

Aus dem CharitéCentrum für Muskuloskeletale Chirurgie
Klinik für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka
Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Ulrich Stöckle

Habilitationsschrift

Neue Aspekte der operativen Therapie der symptomatischen Hüftgelenksdysplasie beim Erwachsenen mittels periazetabulärer Osteotomie

zur Erlangung der Lehrbefähigung für das Fach
Experimentelle Orthopädie und Unfallchirurgie

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät Charité –
Universitätsmedizin Berlin

von

Dr. med. Vincent Justus Leopold

geboren in Duisburg

Eingereicht: November 2023

Dekan: Prof. Dr. Joachim Spranger

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1 Hüftdysplasie beim Erwachsenen als Entstehungsursache spezifischer Hüftbeschwerden und sekundärer Gelenkdegeneration	4
1.2 Therapie der symptomatischen Hüftdysplasie beim Erwachsenen	6
1.3 Indikation zur periazetabulären Osteotomie bei Hüftdysplasie	8
1.4 Optimierung der Gelenkbiomechanik mittels periazetabulärer Osteotomie	9
1.5 Ergebnisse nach periazetabulärer Osteotomie	11
1.6 Neue Aspekte der periazetabulären Osteotomie bei Hüftdysplasie	13
2. Ergebnisse	17
2.1 Fixationstechnik des azetabulären Fragmentes mit und ohne Querschraube	17
2.2 Stabilitäts- und Komplikationsanalyse von Schrauben- und Kirschner-Draht Fixation	18
2.3 Klinisches Outcome nach PAO mit Kirschner-Draht Fixation	19
2.4 Regionalanästhesie mittels TAP-Block bei PAO	20
2.5 Schwangerschaft nach PAO und Einfluss auf den Geburtsweg	21
2.6 Veränderungen der sportlichen Aktivität nach PAO	22
3. Diskussion	24
3.1 Wahl der Fixationstechnik bei periazetabulärer Osteotomie	24
3.2 Optimierung der perioperativen Schmerztherapie nach PAO	29
3.3 Postoperative Aspekte und Implikationen für das Leben nach PAO	30
3.3.1 Schwangerschaft nach PAO und Einfluss auf den Geburtsweg	31
3.3.2 Gelenkfunktion und sportliche Aktivität	34
4. Zusammenfassung und Ausblick	36
Literaturverzeichnis	40
Danksagung	49
Erklärung	50

Abkürzungsverzeichnis

PAO	Periazetabuläre Osteotomie
DDH	Hüftdysplasie (Developmental Dysplasia of the Hip)
CT	Computertomographie
MRT	Magnetresonanztomographie
LCEA	Lateraler Zentrum Erker Winkel (Lateral Center Edge Angle)
a.p.	anteroposterior
HTEP	Hüft-Totalendoprothese
PROMs	Patient Reported Outcome Measurements
SIAS	Spina iliaca anterior superior
SIAI	Spina iliaca anterior inferior
ISG	Iliosakralgelenk
K-Draht	Kirschner-Draht
HHS	Harris Hip Score
EA	Epiduralanästhesie
PCA	Patient controlled analgesia
TAP-Block	Transversus-abdominis-plane-Block
LIA	Infiltrationsanästhesie
PONV	Postoperative Übelkeit und Erbrechen (postop. nausea and vomiting)

1. Einleitung

1.1 Hüftdysplasie beim Erwachsenen als Entstehungsursache spezifischer Hüftbeschwerden und sekundärer Gelenkdegeneration

Die Hüftgelenksdysplasie (engl. Developmental dysplasia of the hip, DDH) ist charakterisiert durch eine defizitäre Überdachung des Femurkopfes durch das Azetabulum und stellt ein Spektrum von Pathologien dar, welches neben dem Azetabulum häufig das proximale Femur betrifft und sich über das gesamte Leben auswirkt (1). Die klassische Begriffsdefinition der Hüftdysplasie aus dem Jahre 1939 wurde über ein halbes Jahrhundert unverändert gebraucht (2). Die Begriffsentwicklung von der kongenitalen Hüftluxation hin zur entwicklungsbedingten Hüftgelenksdysplasie repräsentiert die Entwicklung des Verständnisses der Pathologie (1). Während vor Einführung der Screening-Untersuchungen mittels Hüftsonographie häufig hohe Hüftluxationen gesehen wurden, sind diese heutzutage von subtileren Pathologien abgelöst worden (2). Bei Neugeborenen erlaubt die Plastizität des Hüftgelenkes durch verschiedene nicht-operative Behandlungen über eine Reposition des Femurkopfes eine bestenfalls normale Entwicklung des Azetabulums. Für das heranwachsende Kind mit einer Hüftdysplasie wurden verschiedene Becken- sowie Femurosteotomien entwickelt, um eine normale Morphologie des Gelenkes zum Zeitpunkt der Skelettreife zu erreichen (1). Jedoch treten trotz dieser mittlerweile etablierten frühdiagnostischen und –therapeutischen Verfahren Fälle residualer Hüftdysplasien auf, da diese entweder nicht frühzeitig erkannt oder durch Behandlung in der Wachstumsphase nicht ausreichend adressiert wurden.

Häufig entstehen in diesen Fällen erst im Erwachsenenalter klinische Beschwerden. In einem relevanten Anteil der Fälle adulter Hüftdysplasien liegen zum Zeitpunkt der frühkindlichen Screeninguntersuchungen jedoch unauffällige Befunde vor (3).

Ursprünglich beruhte die Definition der Hüftdysplasie auf dem Konzept, dass durch eine steil geneigte Gelenkpfanne eine lateral defizitäre Überdachung des Femurkopfes entsteht, die mittels lateralem Zentrum-Erker-Winkel (LCEA) radiologisch nach Wiberg quantifiziert werden kann (4). Im Laufe der Jahre wurden weitere radiologische Parameter etabliert, die das Ausmaß und die Lokalisation der defizitären Überdachung des Femurkopfes durch das Azetabulum charakterisieren und dem zunehmend dreidimensionalen Verständnis der Pathologie Rechnung tragen (5). Trotz moderner Schnittbildgebung mit

Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) stellt die klinische Untersuchung ergänzt durch die a.p. Röntgenaufnahme des Beckens bzw. der Hüfte die Basis der Diagnostik der Hüftdysplasie dar, um das Ausmaß der Deformität und den präoperativen Arthrosegrad zu quantifizieren (siehe Abbildung 1). Eine ergänzende Schnittbildgebung mittels MRT ist zur Beurteilung des Knorpelstatus sowie etwaiger Labrumschäden und Begleitpathologien erforderlich (2, 5-7).



Abbildung 1: A.p. Beckenübersichtsaufnahme einer Patientin mit symptomatischer Hüftgelenkdysplasie rechts. Im Röntgen zeigen sich keine relevanten Arthrosezeichen, so dass die Indikation zur periazetabulären Osteotomie (siehe Abbildung 3) gestellt wurde.

Das aktuelle Konzept der Hüftdysplasie beim Erwachsenen beinhaltet die potentielle Instabilität des betroffenen Hüftgelenkes, die eine pathologische Beweglichkeit des Femurkopfes innerhalb des dysplastischen Azetabulums beschreibt. Diese Instabilität in Verbindung mit der reduzierten azetabulären Überdachung des Femurkopfes geht mit einer pathologischen Druckbelastung und mit Scherkräften im Bereich des Pfannenerkers einher (8). Diese Überlastung führt zu einem erhöhten Risiko für Schäden des chondrolabralen Komplexes und kann klinische Symptome in Form eines „Acetabular Rim Syndrome“ verursachen (8-10). Das häufigste Merkmal einer symptomatischen Hüftdysplasie sind Leistenschmerzen, die schleichend und typischerweise nach Belastung auftreten. Lateralseitige Schmerzen und ein Hinken bzw. ein Trendelenburg-Gang durch Ermüdung der

