN-Ergebnisse sind besser als die der gesunden Kontrollgruppe. Weitere Studien mit einer größeren Studienpopulation sind jedoch nötig, um diese Ergebnisse zu bestätigen.

Dass die Studienpopulation in dieser Untersuchung verhältnismäßig klein ist, ist darin begründet, dass der M. Perthes mit einer Inzidenz von 1:3000 bei Jungen und 1:11.000 bei Mädchen (5) eine relativ seltene Erkrankung des kindlichen Hüftgelenks darstellt. Darüber hinaus sind die schweren Verläufe, die nicht durch konservative Maßnahmen behandelt werden können, sondern eine komplexe Operation benötigen, noch deutlich seltener. Patienten mit einer leichten Verlaufsform oder konservativer Behandlung wurden nicht einbezogen, um eine homogene Studienpopulation zu haben. Daher sahen wir es als relevant an, die kleine vorliegende Studienpopulation mit schwerer Verlaufsform und umfangreicher Osteotomie zu untersuchen.

Nach bestem Wissen ist die vorliegende Studie die erste, die versucht, die gesundheitsbezogene Lebensqualität bei Kindern, die an einem schweren Morbus Perthes erkrankt sind, zu evaluieren. Bisher gibt es nur 2 Studien, die sich mit Verhaltensfolgen des Morbus Perthes beschäftigen: Price et al. bewertete mit Hilfe der „Louisville Behavioral Checklist“ Patienten, die mit einer Orthesen-Therapie oder einer Operation behandelt wurden. Es zeigte sich, dass die „Orthesen-Gruppe“ im Vergleich zu der „Operations-Gruppe“ mehr Defizite in sozialen, akademischen und sexuellen Verhaltensweisen aufwies (39). Dagegen zeigte sich in der Studie von Khurana et al., dass Patienten, die konservativ mit einem Abduktionsgips oder –orthese behandelt wurden, nicht in ihrem emotionalen oder seelischen Wohlbefinden langfristig beeinträchtigt waren (40).

Die Diagnosestellung des Morbus Perthes löst sowohl bei den Kindern als auch den Eltern eine starke Beunruhigung aus, wenn sie über Verhaltensregeln im täglichen Leben (Einschränkungen sportlicher Aktivitäten, intensives Physiotherapieprogramm und ggf. Hüftentlastungstherapien mit Gehstützen oder einem Rollstuhl) aufgeklärt werden oder letztlich sogar in schweren Fällen die Empfehlung zu einer operativen Therapie erhalten. Die Kinder befinden sich für gewöhnlich in einem Alter, in dem motorische Aktivitäten wie zum Beispiel Fußball spielen mit ihren Freunden eine sehr wichtige Rolle einnimmt. Aus diesem Grund sorgen sich die Eltern verständlicherweise sehr um die psychosoziale Entwicklung ihres Kindes. Die Evaluierung des Lebensqualitäts-Aspekts bei Kindern mit einem Morbus Perthes ist demnach wichtig und sollte auch in Zukunft weiterverfolgt werden.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit war die Analyse des Gangbildes im Vergleich von prä- zu postoperativ mit der zentralen Frage, ob es zu einer nachweisbaren Verbesserung kommt.

Die Therapiewahl stellt beim Morbus Perthes als kinderorthopädische Krankheit bis heute eine große Herausforderung dar. Besonders die Entscheidung zur Wahl eines konservativen vs. einem operativem Therapieverfahren muss gut überlegt und abgewogen werden. Bisher basieren die Therapieentscheidungen im Wesentlichen auf radiologischen Kriterien. Das Ergebnis der Behandlung wird überwiegend anhand klinischer (subjektive Einschätzung, Gelenkbeweglichkeit) und radiologischer Parameter beurteilt. Objektiv zu messende, funktionelle Aspekte blieben bislang weitgehend unberücksichtigt.