Abduktoren werden ebenfalls beobachtet und nehmen typischerweise bei längerer Aktivität zu (1, 11). Bei der körperlichen Untersuchung wird neben einem Hinken und einem positiven Trendelenburg-Zeichen in den meisten Fällen ein positiver Impingement-Test festgestellt, der häufig Ausdruck der Überlastung im Bereich des Pfannenerkers und des adhärenen Labrums ist. Ein positiver Apprehension-Test liegt regelhaft bei symptomatischer Instabilität vor und ist häufig von einer generalisierten Hyperlaxizität begleitet. Nicht selten geben die Patienten ein Instabilitätsgefühl und ein „giving way“ an (11-15). Unbehandelt führt die Hüftgelenksdysplasie neben hüftgelenksbezogenen Schmerzen häufig zu einer Reduktion der Gelenkfunktion und gesundheitsbezogenen Lebensqualität (16). Durch die erhöhte Druckbelastung und die Scherkräfte im Bereich des Pfannenerkers sowie der resultierenden Gelenkinstabilität kommt es zu chondralen Schädigungen und einer Labrumhypertrophie mit begleitenden Rupturen des Labrums (10, 12, 13, 17, 18). Unbehandelt mündet diese Kaskade von Überlastung durch pathologische Druck- und Scherkräfte und chondrolabraler Gelenkschädigung häufig bereits im mittleren Lebensalter in der Entstehung einer sekundären Koxarthrose (siehe Abbildung 2) (8, 19-23). Betrachtet man die unterschiedlichen Formen der Pathogenese der sekundären Koxarthrose, so stellt die residuale Hüftgelenksdysplasie eine der häufigsten Ursachen für deren Entstehung dar (19, 20, 24). Die Hüftgelenksdysplasie wird je nach Population mit einer Prävalenz von bis zu 4 % angegeben, womit sie im Sinne der Definition häufig auftritt. Die genaue Prävalenz ist jedoch nicht bekannt (1, 8).

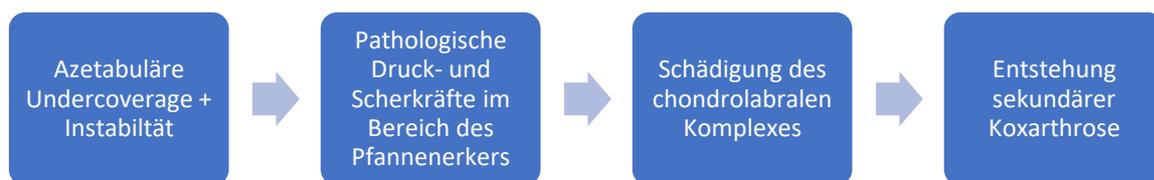


Abbildung 2: Kaskade der sekundären Gelenkschädigung und -degeneration bei Hüftgelenksdysplasie

1.2 Therapie der symptomatischen Hüftdysplasie beim Erwachsenen

Die Therapie der symptomatischen Hüftdysplasie beim Erwachsenen sollte sich nach dem Alter der Patient:innen, den Symptomen, den Aktivitätsanforderungen und der Integrität des Gelenkknorpels richten (1). Die Morphologie des Azetabulums und des proximalen Femurs sollte berücksichtigt werden. Die Rolle der langfristigen, nicht-chirurgischen Therapie bei

symptomatischer Hüftgelenkdysplasie ist durch das derzeitige Verständnis des natürlichen Verlaufs mit vorzeitigem Fortschreiten der Gelenkdegeneration bis zur endgradigen sekundären Koxarthrose und dann letztlich Notwendigkeit der endoprothetischen Versorgung begrenzt (24-28). Bei Patient:innen mit milden Symptomen, leichter Deformität, Kontraindikationen oder solchen, die für gelenkerhaltende operative Verfahren nicht in Frage kommen, kann ein konservativer Therapieversuch unternommen werden. Symptomatische Maßnahmen umfassen eine Aktivitätsmodifikation, Einnahme von NSAIDs, sowie intraartikuläre Kortikosteroidinjektionen. Darüber hinaus sollte eine Physiotherapie zur Stärkung der Hüftabduktoren und Kräftigung der Rumpfmuskulatur versucht werden, um der Instabilität entgegenzuwirken. Für den langfristigen Nutzen dieser Maßnahme besteht jedoch keine Evidenz (1). Die derzeitige Behandlung junger Patient:innen ohne Anzeichen fortgeschrittener Koxarthrose besteht vor allem in reorientierenden Beckenosteotomien zur Verbesserung der Gelenkkongruenz, der Medialisierung des mechanischen Drehzentrums und der Optimierung der Position der lasttragenden Kontaktfläche des Azetabulums mit dem Ziel die pathologischen Druckkräfte zu reduzieren (8). Zu den Behandlungsprinzipien gehört das Erreichen mechanischer Stabilität, ohne ein sekundäres iatrogenes Impingement durch eine azetabuläre Overcoverage zu verursachen (1, 5, 29, 30). Studien zur langfristigen Beurteilung der Therapieeffektivität von Beckenosteotomien im Vergleich mit der konservativen Therapie liegen nicht vor und wurden aufgrund des erhöhten Arthroserisikos bei relevanter Hüftgelenkdysplasie bereits nach Therapieetablierung der Beckenosteotomien nicht mehr durchgeführt (31). Neben der Symptomreduktion und Verbesserung der gelenkspezifischen Funktion hat die reorientierende Beckenosteotomie auch einen präventiven Charakter im Sinne der Vermeidung einer frühzeitigen Arthroseprogression und Erhalt des nativen Gelenkes (32-36). Zur Reorientierung des Azetabulums sind eine Reihe von Osteotomie-Techniken beschrieben worden, wobei sich die periazetabuläre Osteotomie nach Ganz (PAO) heutzutage international als die am häufigsten verwendete Technik zur chirurgischen Therapie der Hüftgelenkdysplasie etabliert hat und hierzu gute Langzeitergebnisse vorliegen (8, 32, 34, 37, 38).

1.3 Indikation zur periazetabulären Osteotomie bei Hüftdysplasie

Die klassische Indikation für eine PAO besteht bei skelettreifen, symptomatischen Patient:innen mit einer sphärisch kongruenten, aber dysplastischen Hüfte. In der Praxis sollte die PAO bei einer symptomatischen Hüftgelenksdysplasie in Betracht gezogen werden, die so schwerwiegend ist, dass sie ohne Korrektur eine schlechte Prognose hat (39).

Die frühzeitige Diagnose- und Indikationsstellung ist entscheidend um die Gelenkfunktion und Lebensqualität zu verbessern, sowie den natürlichen Verlauf der Hüftdysplasie positiv zu beeinflussen, eine Arthroseprogression zu verhindern und die Notwendigkeit eines Hüftgelenkersatzes hinauszuzögern oder gar zu vermeiden (39).

Neben der klinischen Untersuchung mit einem typischerweise erhöhten Bewegungsumfang und den unter 1.1 genannten klinischen Symptomen spielt die radiologische Diagnostik eine entscheidende Rolle bei der Indikationsstellung.

Radiologisch gesichert wird die Diagnose anhand einer a.p. Beckenübersichtsaufnahme ergänzt durch eine MRT und definierten Parametern. Dazu zählen ein LCEA $< 25^\circ$, ein Tragflächenwinkel (Tönnis-Winkel) $\geq 14^\circ$, sowie ein Femurkopffextrusionsindex $> 27\%$. Ebenfalls anhand des Röntgenbildes beurteilt wird der Grad der Gelenkdegeneration. Für die Indikation zur PAO sollte radiologisch ein Arthrosegrad nach Tönnis < 2 vorliegen (39-42). Von den Erstbeschreibern der Technik wurden neben einem Arthrosegrad ab Grad 2 nach Tönnis weiterhin ein Patientenalter über 40 als (relative) Kontraindikationen definiert (38, 43). Resultate rezenter Studien mit Langzeitergebnissen zeigen, dass bei zunehmender Gelenkdegeneration und höherem Patientenalter regelmäßig mit einer früheren Konversion zur HTEP zu rechnen ist, was diese Indikationskriterien unterstützt (34). Jedoch existieren ebenso Daten, dass auch Patient:innen mit einem Arthrosegrad 2 nach Tönnis sowie Patient:innen mittleren Alters funktionell von einer PAO profitieren können, was die Wichtigkeit einer patientenindividuellen Indikationsstellung und Berücksichtigung des biologischen Alters und Gelenkzustandes unterstreicht (44-47). Neben der wie oben definierten Hüftdysplasie im engeren Sinne existieren weitere Indikationen zur PAO, die in den Jahren seit deren Erstbeschreibung mit zunehmendem Verständnis für azetabuläre Pathologien beschrieben wurden. Dazu zählt die milde (sog. Borderline-) Dysplasie und begleitender symptomatischer Instabilität des Hüftgelenkes, welche ebenfalls als Risiko für eine frühzeitige Gelenkdegeneration identifiziert wurde (39, 48). Weiterhin zählen

azetabuläre Versionsanomalien wie die azetabuläre Retroversion oder azetabuläre Anteversion zu den Indikationen für die antevertierende bzw. retrovertierende PAO, deren Hauptkorrekturebene in der Transversalebene liegt. Letztere zeigen in rezenten Studien ebenfalls gute klinische Ergebnisse, vergleichbar mit der PAO bei klassischer Hüft dysplasie (49-56).

1.4 Optimierung der Gelenkbiomechanik mittels periazetabulärer Osteotomie

Im Jahr 1983 publizierten Ganz et al. mit der PAO eine neue Technik zur Reorientierung des Azetabulums bei Patient:innen mit Hüftgelenksdysplasie (37). Über einen modifizierten Smith-Peterson-Zugang werden dabei über eine einzige Inzision definierte Osteotomien entlang von Os Ischium, Os pubis sowie supra- und retroazetabulär durchgeführt. Während in der Erstbeschreibung der Technik im Rahmen des operativen Zugangs die Mm. rectus femoris und sartorius abgelöst wurden, kommen heutzutage in der Regel minder- bzw. minimalinvasive ilioinguinale Zugänge zum Einsatz, bei denen das Ablösen des M. rectus femoris bzw. M. sartorius unterbleibt (41, 57). Dabei wird zunächst über ein mediales Muskelfenster zwischen dem M. tensor fasciae latae und M. sartorius medialseitig am M. rectus femoris entlang auf das Os ischium präpariert, wo anschließend mittels eines gebogenen Meißels von ventral die erste unvollständige Sitzbeinosteotomie durchgeführt wird. Der dorsale Beckenring bleibt dabei intakt. Die Osteotomie erfolgt dabei unter strenger Kontrolle mit dem Bildwandler in a.p. und faux-profil Einstellung, um eine intraartikuläre Osteotomie zu vermeiden. Im nächsten Schritt wird das Os pubis dargestellt und nach Ablösen des Periosts unter Sicht und konsequentem Schutz subperiostal gesetzter Hohmann-Retraktoren mittels schmaler oszillierender Säge und Meißel die vollständige Schambeinosteotomie durchgeführt (43, 57). Die Osteotomie erfolgt dabei medial der Eminentia iliopubica in einem Winkel von ca. 45° von anterolateral nach posteromedial. Anschließend erfolgt über ein ilioinguinales Fenster die supra- und retroazetabuläre Osteotomie beginnend mit der supraazetabulären Osteotomie. Dazu werden die Abduktoren zunächst stumpf von der Beckenschaufel abgeschoben und anschließend durch einen stumpfen Hohmann-Retraktor geschützt. Die supraazetabuläre Osteotomie erfolgt unter Sicht mittels oszillierender Säge beginnend kaudal der Spina iliaca anterior superior (SIAS) mit ausreichender Distanz zum kranialen Pfannendach. Sie endet etwa 1 cm vor der Linea terminalis. Die Distanz zum Pfannendach sollte ca. 3 cm betragen, was das

Einbringen einer Schanzschraube zur Mobilisierung und spätere Fixation des azetabulären Fragmentes erleichtert (38, 43, 57). Auch bei dieser Osteotomie bleibt der dorsale Beckenring intakt. Die anschließende retroazetabuläre Osteotomie erfolgt in einem Winkel von ca. 110° zur supraazetabulären Osteotomie unter abermals strenger Bildwandlerkontrolle mit ausreichender Distanz zur Linea terminalis auf der einen und dem Azetabulum auf der anderen Seite. Sie erfolgt dabei in Richtung der initial unvollständig durchgeführten Sitzbeinosteotomie. Nun werden ggf. verbleibende Knochenbrücken vorsichtig unter Zuhilfenahme von Laminaspreizern und ggf. nochmaliger Osteotomie mittels eines gebogenen Meißels kontrolliert gelöst. Das somit vollständig aus dem Becken gelöste Azetabulum kann anschließend dreidimensional reorientiert werden. Eine 5 mm Schanzschraube ggf. ergänzt durch eine zweite konvergierende Schanzschraube kann im Sinne eines Joysticks die Reorientierung erleichtern (38, 57). Nach erfolgter Reorientierung der Gelenkpfanne erfolgt die passagere Fixation des Fragmentes mittels Kirschner-Drähten (K-Drähten) und anschließend die intraoperative radiologische Kontrolle mittels Röntgen oder Fluoroskopie. Ist die gewünschte Korrektur erreicht, erfolgt dann der Wechsel auf eine definitive Fixation. In der Originalbeschreibung der Technik kommen dabei Vollgewindeschrauben zum Einsatz, welche die Korrektur bis zum Zeitpunkt der knöchernen Konsolidierung der Osteotomien stabilisieren (siehe Abbildung 3) (38). Da die Osteotomien dicht am Gelenk- bzw. Pfannenrotationszentrum durchgeführt werden, ermöglicht die PAO nach Ganz eine umfangreiche Mobilisierung des Pfannenfragments und somit komplexe multiplanare Korrekturen auch größeren Umfangs (58). Die PAO führt ebenso zuverlässig zu einer Medialisierung des Rotationszentrums des Hüftgelenks und verbessert damit die Biomechanik des dysplastischen Hüftgelenks im Vergleich zu alternativ beschriebenen Techniken (8, 37). Der hintere Beckenring bleibt intakt und die Form des nativen Beckens wird in den meisten Fällen nicht signifikant verändert. Dadurch können sekundäre Auswirkungen zum Beispiel auf den Diameter des Geburtskanals bei Frauen in den meisten Fällen verhindert und eine vaginale Entbindung ermöglicht werden (8, 59-61), sowie weniger restriktive postoperative Mobilisationskonzepte zur Anwendung kommen (1, 38). Die postoperative Nachbehandlung sieht in der Regel eine sechswöchige Teilbelastung an zwei Unterarmgehstützen mit anschließender gradueller Aufbelastung vor. Bei der PAO bleibt die vaskuläre Versorgung des azetabulären Fragmentes über die Arteria glutea inferior erhalten, so dass eine gleichzeitige Hüftarthrotomie möglich ist, ohne dass eine kompromittierte Blutversorgung des Fragments

zu befürchten ist. Modifikationen der ursprünglichen Technik bestehen neben den bereits erwähnten minder- und minimalinvasiven Techniken außerdem in alternativen Fixationstechniken mit verschiedenen Fixationskonstrukten mit unterschiedlicher Schraubenzahl und -platzierung oder alternativ K-Drähten zur definitiven schraubenlosen Fixation (57, 62-66). Diese verschiedenen Aspekte haben dazu geführt, dass die Berner PAO und deren nachfolgende Modifikationen der ursprünglichen Technik in Nordamerika und Europa die am häufigsten verwendete Osteotomie zur chirurgischen Behandlung der Hüftgelenkdysplasie darstellt (8).



Abbildung 3: Reorientierung des Azetabulums mittels PAO nach Ganz rechts. Die Fixation erfolgte mit 3 Vollgewindeschrauben.

1.5 Ergebnisse nach periazetabulärer Osteotomie

Für die Ergebnisse nach PAO sind zur Beurteilung unterschiedliche Parameter heranzuziehen. Grundvoraussetzung für den Behandlungserfolg ist es, die Biomechanik des Hüftgelenkes zu verbessern, indem die defizitäre azetabuläre Überdachung des Femurkopfes durch die azetabuläre Reorientierung optimiert wird. Dazu sind die für die Hüftdysplasie charakterisierenden radiologischen Parameter heranzuziehen, um die Korrektur zu quantifizieren (5, 6). Es konnte gezeigt werden, dass durch die azetabuläre Reorientierung mittels PAO physiologische Werte azetabulärer Überdachungsparameter erzielt werden können (67). Wichtig für den Behandlungserfolg ist in diesem Kontext, im Rahmen der

azetabulären Reorientierung keine Überkorrektur herbeizuführen. Ein sonst durch Überkorrektur entstandenes iatrogenes femoroazetabuläres Impingement konnte als negativer Prädiktor für das Outcome nach PAO identifiziert werden (30, 34, 35). Ebenso scheint sich eine postoperativ verbliebene anterior defizitäre Überdachung negativ auf den Behandlungserfolg auszuwirken, weshalb im Rahmen der intraoperativen Reorientierung hierauf ein besonderes Augenmerk liegen sollte (68).