Aus diesem Grund führten wir bei unserem Patientenkollektiv prä- und postoperativ instrumentelle 3-dimensionale Ganganalysen durch. Bei der Ganganalyse handelt es sich um ein quantitatives Verfahren zur funktionellen-dynamischen Analyse. In vorangegangenen Studien wurde die Reliabilität der Messmethode und die Reproduzierbarkeit geprüft (41,42,43). Als wesentlicher Variabilitätsfaktor wird die Markerplatzierung angesehen (34,35,43). Hierbei ist insbesondere die Befestigung des Sacrummarkers und der Ober- und Unterschenkelmarker fehleranfällig (42,43). Die Methode hat sich bisher als ein valides Verfahren und ein geeignetes Messinstrument zur Untersuchung der Auswirkung des Morbus Perthes auf das Gangbild erwiesen (41,44,45).

Mit Hilfe der Ergebnisse der prä- und postoperativen Ganganalysedaten konnten ergänzend zum „Lebensqualitäts-Aspekt“ auch die funktionell-dynamischen Aspekte analysiert werden. Die Methode der 3-dimensionalen Ganganalyse ermöglicht die Kontrolle der klinischen Funktionalität, sowie die objektive Beurteilung des Gangbildes.

Bei dem Vergleich der prä- mit den postoperativ erhobenen Ganganalysedaten zeigte die Analyse der Weg-Zeit-Parameter eine signifikante Zunahme der Gehgeschwindigkeit und der Schrittlänge auf der betroffenen Seite; der Limp-Index als Parameter zur Beurteilung der Symmetrie des Gangs normalisierte sich sogar (Tabelle 1). Bei Untersuchungen zu Schonmechanismen am Hüftgelenk, die in der Vergangenheit an Erwachsenen durchgeführt wurden, zeigten sich - wie in der vorliegenden Studie bei M. Perthes Patienten präoperativ - eine Verkürzung der Schrittlänge und eine Reduktion der Ganggeschwindigkeit, die als charakteristische Stellgrößen der Weg-Zeit-Parameter zur Entlastung des betroffenen Hüftgelenks ausgemacht wurden (46,47). Demnach ist davon auszugehen, dass postoperativ keine Entlastung des betroffenen Hüftgelenks mehr erfolgt.

Bei den kinematischen Daten konnte in der Sagittalebene im Vergleich von prä- zu postoperativ auf der erkrankten Seite eine signifikante Abnahme des Bewegungsausschlags des Beckens und der maximalen vorderen Beckenkipfung hinzu normalen Werten festgestellt werden (Tabelle 2, Abb. 6). Das Becken ist demzufolge postoperativ nicht mehr vermehrt nach ventral gekippt und sein Bewegungsausschlag ist nicht mehr vergrößert. Schon bei den kinematischen Untersuchungen von Westhoff et al. fielen in der Patientengruppe des floriden Stadiums eine deutliche vermehrte ventrale Beckenkipfung und ein erhöhtes Bewegungsausmaß des Beckens im Vergleich zum Normalkollektiv auf (45).

Auch das Bewegungsausmaß des erkrankten Hüftgelenks in der Sagittalebene stieg aufgrund der gesteigerten Hüftstreckung zu normalen Werten hin an (Tabelle 2, Abb. 6).

Das Bewegungsausmaß der erkrankten Hüfte und die Extension sind postoperativ somit nicht mehr reduziert. Diese Feststellung kann dadurch erklärt werden, dass postoperativ keine Schonung des Gelenkes durch eine Reduktion des Bewegungsausschlages und der Extension nötig ist.

Des Weiteren konnte präoperativ festgestellt werden, dass die erkrankte Seite im Vergleich zur gesunden Seite in der Sagittalebene eine signifikante Beeinträchtigung in dem Bewegungsausschlag der Hüfte, der Hüftextension, dem Bewegungsausschlag des Knies und der Knieflexion aufweist, sowie auch in der Frontalebene der Becken- und der Rumpfschiefstand einen signifikanten Unterschied zeigen (Tabelle 3, Abb. 7).