Ziel der Behandlung mittels PAO ist zum einen die Schmerzreduktion mit Verbesserung der Gelenkfunktion und zum anderen der Erhalt des nativen Hüftgelenkes. Letzteres wird in der Literatur seit Erstbeschreibung der Technik mittels (Nicht-)Konversion zur HTEP quantifiziert. Hinsichtlich der Gelenkfunktion wurden von der Berner Arbeitsgruppe historisch zur Anwendung gekommene Scores wie zum Beispiel der Harris Hip Score (HHS) oder Merle d'Aubigné-Postel Score verwendet und ein Wert unterhalb der für die Patient:innen akzeptablen Gelenkfunktion ebenfalls als Therapieversagen eingeordnet (34). Seitens der Erstbeschreiber der Technik aus der Berner Arbeitsgruppe liegen hierzu die langfristigen Ergebnisse mit mittlerweile über 30 Jahren Follow-up vor (34). In den von den Autoren beschriebenen Nachuntersuchungen wird ein erfolgreicher Gelenkerhalt in ca. 30 % der Fälle nach 30 Jahren beschrieben (34). Einschränkend muss hierzu erwähnt werden, dass die nachuntersuchte Kohorte mit 29 Hüften in 21 Patient:innen zum 30-Jahres-Follow-up relativ klein war, und bei Erstanwendung der Technik von einer gewissen Lernkurve hinsichtlich Indikationsstellung und operativer Umsetzung auszugehen ist. Rezente Langzeituntersuchungen von anderen Arbeitsgruppen sowie Metaanalysen zeigen Überlebensraten des nativen Hüftgelenkes nach PAO von über 91 % nach 10 Jahren, 85 % nach 15 Jahren und über 67 % nach 20 Jahren (32, 33, 35, 69-71).

Ergänzend zu objektiven Kriterien wie radiologischer Arthroseprogression oder des Überlebens des nativen Hüftgelenkes bzw. dem Zeitpunkt der HTEP-Konversion haben in den letzten Jahren Patient reported outcome measurements (PROMs) Einzug in die klinische und wissenschaftliche Praxis gehalten, um den Behandlungserfolg nach Durchführung einer PAO zu beurteilen (35, 36, 72, 73). Als untersucherunabhängige Messinstrumente stellen sie die subjektive Bewertung von Funktion und gesundheitsbezogener Lebensqualität durch die Patient:innen dar und helfen, die individuelle Hüftfunktion von Patient:innen prä- und postoperativ zu erfassen. Ihre Auswertung ermöglicht den Vergleich verschiedener Techniken

und damit potentiell die Verbesserung der Versorgungsqualität (72-76). In verschiedenen Studien konnten hier signifikante Verbesserungen unterschiedlicher PROMs nach PAO gezeigt werden (16, 35, 36, 73, 77). Da es sich beim Patientenkollektiv der Hüftdysplasie mit nachfolgender PAO um ein vorwiegend junges Kollektiv mit entsprechend hohem funktionellem Anspruch handelt, kommt neben der Gelenkfunktion und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität dem sportlichen Aktivitätsniveau und der Möglichkeit Sportarten auszuüben eine besondere Bedeutung zu. Patient:innen, die vor PAO Sport getrieben haben oder Aktivitäten symptombedingt einschränken mussten, möchten nach der Operation sportliche Aktivitäten wieder aufnehmen (78-84). In diesem Kontext konnte gezeigt werden, dass abhängig vom präoperativen Aktivitätsniveau in den meisten Fällen eine Rückkehr zu sportlicher Aktivität nach PAO gelingt (78, 81, 82, 84).

1.6 Neue Aspekte der periazetabulären Osteotomie bei Hüftdysplasie

In der vorliegenden Habilitationsschrift sollen neue Aspekte der operativen Therapie der Hüftdysplasie mittels PAO erörtert und analysiert werden. Die PAO wurde seit ihrer Erstbeschreibung in ihren Grundzügen nur geringfügig modifiziert. Dennoch existieren neue Aspekte sowohl im Hinblick auf die intraoperative, perioperative als auch postoperative Phase. Zu den intraoperativen Aspekten zählen zweifellos die modifizierten minder- und minimalinvasiven Zugangswege zur Realisierung der Osteotomien.

Weiterhin wurden, wie in Kapitel 1.3 schon erwähnt, seit Einführung der Technik die Fixationstechniken bei der PAO ebenfalls modifiziert und unterschiedliche Fixationsmöglichkeiten des azetabulären Fragmentes nach erfolgter Reorientierung beschrieben. Neben der ursprünglichen Technik mit Verwendung zweier kranialer durch die supraazetabuläre Osteotomie eingebrachter Schrauben, ergänzt durch eine horizontale Schraube eingebracht von der Spina iliaca anterior inferior (SIAI) in Richtung des unteren Iliosakralgelenkes (ISG), wurden im Laufe der Zeit Fixationsmöglichkeiten ohne diese horizontale Schraube beschrieben (38, 62, 64, 85). In verschiedenen Studien wurden verschiedene Fixationstechniken mit und ohne horizontale Schrauben verglichen (62, 64). Bei diesen Studien handelte es sich jedoch ausnahmslos um in-vitro-Studien. In-vivo-Studien, in denen die Stabilität von Fixationsstechniken mit und ohne horizontale „Querschraube“ verglichen werden, lagen bis dato nicht vor. Ziel von **Arbeit 1** war es daher zunächst, die Fixationsstabilität der Schraubenfixation mit und ohne horizontale Schraube bei

standardisierter postoperativer Mobilisation bei Patient:innen zu untersuchen, die sich bei Hüftdysplasie einer PAO unterzogen haben:

- Bietet die Fixation des acetabulären Fragmentes bei PAO mit und ohne Querschraube eine vergleichbare Stabilität?

Neben der zuvor beschriebenen Schraubenfixation wurde weiterhin eine alternative schraubenlose Fixation mittels definitiver K-Draht-Osteosynthese beschrieben (66). Rationale hinter dieser Technik ist, dass durch die relativ geringere Steifigkeit der Fixation ein Konstrukt mit einer gewissen Schwingfähigkeit für eine verbesserte knöcherne Konsolidierung der Osteotomien sorgt und die Rate an Pseudarthrosen reduziert (66). Bei geringerer Steifigkeit des Konstruktes könnte man in der Konsequenz von einer geringeren Fixationsstabilität und entsprechendem Komplikationspotential dieser modifizierten Fixationstechnik ausgehen. Ziel von **Arbeit 2** war es daher, die Fixationsstabilität sowie die Implantat-assoziierten Komplikationen der definitiven K-Draht-Fixation bei PAO zu untersuchen und mit der zuvor als Standard beschriebenen Schraubenfixation zu vergleichen. Ferner sollte untersucht werden, inwieweit sich die klinischen Ergebnisse gemessen an PROMs sowie dem Überleben des nativen Hüftgelenkes bei beiden Fixationstechniken zum 5-Jahres-Follow-up unterscheiden (**Arbeit 3**). Für die Analyse von Fixationsstabilität und Komplikationen sowie klinischem Outcome sind folgende Fragen zu beantworten:

- Ist die schraubenlose Fixation mit K-Drähten bei PAO sicher?
- Unterscheidet sich die Fixationsstabilität der K-Draht-Fixation bei gleichem postoperativen Mobilisationsschema von der Fixation mit Schrauben?
- Unterscheiden sich klinische Resultate gemessen an PROMs und Gelenkerhalt zwischen K-Draht und Schraubenfixation?

Betrachtet man die perioperative Phase, ist festzuhalten, dass die PAO auch nach Einführung minimalinvasiver Techniken durch das relevante chirurgische Trauma des Zugangs und der Osteotomien meist mit ausgeprägten postoperativen Schmerzen einhergeht. Bei der Behandlung derselben kommen multimodale Schmerzkonzepte ergänzt durch Regionalverfahren zum Einsatz. Es konnte gezeigt werden, dass neben Epiduralanästhesie (EA) und intravenöser patientenkontrollierte Analgesie (PCA) mit Opioiden, welche regelhaft mit postoperativer Übelkeit und Erbrechen (PONV) einhergehen, der Transversus-abdominis-

plane-Block (TAP-Block) eine sichere, effektive und nebenwirkungsarme Alternative zu den genannten Verfahren darstellt. Durch den Einsatz des TAP-Block bei PAO kann der postoperative Opioidverbrauch signifikant gesenkt werden, was im Hinblick auf deren Nebenwirkungen in der Phase früher postoperativer Mobilisation erstrebenswert ist (86). Jedoch werden auch bereits intraoperativ bei PAO relevante Mengen dieser Opiode zur suffizienten Schmerztherapie benötigt. Bisher unklar ist, ob sich der TAP-Block nach unmittelbar präoperativer Anlage ebenso positiv auf den intraoperativen Opioidverbrauch auswirkt, was in **Arbeit 4** untersucht wurde:

- Lässt sich durch präoperativ applizierten TAP-Block der intraoperative Opioidverbrauch bei PAO reduzieren?

Betrachtet man den kurz- bis mittelfristigen postoperativen Zeitraum nach PAO, ist für die meist jungen Patient:innen neben einer verbesserten Gelenkfunktion und Schmerzreduktion die Rückkehr zu einer möglichst uneingeschränkten Lebensführung von enormer Wichtigkeit. Diese schließt in den meisten Fällen ein gewisses Aktivitätsniveau sowie bei weiblichen Patientinnen, welche den überwiegenden Anteil der Fälle von Hüftdysplasie ausmachen, einen möglichen Kinderwunsch mit ein.

Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, verändert die PAO in den meisten Fällen den knöchernen Geburtskanal nicht signifikant. Da die Hüftdysplasie überwiegend bei Frauen auftritt und meist jüngere Patientinnen für eine Hüftgelenkerhaltende Operation in Frage kommen, wird die PAO meist bei weiblichen Patientinnen im gebärfähigen Alter durchgeführt. Jedoch ist unklar, inwieweit sich eine stattgehabte PAO tatsächlich auf den Geburtsweg und die letztliche Entscheidung werdender Mütter mit Hüftdysplasie und erfolgter PAO auswirkt. Ziel von **Arbeit 5** war es daher, den Einfluss der PAO auf Schwangerschaft und Geburtsweg bei weiblichen Patientinnen zu untersuchen:

- Hat eine stattgehabte PAO bei Patientinnen und behandelnden Ärzten Einfluss auf die Schwangerschaft und den gewählten Entbindungsweg?

Bezogen auf das Aktivitätsniveau nach PAO ist, wie in Abschnitt 1.4 beschrieben, die sportliche Aktivität für die meist jungen und aktiven Patient:innen mit Hüftdysplasie wichtig und die Möglichkeit zur Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten für die Entscheidungsfindung bezüglich der Durchführung einer Operation von Bedeutung. Ziel von **Arbeit 6** war es daher,

den Einfluss der PAO auf das sportliche Aktivitätsniveau sowie mögliche Anpassungen sportlicher Aktivität und die zugrundeliegenden Gründe zu untersuchen:

- Können Patient:innen nach PAO zum präoperativen Aktivitätsniveau zurückkehren?
- Verändern Patient:innen nach PAO ihre sportliche Aktivität qualitativ oder quantitativ?
- Was sind Gründe für postoperative Anpassung der sportlichen Aktivität?

2. Ergebnisse

2.1 Fixationstechnik des azetabulären Fragmentes mit und ohne Querschraube (**Arbeit 1**)

Leopold VJ, Conrad J, Hipfl C, Müllner M, Khakzad T, Perka C, Hardt S.

Is transverse screw fixation really necessary in PAO? - A comparative in vivo study.

J Hip Preserv Surg. 2021 May 3;8(1):125-131.

Link: <https://doi.org/10.1093/jhps/hnab034>

Neben der ursprünglichen Fixationstechnik mit horizontaler Schraube wurden auch solche ohne Verwendung einer horizontalen Schraube beschrieben (41, 62, 64, 85). In-vivo-Studien, in denen die Stabilität von Fixationstechniken mit und ohne horizontale Schraube verglichen werden, lagen jedoch nicht vor. Die Stabilität zweier Fixationskonstrukte mit und ohne horizontale Schraube wurden unter der Voraussetzung desselben postoperativen Mobilisationsschemas in dieser Arbeit anhand radiologischer Daten untersucht. Die Dysplasie-relevanten radiologischen Parameter wurden präoperativ, unmittelbar postoperativ und nach drei Monaten gemessen. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, weil die Patient:innen zu diesem Zeitpunkt die Vollbelastung erreicht hatten. Ein Verlust der Korrektur wäre daher in diesem Zeitraum am ehesten und danach weniger wahrscheinlich. Ein Korrekturverlust wurde definiert als Differenz zwischen der Initialkorrektur zum unmittelbaren postoperativen Zeitpunkt und nach 3 Monaten. Ein signifikanter Korrekturverlust wurde definiert als ein Verlust der azetabulären Fixation, der eine Revision erforderte oder ein Delta-LCEA von $>5^\circ$. Es bestand kein Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich präoperativer radiologischer Parameter oder Ausmaß der Korrektur. Beide Gruppen zeigten nahezu identische Werte für Initialkorrektur nach der Operation und Korrektur nach drei Monaten. Es gab keinen Unterschied zwischen den beiden untersuchten Schraubenfixationen in Bezug auf Stabilität und Korrekturverlust. Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die Fixation ohne Verwendung einer horizontalen Schraube eine sichere Option bei PAO mit vergleichbarer Stabilität darstellt.

2.2 Stabilitäts- und Komplikationsanalyse von Schrauben- und Kirschner-Draht Fixation (Arbeit 2)

Leopold VJ, Conrad J, Zahn RK, Hipfl C, Perka C, Hardt S.

Fixation stability and implant-associated complications in periacetabular osteotomy: a comparison of screw and K-wire fixation.

Arch Orthop Trauma Surg. 2023 Feb;143(2):691-697.

Link: <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04112-7>

Alternativ zur Schraubenfixation wurde die schraubenlose Fixation mittels K-Drähten bei PAO beschrieben (66). Ziel dieser Studie war es, die Fixationsstabilität und die Implantat assoziierten Komplikationen beider Techniken zu vergleichen. 191 PAOs (99 mit K-Drähten/92 mit Schrauben) wurden untersucht. Die erfassten klinischen Parameter waren die OP-Dauer, Minor- (Implantat assoziierte Weichteilirritation und die Implantatmigration) und die Major-Komplikationen (Implantatversagen und Pseudarthrose). Radiologische Parameter charakterisierend für die Hüft dysplasie wurden präoperativ, postoperativ und nach 3 Monaten gemessen. Ein Korrekturverlust wurde definiert als Differenz zwischen Initialkorrektur unmittelbar postoperativ und nach 3 Monaten. Ein klinisch signifikanter Korrekturverlust wurde definiert als solcher, der eine Revision erforderte, oder ein Delta-LCEA von mehr als 5°. Die OP-Dauer war in der K-Draht-Gruppe signifikant kürzer ($p < 0,001$). Weichteilirritationen traten signifikant häufiger in der K-Draht- (72/99) als in der Schraubengruppe (36/92) auf ($p < 0,001$). Eine Implantatmigration wurde bei 0/99 Hüften in der Schraubengruppe im Vergleich zu 4/92 Hüften in der K-Draht-Gruppe beobachtet ($p = 0,121$). In beiden Gruppen traten keine Major-Komplikationen auf. Die relevanten radiologischen Parameter wurden in beiden Gruppen postoperativ signifikant verbessert ($p < 0,001$). In beiden Gruppen wurde kein signifikanter Korrekturverlust beobachtet. Die K-Draht-Fixation ist eine sichere Alternative zur Schraubenfixation bei PAO mit vergleichbarer Stabilität. Ein Vorteil der Methode ist die potentiell verkürzte OP-Dauer. Ein Nachteil ist die signifikant höhere Rate an Implantat assoziierten Weichteilirritationen, die eine Implantatentfernung erforderlich machen.

2.3 Klinisches Outcome nach PAO mit Kirschner-Draht Fixation (**Arbeit 3**)

Leopold VJ, Hipfl C, Zahn RK, Pumberger M, Perka C, Hardt S

Periacetabular osteotomy with a modified fixation technique using K-wires shows comparable results to classic screw fixation at mid-term follow-up

J Clin Med. 2023 Sep 26;12(19):6204.