Postoperativ zeigte der Vergleich der kinematischen Daten von der betroffenen und der gesunden Seite hingegen ein normales Bewegungsmuster in der Sagittal- und Frontalebene; es fanden sich keine signifikanten Unterschiede – mit Ausnahme des Bewegungsausschlages des Kniegelenks in der Sagittalebene, der klinisch in diesem Maße jedoch bedeutungslos ist (Tabelle 4, Abb. 8). Somit zeigte sich postoperativ ein nahezu symmetrisches, physiologisches Gangbild.

Die Analysen des Gangbildes in der Frontalebene zeigten zum Nachuntersuchungszeitpunkt gesamthaft eine Verbesserung: während vor der umfangreichen Containment-verbessernden Operation 10 Patienten ein Duchenne-ähnliches Bewegungsmuster aufwiesen, war dies postoperativ nur bei 3 Kindern der Fall. Postoperativ ergeben sich Hinweise auf eine Entlastung des Hüftgelenks anhand eines Duchenne-ähnlichen Bewegungsmusters nur noch bei knapp 18% der Kinder. Der Schonmechanismus ist demnach im Endstadium meist nicht mehr erforderlich; diese Feststellung wird unterstützt durch das gute postoperative klinische Ergebnis mit keinen oder allenfalls noch geringen Schmerzen wie sich aus dem hervorragenden Ergebnis des postoperativen mHHS (99.5 (SD 1.5)) ergibt.

Der zur Beurteilung der Hüftfunktion in der Sagittalebene bestimmte „Hip flexor index (HFI)“ nach Schwartz et al. (36) normalisierte sich postoperativ bei allen bis auf einen Patienten. Präoperativ lagen 16 der 17 Kinder außerhalb des einen Standardabweichungsbereichs; während postoperativ nur noch 1 Patient außerhalb des 1s-Bereichs lag. Die Hüftfunktion erscheint somit postoperativ normalisiert, was sich schon durch die zuvor diskutierten Ergebnisse herauskristallisierte.

In der Studie von Westhoff et al. „Correlation of functional outcome and X-ray findings after Perthes disease“ (48), bei der konservativ behandelte Kinder im Reparations- und Endstadium untersucht wurden, zeigte sich, dass bei 53,8% der Kinder (7 von 13 Kindern) der HFI außerhalb des 2s-Bereichs lag. Bei den konservativ behandelten Kindern konnte demnach eine deutliche Beeinträchtigung der Hüftfunktion in der Sagittalebene festgestellt werden. Hingegen zeigte sich in der vorliegenden Studie nach Becken- und Femurosteotomie eine nahezu normalisierte Hüftfunktion.

Insgesamt konnten nach Containment verbessernder Operation mittels Becken- und Femurosteotomie signifikante Veränderungen der Weg-Zeit-Parameter, der kinematischen Daten und der Hüftfunktion in der Sagittalebene vermerkt werden, die ein physiologisches Bewegungsmuster mit Wiedererlangung der Gangsymmetrie zeigen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei Patienten mit schwerem M. Perthes, die mit einer aufwändigen operativen Maßnahme behandelt wurden, kurz- bis mittelfristig

erfreulich positive, klinische Ergebnisse erzielt werden konnten. Die ausgedehnten Maßnahmen und die mit der Erkrankung verbundenen, vorübergehenden Einschränkungen im täglichen Leben haben die gesundheitsbezogene Lebensqualität dieser Kinder nicht nachhaltig beeinflusst. Weitere Studien an einem größeren Kollektiv müssen zeigen, ob sich diese erfreulichen Ergebnisse bestätigen lassen. Außerdem sollten zusätzlich die funktionellen Ergebnisse mit den radiologischen korreliert werden. Des Weiteren müssen Langzeitstudien zeigen, ob durch den nun erzielten, physiologischen Bewegungsablauf das Arthroserisiko reduziert werden kann und wie sich die gesundheitsbezogene Lebensqualität entwickelt.