Link: <https://doi.org/10.3390/jcm12196204>

Die modifizierte Fixation mit K-Drähten wurde als praktikable und sichere Alternative bei der PAO beschrieben. Eine klinische Nachuntersuchung von Patient:innen, die mit dieser Technik behandelt wurden, liegt jedoch nicht vor. Ziel dieser Studie war es daher, klinische Behandlungsergebnisse bei PAO Patient:innen zu untersuchen, die mit K-Draht-Fixationstechnik versorgt wurden und die Ergebnisse mit den Ergebnissen nach PAO und Schraubenfixation zu vergleichen. Insgesamt 120 Fälle mit vollständigen Datensätzen wurden in die endgültige Analyse eingeschlossen. PAOs mit K-Draht-Fixation (n=63) wurden mit Schraubenfixierung (n=57) verglichen. Das mittlere Follow-up betrug 63±10 Monate. Das funktionelle Ergebnis wurde mittels International Hip Outcome Tool-12 (iHOT 12), dem Subjective Hip Value (SHV) und dem UCLA-Aktivitätsscore (UCLA) erfasst. Schmerz und Patientenzufriedenheit (NRS) wurden erhoben. Als Versagen der PAO wurde die Konversion zur HTEP definiert. Die präoperative Ausgangsfunktion war in beiden Gruppen vergleichbar. In beiden Gruppen verbesserten sich PROMs ($p < 0,001$) und Schmerzen ($p < 0,001$) signifikant. Das postoperative funktionelle Ergebnis war in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich: iHOT 12 (71,8±25,1 vs. 73±21,1; $p = 0,789$), SHV (77,9±21,2 vs. 82,4±13,1; $p = 0,192$), UCLA (6,9±1,6 vs. 6,9±1,9; $p = 0,909$), Schmerzen (2,4 ±2,1 vs. 2,0 ±2,1; $p = 0,302$). Die Patientenzufriedenheit unterschied sich nicht signifikant (7,6±2,6 vs. 8,2±2,2; $p = 0,170$). Die Konversionsrate zur HTEP war in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich (2 vs. keine; $p = 0,497$). Die PAO mit K-Draht-Fixation zeigt gute klinische Ergebnisse bei mittelfristiger Nachbeobachtung, vergleichbar mit denen der PAO mit Schraubenfixation. Die Technik kann daher als eine äquivalente Alternative bei der Wahl der Fixationsmethode bei PAO betrachtet werden.

2.4 Regionalanästhesie mittels TAP-Block bei PAO (**Arbeit 4**)

Löchel J, Wassilew GI, Krämer M, Kohler C, Zahn RK, **Leopold VJ**.

Transversus Abdominis Plane Block Reduces Intraoperative Opioid Consumption in Patients Undergoing Periacetabular Osteotomy.

J Clin Med. 2022 Aug 24;11(17):4961.

Link: <https://doi.org/10.3390/jcm11174961>

Die intraoperative Analgesie bei Patient:innen, die sich einer PAO unterziehen, ist aufgrund des chirurgischen Traumas, welches mit Schmerzen verbunden ist, eine Herausforderung. Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen des TAP-Block auf den intraoperativen Opioidverbrauch und die Kreislaufparameter bei PAO-Patient:innen zu untersuchen. Wir führten eine randomisiert-kontrollierte Studie mit zwei Gruppen durch, an der 42 konsekutive Patient:innen teilnahmen. Die Patient:innen der Studiengruppe erhielten vor Beginn der Operation und nach Einleitung der Vollnarkose einen ultraschallgesteuerten TAP-Block mit 0,75 % Ropivacain. Die Kontrollgruppe erhielt keinen TAP-Block. Die Allgemeinanästhesie wurde nach einem festgelegten Studienprotokoll durchgeführt. Primärer Endpunkt der Studie war der intraoperative Opioidverbrauch, gemessen in Morphin-Äquivalentdosis (MED). Sekundäre Endpunkte waren intraoperative Herzfrequenz, der mittlere arterielle Druck (MAP), die Notwendigkeit einer Hypotoniebehandlung und die Dauer des Krankenhausaufenthalts (LOHS). Alle Operationen wurden von einem einzigen erfahrenen Hüftchirurgen durchgeführt. Alle TAP-Block-Verfahren wurden von einem einzigen erfahrenen Anästhesisten durchgeführt. Ein signifikant niedrigerer intraoperativer Opioidverbrauch wurde in der TAP-Block-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe (930 vs. 1186 MED pro kg Körpergewicht; $p = 0,016$) beobachtet. Bei den sekundären Ergebnisparametern wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Es traten keine perioperativen Komplikationen auf. Der ultraschallgesteuerte TAP-Block ist ein sicheres Verfahren und reduziert den intraoperativen Opioidverbrauch bei Patient:innen, die sich einer PAO unterziehen, signifikant.

2.5 Schwangerschaft nach PAO und Einfluss auf den Geburtsweg (**Arbeit 5**)

Schömig F, Hipfl C, Löchel J, Perka C, Hardt S, **Leopold VJ.**

Periacetabular Osteotomy and Postoperative Pregnancy-Is There an Influence on the Mode of Birth?

J Clin Med. 2022 Aug 18;11(16):4836.

Link: <https://doi.org/10.3390/jcm11164836>

Als chirurgische Behandlungsoption bei symptomatischer Hüftdysplasie der Hüfte wird die PAO häufig bei Patientinnen im gebärfähigen Alter durchgeführt (87). Bislang ist jedoch wenig über den Einfluss des Eingriffs auf postoperative Schwangerschaften und den Weg der Entbindung bekannt. Ziel unserer Studie war es daher, die Entscheidungsfindung von Patientinnen und Ärzten bei Frauen nach PAO zu untersuchen. Wir luden alle Patientinnen, die sich von Januar 2015 bis Juni 2017 in unserer Einrichtung einer PAO unterzogen hatten, zur Teilnahme an einer Umfrage ein. Insgesamt wurden 87 Patientinnen eingeschlossen, von denen 20 nach PAO insgesamt 26 Kinder zur Welt brachten. Das mittlere Follow-up betrug 5,3 Jahre. Vier (20,0 %) Patientinnen gaben an, dass ihr behandelnder Gynäkologe wegen der PAO besorgt war. Die mittlere Zeit bis zur Geburt des ersten Kindes betrug $2,9 \pm 1,3$ Jahre. Elf (55,0 %) Patientinnen unterzogen sich bei der ersten Entbindung nach PAO einem Kaiserschnitt, wobei drei von ihnen ihre PAO-Anamnese als Grund für diese Art der Entbindung angaben. Patientinnen mit einer PAO-Anamnese haben ein höheres Risiko, ihr Kind per Kaiserschnitt zu entbinden, als die Allgemeinbevölkerung, in der die Kaiserschnitttrate bei 29,7 % liegt. Da Kaiserschnitte im Vergleich zu vaginalen Entbindungen mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität verbunden sind, sind evidenzbasierte Empfehlungen für Schwangerschaften nach Beckenosteotomie erforderlich.

2.6 Veränderungen der sportlichen Aktivität nach PAO (**Arbeit 6**)

Leopold VJ, Szarek A, Hipfl C, Pumberger M, Perka C, Hardt S, Löchel J.

Changes in Sports Activity After Periacetabular Osteotomy: A Qualitative and Quantitative Analysis.

Am J Sports Med. 2023 Feb;51(2):481-486.

Link: <https://doi.org/10.1177/03635465221142320>

Patient:innen, die sich bei symptomatischer Hüft dysplasie einer PAO unterziehen, sind in der Regel jung und aktiv und verfügen über einen hohen funktionellen Anspruch. Diejenigen, die Sport treiben, möchten ihre sportlichen Aktivitäten postoperativ wiederaufnehmen oder beibehalten. Über das postoperative Aktivitätsniveau und das Ausmaß, in dem sich die sportliche Aktivität nach einer PAO sowohl qualitativ als auch quantitativ verändert, besteht kaum Evidenz. Ziel dieser Studie war es, die Veränderung des Aktivitätsniveaus, gemessen anhand des University of California Los Angeles (UCLA) Aktivitätsscores, sowie Veränderungen der sportlichen Aktivität zu ermitteln. Daten von 123 Hüften bei 111 Patient:innen, die sich zwischen Januar 2015 und Juni 2017 einer PAO unterzogen, wurden ausgewertet. Erhoben wurden der UCLA-Aktivitätsscore, das International Hip Outcome Tool 12 (iHOT-12) und der Subjective Hip Value (SHV) sowie sämtliche ausgeübten Sportarten, die Häufigkeit und Dauer der sportlichen Aktivität und die Zeit bis zur Rückkehr zum Sport. Eventuelle Änderungen der ausgeübten Sportarten und die Gründe für diese Änderungen wurden ebenfalls erfasst. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation betrug $27,7 \pm 7,3$ Jahre. Das mittlere Follow-up betrug 63 ± 10 Monate. Der UCLA-Score ($5,1 \pm 2,44$ vs. $7 \pm 1,74$; $p < 0,001$), iHOT-12 ($41,4 \pm 22,2$ vs. $72,6 \pm 22,9$; $p < 0,001$) und SHV ($42,8 \pm 24,3$ vs. $80,4 \pm 17,8$; $p < 0,001$) nahmen prä- zu postoperativ signifikant zu. Signifikant mehr Patient:innen nahmen postoperativ an Low-impact-Sportarten teil ($31,7\%$ vs. 52% ; $p = 0,001$). Die Teilnahme an High-impact-Sportarten nahm ab (präoperativ $42,3\%$ gegenüber $36,6\%$ postoperativ; $p = 0,361$). Die Gesamtquote der sportlichen Aktivität stieg signifikant an ($78,8\%$ vs. $90,8\%$; $p = 0,008$). Quantitativ nahmen sowohl die Sporthäufigkeit in Einheiten pro Woche ($p < 0,001$) als auch die Dauer der Einheiten ($p = 0,007$) signifikant zu. Insgesamt 52 Patient:innen (42%) wechselten postoperativ die sportlichen Aktivitäten. Davon gaben 35 ($28,4\%$) an, dass sie nach der Operation mit zuvor ausgeübten Sportarten aufgehört hatten, während 17 ($13,8\%$)