## 7. Schlussfolgerungen

Die Studie ist die Erste, die nachweist, dass Kinder mit einer schweren Perthes Erkrankung nach einer Follow-up Zeit von durchschnittlich 4,2 Jahren (Minimum 2 Jahre) und nach Containment verbessernder Operation keine Beeinträchtigung in ihrer Lebensqualität, gemessen mit dem KIDSCREEN-10 Score, haben. Der Lebensqualitäts-Status ist sogar besser im Vergleich zu einer gesunden Alters-entsprechenden Kontrollgruppe. Die besorgten Eltern können somit beruhigt werden, dass ihre Kinder zu einem normalen „Lebensgefühl“ zurückfinden.

Nach komplexer Becken- und Femurosteotomie konnte mit Hilfe der instrumentellen Ganganalyse eine signifikante Verbesserung und Normalisierung des präoperativ erheblich pathologisch veränderten Gangbildes mit Wiederherstellung der Gangsymmetrie nachgewiesen werden. Die Methode der 3-dimensionalen Ganganalyse ermöglicht die Kontrolle des funktionellen Ergebnisses/Outcomes bei der Behandlung des Morbus Perthes. Auch durch die Bestimmung des mHHS konnte postoperativ eine Verbesserung der klinischen Funktion festgestellt werden.

Weitere Studien sind nötig, um funktionelle Prädiktoren für die Langzeitprognose inklusive der Entwicklung einer Sekundärarthrose zu erkennen, die möglicherweise durch konservative oder operative Behandlungsmethoden beeinflusst werden könnten. Die Ganganalyse könnte sich zukünftig dazu eignen, den Krankheitsverlauf und die verschiedenen Therapieverfahren beim Morbus Perthes zu überwachen, um pathologische Bewegungsmuster zu erkennen und gezielt zu behandeln. Unterstützt werden könnte diese Methode durch die Erhebung eines „gesundheitsbezogenen Lebensqualitäts-Scores“ wie zum Beispiel den KIDSCREEN-10 Score, um nicht nur die Funktionalität, sondern auch die Lebensqualität zu überprüfen bzw. im Verlauf zu kontrollieren.

## 8. Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Catterall A. The natural history of Perthes` disease. *J Bone Joint Surg* 1971;53:37-53
2. Perthes GC. Über Arthritis deformans juvenilis. *Dtsch Chir.* 1910;107:111-159
3. Calvé J. Sur une forme particulière de pseudocoxalgie greffée sur déformations caractéristiques de l'extrémité supérieure du fémur. *Rev Chir.* 1910;42:54
4. Legg AT. An obscure affection of the hip joint. *Boston med Surg J* 1910; 162:202-203
5. Krauspe R., Raab P. Morbus Perthes. *Orthopäde* 1997;26:289-302
6. Perry DC, Hall AJ. The epidemiology and etiology of Perthes disease. *Orthop Clin North Am.* 2011;42:279-283
7. Fisher RL. An epidemiological study of Legg-Perthes disease. *J Bone Joint Surg* 1972;54:769-778
8. Kim HK. Legg-Calve-Perthes disease: etiology, pathogenesis, and biology. *J Pediatr Orthop* 2011;31:141-146
9. De Camargo FP, de Godoy RM, Tovo R. Angiography in Perthes` disease. *Clin Orthop Relat Res.* 1984;191:216-220
10. Hall AJ, Barker DJ, Lawton D. The social origins of Perthes` disease of the hip. *Paediatr Perinat Epidemiol* 1990;4:64-70
11. Waldenström H. Coxa plana, Osteochondritis deformans coxae. *Zentralblatt Chir.* 1920;47:539
12. Salter RB. The present status of surgical treatment for Legg-Perthes disease. *J Boint Surg* 1984; 66:961-966
13. Engelhardt P. Das Risiko der sekundären Coxarthrose nach Hüftluxation, Morbus Perthes und Epiphyseolysis capitis femoris. *Thieme* 1988
14. Niethard FU. *Kinderorthopädie.* Thieme 2009;125-128
15. Salter RB, Thompson GH. Legg-Calvé-Perthes disease. The prognostic significance of the subchondral fracture and a two-group classification of the femoral head involvement. *J Bone Jopint Surg* 1984;66:479-489
16. Herring JA, Neustadt JB, Williams JJ, et al. The lateral pillar classification of Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop* 1992;12:143-150
17. Konermann W, de Pellegrin M. Die Differentialdiagnose des kindlichen Hüftschmerzes im Sonogramm. Coxitis fugax, Morbus Legg-Calvé-Perthes, Epiphyseolysis capitis femoris. *Orthopäde* 1993;22:280-287
18. Kaniklides C, Diagnostic radiology in Legg-Calvé-Perthes disease. *Acta Radiol Suppl.* 1996;406:1-28
19. Kramer J, Hofmann S, Scheurecker A, et al. Perthes disease. *Radiologe* 2002;42:432-439
20. Herring JA., Williams JJ, Neustadt JN, et al. Evolution of femoral head deformity during the healing phase of Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop* 1993;13:41-45
21. Nelitz M., Lippacher S, Krauspe R, et al. Perthes disease: current principles of diagnosis and treatment. *Dtsch Arztebl Int* 2009;106: 517–523
22. Wild A, Westhoff B, Raab P, et al. Nonoperative treatment in Legg-Calvé-Perthes disease. *Orthopäde* 2003;32:139-145
23. Kallio P, Ryöppy S. Hyperpressure in juvenile hip disease. *Acta Orthop Scand* 1985;56:211-214
24. Thompson GH, Price CT, Roy D, et al. Legg-Calvé-Perthes disease. In Birch JG (Hrsg.): *AAOS Instructional Course Lectures.* Rosemont: American Academy of Orthopedic Surgeons 2006; 27-44

25. Cooperman DR, Stulberg SD. Ambulatory containment treatment in Perthes` disease. Clin. Orthop. 1986;203:289-300
26. Perry J. Ganganalyse. Norm und Pathologie des Gehens. 2003
27. Murray MP., Drought AB., Kory RC. Walking patterns of normal men. J Bone Joint Surg 1964;46:335-360
28. The KIDSCREEN Group Europe. The KIDSCREEN questionnaires. Quality of life questionnaires for children and adolescents. Handbook. Lengerich: Pabst Science Publishers; 2006
29. Ravens-Sieberer U, Erhart M, Rajmil L, et al. Reliability, construct and criterion validity of the KIDSCREEN-10 score: a short measure for children and adolescents` well-being and health-related quality of life. Qual Life Res. 2010;19:1487-1500
30. Erhart M, Ottova V, Gaspar T, et al. Measuring mental health and well-being of school-children in 15 European countries using the KIDSCREEN-10 index. Int J Public Health 2009;54:160-166
31. Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. J Bone Joint Surg Am 1969;51:737-755
32. Byrd JW, Jones KS. Hip arthroscopy in the presence of dysplasia. Arthroscopy 2003;19:1055-1060
33. Chan CL, Villar RN. Obesity and quality of life after primary hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Br 1996;78:78-81
34. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME, et al. Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. J Orthop Res. 1989;7: 849-860
35. Kadaba MP., Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. J Orthop Res. 1990;8:383-392
36. Schwartz MH, Novacheck TF, Trost J. A tool for quantifying hip flexor function during gait. Gait posture 2000;12:122-127
37. Barriuso-Lapresa L, Hernando-Arizaleta L, Rajmil L. Social inequalities in mental health and health related quality of life in children in Spain. Pediatrics 2012;130:528-535
38. Gillespie J, Patil S, Meek R. Clinical outcome scores for arthroscopic femoral osteochondroplasty in femoroacetabular impingement: a quantitative systematic review. Scott Med J 2015; 60:13-22
39. Price CT, Day DD, Flynn JC. Behavioral sequelae of bracing versus surgery for Legg-Calvé-Perthes Disease. J Pediatr Orthop 1988;8:285-287
40. Khurana A, Kadambande S, Goel V, et al. Psychosocial development in children with Perthes disease. Orthop Proc 2010;92:369
41. Westhoff B, Hirsch MA, Hefter H et al. Wie reliabel sind Informationen aus der 3D-Ganganalyse? Sportverl Sportschad 2004;18:76-79
42. Steinwender G, Saraph V, Scheiber S et al. Intrasubject repeatability of gait analysis data in normal and spastic children. Clin Biomech 2000;15:134-139
43. Schache AG, Blanch PD, Rath DA et al. Intra-subject repeatability of the three dimensional angular kinematics within the lumbo-pelvic-hip complex during running. Gait posture 2002;15:136-145
44. Westhoff B, Petermann A, Hirsch MA et al. Computerized gait analysis in Legg Calvé Perthes disease - analysis of the frontal plane. Gait posture 2006;24:196-202
45. Westhoff B, Martiny F, Reith A et al. Computerized gait analysis in Legg-Calvé-Perthes disease - analysis of the sagittal plane. Gait posture 2012;35:541-546