berichteten, dass sie neue Sportarten begonnen hatten. Die Gründe für Neuaufnahme und das Beenden bestimmter Sportarten waren unterschiedlich und beinhalteten sowohl hüftbezogene als auch nicht hüftbezogene Gründe. In nur 2 Fällen wurde der Rat des Arztes als Grund für den Wechsel der Sportart angegeben. Nach PAO können Patient:innen ihre sportlichen Aktivitäten sowohl qualitativ als auch quantitativ verbessern. Ein relevanter Anteil der Patient:innen passt jedoch seine sportlichen Aktivitäten aus einer Reihe von hüftbezogenen und nicht hüftbezogenen Gründen an.

3. Diskussion

In der vorliegenden Habilitation wurden intraoperative, peripoperative und postoperative Aspekte bei Patient:innen mit Hüftgelenkdsplasie untersucht, die sich bei symptomatischer Hüftdysplasie einer periazetabulären Osteotomie unterzogen haben. Neue operative Aspekte bei der Wahl der Fixationstechnik (Arbeit 1, 2 und 3) umfassen Stabilität, Komplikationspotential und klinische Resultate der verschiedenen untersuchten Fixationstechniken. Diese Aspekte können zukünftig in der Planung des operativen Vorgehens bei PAO berücksichtigt werden. Arbeit 1 und 2 zeigten dabei, dass bei den unterschiedlichen Fixationstechniken mit Schrauben oder K-Drähten eine äquivalente Stabilität bei Umsetzung eines standardisierten Mobilisationsschemas besteht, wobei sich im Hinblick auf Implantat-assoziierte Komplikationen Unterschiede zwischen den Techniken zeigten. Diese Unterschiede hatten jedoch keinen Einfluss auf die postoperative Patientenzufriedenheit oder die Gelenkfunktion. Zusätzlich ist der perioperativ wichtige Aspekt der adäquaten, multimodalen Schmerztherapie bei PAO (Arbeit 4) untersucht worden und mit dem TAP-Block ein effektives, sicheres Verfahren etabliert worden, mit dem die Therapie bei PAO-Patient:innen weiter optimiert werden kann. Es konnte gezeigt werden, dass sich neben dem postoperativen Opioidverbrauch mit dem genannten Verfahren auch der intraoperative Opioidverbrauch effektiv reduzieren lässt. Weiterhin wurden Aspekte des postoperativen Zeitraumes, die für die meist jungen Patient:innen im Nachgang der Operation von entscheidender Wichtigkeit sind, untersucht (Arbeit 5 und 6) und können in Zukunft bei Patientenedukation und Therapieentscheidung berücksichtigt werden. So konnte bei weiblichen Patientinnen ein Einfluss auf die postoperative Schwangerschaft bzw. den Geburtsweg nachgewiesen werden. Weiterhin konnte in einer detaillierten qualitativen und quantitativen Analyse des sportlichen Aktivitätsniveaus gezeigt werden, dass Patient:innen nach PAO einen aktiven Lebensstil beibehalten und ausbauen können, dabei jedoch häufig Anpassungen der sportlichen Aktivität zu beobachten sind.

3.1 Wahl der Fixationstechnik bei periazetabulärer Osteotomie

Bei rechtzeitiger und korrekter Indikationsstellung ist die gelenkerhaltende chirurgische Therapie der Hüftdysplasie mittels PAO eine effektive, kosteneffiziente Behandlungsoption, durch die sich Schmerzen reduzieren sowie gelenkspezifische Funktion und Lebensqualität verbessern lassen (16, 35, 36, 77, 88-91) sowie das native Hüftgelenk meist langfristig erhalten

werden kann (32-34, 70, 71, 92). Voraussetzung für den Operationserfolg ist, das reorientierte acetabuläre Fragment über den Zeitraum der knöchernen Konsolidierung mittels Osteosynthese sicher zu fixieren, da ansonsten ein Korrekturverlust die Folge sein kann. Ein solcher Korrekturverlust kann nach PAO in bis zu 4 % der Fälle auftreten (93). Neben der Fixationsstabilität existieren weitere für die Wahl der Fixationstechnik wichtige Faktoren.

In Arbeit 1,2 und 3 wurden für verschiedene Fixationstechniken die folgenden drei Faktoren untersucht, die künftig bei der Wahl der Fixationstechnik bei PAO berücksichtigt werden können:

1. Stabilität des Fixationskonstruktes
2. Implantat assoziierte Komplikationen
3. Gelenkfunktion und Patientenzufriedenheit

Bei der Fixationstechnik ohne horizontale Schraube werden analog zum Vorgehen der Originalbeschreibung 3–4 Vollgewindeschrauben vom Beckenkamm ausgehend in das acetabuläre Fragment eingebracht und auf eine horizontale Schraube verzichtet. Einige Arbeiten beschreiben sogar die Fixierung mit nur zwei auf diese Weise eingebrachten Schrauben (62, 64, 65, 85, 94, 95).

In Bezug auf die Stabilität der Fixation ohne horizontale Schraube untersuchten verschiedene Studien die Fixationsstabilität unter in-vitro Bedingungen. In einer Studie von Babis et al. verglichen die Autoren die Fixationsstabilität mit und ohne horizontale Schraube in einem Kadavermodell. Im ersten Modell wurden dabei drei Schrauben von der SIAS in das Fragment ohne zusätzliche horizontale Schraube eingebracht und im zweiten Modell eine Fixation mit zwei Schrauben und einer zusätzlichen horizontalen Schraube analog zur Erstbeschreibung der PAO (62). Im Kadaver-Modell wurde die Abstoßphase während des Gangzyklus simuliert, wobei die Autoren eine höhere Steifigkeit und höhere Versagenslast im Modell mit horizontaler Schraube zeigten, die jedoch nicht signifikant war. In einer weiteren rezenten Studie von Yang et al. wurden in einem Finite Element Modell anhand von CT-Datensätzen von PAO-Patient:innen die biomechanische Performance von den genannten Fixationskonstrukten mit und ohne Horizontalschraube simuliert, wobei kein signifikanter mechanischer Vorteil für die Fixation mit Horizontalschraube festgestellt wurde. Darüber hinaus zeigten die Autoren in ihrem Modell, dass die am weitesten medial platzierte Schraube

entscheidend für die Stabilität war (95). Im Rahmen dieser Habilitation wurden in Arbeit 1 in einer in-vivo Untersuchung unter den Bedingungen eines standardisierten postoperativen Mobilisationsschemas anhand radiologischer Daten die Stabilität der Konstrukte analog zu der o.g. Studie miteinander verglichen. In beiden Gruppen wurden die radiologischen Parameter LCEA, TA und FHEI signifikant verbessert und in beiden Gruppen eine Korrektur vergleichbaren Ausmaßes durchgeführt. Es zeigte sich zum Nachuntersuchungszeitpunkt kein relevanter Korrekturverlust und kein Fall von Versagen der Osteosynthese oder der Implantate. Es kann also festgehalten werden, dass die Fixation ohne horizontale Schraube eine sichere Option darstellt.