46. Watelain E, Dujardin F, Babier F et al. Pelvic and lower limb compensatory actions of subjects in an early stage of hip osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:1705-1711
47. Hulet C, Hurwitz DE, Andriacci TP et al. Mécanismes d`adaptation fonctionnelle de la marche à und douleur invalidante de la coxo-fémorale. *Rev Chir Orthop* 2000;86:581-589
48. Westhoff B, Zilkens C, Reith A et al. Correlation of functional outcome and X-ray findings after Perthes disease. *Int Orthop* 2011;35:1833-1837

## **9. Anhang**

### **Abbildungen- und Tabellenverzeichnis:**

#### **Abbildungen:**

Abb. 1: Röntgenmorphologischer Verlauf der Perthes-Erkrankung mit zugehörigem pathomorphologischem Befund (14)  
(Bilderverwendung genehmigt durch Thieme Verlag)

Abb. 2: Klassifikation nach Catterall, Salter und Thompson und Herring (14)  
(Bilderverwendung genehmigt durch Thieme Verlag)

Abb. 3: Containment Verlust

Abb. 4: Triple- und Varisationsosteotomie

Abb. 5: Ganglabor der Orthopädischen Universitätsklinik Düsseldorf

Abb. 6: Graphik prä- und postoperative kinematische Daten

Abb. 7: Graphik präoperative kinematische Daten

Abb. 8: Graphik postoperative kinematische Daten

#### **Tabellen:**

Tab. 1: Weg-Zeit-Parameter

Tab. 2: Kinematik prä- und postoperativ

Tab. 3: Kinematik präoperativ

Tab. 4: Kinematik postoperativ

## **Danksagung**

An allererster Stelle möchte ich mich bei Frau Professor Westhoff für die Bereitstellung des Themas bedanken und die intensive Betreuung, Unterstützung und konstruktive Kritik. Ein außerordentlicher Dank geht an alle Kinder, die an der Studie teilgenommen haben.

Herrn Professor Krauspe möchte besonders dafür danken, dass ich die Arbeit an seiner Klinik durchführen durfte. Ein herzlicher Dank geht an Herrn PD Dr. Zilkens und Herrn Dr. Rosenthal für ihr Engagement und ihren wertvollen Einsatz. Mein großer Dank gilt auch Frau Kamps für ihre Hilfe und tatkräftige Unterstützung bei der Ganganalyse und den technischen Herausforderungen.

Schließlich möchte ich mich noch bei meinen Eltern und meinen ehemaligen Mitbewohnern für eure liebevolle Teilnahme, das Mut machen und eure unendliche Geduld bedanken. Danke Joschi!

### **Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

Düsseldorf, den

Nina Kristin Palmen