In Arbeit 2 wurde methodisch analog die in-vivo-Stabilität der Schraubenfixation mit der definitiven schraubenlosen Fixation mit gewindelosen K-Drähten verglichen. Auch hier wurde in beiden Gruppen eine signifikante Korrektur vergleichbaren Ausmaßes erzielt. Auch in diesem Vergleich wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den untersuchten Fixationstechniken in puncto Korrekturverlust beobachtet und es kam in keiner Gruppe zu einem Versagen der Osteosynthese oder der Implantate, was die Schlussfolgerung rechtfertigt, dass die definitive schraubenlose Fixation mittels K-Drähten bei PAO eine sichere Alternative zur Schraubenfixation darstellt (94, 96, 97). Während das Risiko für Komplikationen wie dem Korrekturverlust sowie dem Implantat- und Osteosyntheseversagen mit den drei untersuchten Fixationstechniken also gering ist, ist eine häufig auftretende Minor-Komplikation die Implantat-bedingte Weichteilirritation im Bereich des Beckenkammes. Diese macht im Nachgang der Operation häufig eine Implantatentfernung erforderlich und tritt laut Literatur in 4-72 % der Fälle auf (94). Im Vergleich von K-Draht und Schraubenfixation wurden in Arbeit 2 in dieser Hinsicht signifikante Unterschiede beobachtet. Bei K-Draht-Fixation waren in 72,7 % eine Implantatentfernung aufgrund von Weichteilirritation erforderlich, verglichen mit 39 % in der Schraubengruppe. Die Begründung hierfür liegt höchstwahrscheinlich zum einen im relativ größeren Anteil an überstehendem Osteosynthesematerial im Bereich des Beckenkammes und zum anderen an der relativ größeren Beweglichkeit der gewindelosen K-Drähte, was in der erhöhten Rate an Implantatmigration (4 % vs. 0 %) in den Ergebnissen der Arbeit wiedergespiegelt wird.

In Arbeit 1 dieser Habilitation konnten in puncto Weichteilirritation kein Unterschied zwischen Schraubenfixation mit (28,8 %) und ohne (42,6 %) Horizontalschraube nachgewiesen werden. Ein Unterschied bestand jedoch in der Rate partieller Implantatentfernungen, welche mit

Verwendung einer Horizontalschraube signifikant häufiger erfolgte (63 % vs. 0 %). Die partielle Implantatentfernung erfolgte in diesen Fällen nicht akzidentiell, sondern unterblieb aufgrund der aufwändigeren Präparation zur Entfernung der Horizontalschraube. In der Regel verursacht die Horizontalschraube keinen Weichteilkonflikt, was diese Entscheidung rechtfertigt. Allenfalls in Einzelfällen kann bei Verlauf der horizontalen Schraube außerhalb des Knochens auf der Innenseite der Darmbeinschaukel ein Weichteilkonflikt im Bereich des M. iliacus entstehen, was dann hier ebenfalls eine Implantatentfernung erforderlich machen kann. Ein weiterer klinisch relevanter Aspekt in diesem Punkt ist die Tatsache, dass durch verbliebenes Osteosynthesematerial im Falle einer notwendigen MRT der Becken- und Hüftregion trotz heutzutage verbesserten Artefakt-reduzierenden MRT-Sequenzen relevante Artefakte entstehen, die die Qualität der Bildgebung reduzieren und eine Beurteilbarkeit des Gelenkes damit erschweren (94, 98). Hinzu kommt, dass verbliebene Implantate im Falle einer Konversion zur HTEP die Operation erschweren können, die trotz guter Langzeitergebnisse der PAO bei einem relevanten Anteil der Patient:innen im Verlauf notwendig werden kann (32, 34). Die genannten Aspekte sprechen vor dem Hintergrund der zuvor beschriebenen ausreichenden Stabilität gegen die Verwendung einer horizontalen Schraubenfixation bei PAO. Jedoch bestehen in bestimmten Konstellationen auch Argumente für die Verwendung einer zusätzlichen horizontalen Schraube. Beispiele sind Fälle mit der Notwendigkeit großer Korrekturen bei schwerer Hüftdysplasie und reduzierter Knochenqualität (43). Eine weitere Indikation für die Verwendung einer Horizontalschraube kann im Falle einer ausgeprägten azetabulären Retroversion bestehen. Hier erfolgt im Rahmen der antevertierenden PAO die Hauptkorrektur in der Transversalebene. Theoretisch könnte hier durch eine zusätzliche horizontale Fixation eine erhöhte rotatorische Stabilität generiert werden (94). Diese Aspekte verdeutlichen die Notwendigkeit einer individuellen Wahl der Fixationstechnik je nach zugrundeliegender Pathologie und der Hauptkorrekturebene. In den vorgelegten Studien wurden einzig Fälle mit klassischer Hüftdysplasie untersucht. Studien zum Vergleich verschiedener Fixationstechniken bei antevertierender PAO zur Behandlung der azetabulären Retroversion fehlen in der Literatur bislang.

Eine in der Literatur häufig beschriebene Komplikation nach PAO sind Pseudarthrosen im Bereich der Osteotomien. Diese werden mit einer unterschiedlichen Prävalenz von bis zu 19 % angegeben (42, 66, 99-104). Untersuchungen zu dieser Thematik haben ergeben, dass Fixationskonstrukte, die eine erhöhte Rigidität und eine geringere Schwingfähigkeit

aufweisen, öfter mit Pseudarthrosen assoziiert sind (66). Die Rationale bei der Verwendung von K-Drähten zur Fixation zielt darauf ab, durch eine relative Erhöhung der Schwingfähigkeit des Fixationskonstrukts eine bessere knöcherne Konsolidierung zu erreichen. Bei Betrachtung der unterschiedlichen Raten an Pseudarthrosen in der Literatur muss jedoch neben dem Fixationskonstrukt auch die Heterogenität der untersuchten Kollektive berücksichtigt werden. So wurden in einer Arbeit von Clohisy et al. beispielsweise Pseudarthrosraten von 19 % unter Einsatz einer Schraubenfixation und zusätzlicher Verwendung einer Plattenosteosynthese berichtet. Weiterhin handelte es sich in dieser Untersuchung aber auch um schwere Dysplasien mit hohem Korrekturdelta von bis zu 44° beim LCEA, was ebenfalls Einfluss haben könnte. In Arbeit 2 zeigte sich beim Vergleich der Pseudarthroseninzidenz kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, sodass für diesen theoretischen Vorteil der K-Draht-Fixation gegenüber der Schraubenfixation letztlich noch keine ausreichende Evidenz besteht.

Schlussendlich kann die potentielle Verkürzung der Operationsdauer als weiterer Vorteil der K-Draht-Fixation genannt werden, da hier der Wechsel von passagerer K-Draht-Fixation zu einer definitiven Schraubenfixation entfällt. Dies wurde auch in Arbeit 2 gezeigt, wobei einschränkend anzumerken ist, dass es sich hier nicht um eine Serie eines einzelnen Operateurs handelte, was neben patientenspezifischen Aspekten Einfluss auf die Operationsdauer gehabt haben könnte.

In Arbeit 3 wurden die Gruppen mit K-Draht- sowie Schraubenfixation hinsichtlich Gelenkfunktion sowie HTEP-Konversion und Patientenzufriedenheit verglichen. Sowohl hinsichtlich Gelenkfunktion als auch Überleben des nativen Gelenkes zeigte die K-Draht-Fixation dabei äquivalente Ergebnisse verglichen mit der Schraubenfixation. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ableiten, dass die azetabuläre Korrektur den entscheidenden Einfluss auf diese Parameter hat und die Wahl der Fixationstechnik hier keinen entscheidenden positiven oder negativen Einfluss nimmt und beide untersuchten Verfahren auch in dieser Hinsicht gleichermaßen sicher sind. Hinsichtlich der Patientenzufriedenheit wäre die Vermutung naheliegend, dass bei unterschiedlichem Komplikationspotential mit signifikant mehr Implantat-assoziierten Weichteilirritationen bei K-Draht-Fixation eine geringere Patientenzufriedenheit resultieren könnte. Die Ergebnisse von Arbeit 3 zeigten jedoch eine vergleichbare Patientenzufriedenheit zur mittelfristigen Nachuntersuchung, obwohl eine Implantatentfernung bei K-Draht-Fixation signifikant häufiger erforderlich war, sodass davon

auszugehen ist, dass dieser Folgeeingriff keinen entscheidenden negativen Einfluss auf die Patientenzufriedenheit hat. In einer Subanalyse mit Vergleich zwischen den drei Gruppen K-Draht-Fixation und Schraubenfixation mit und ohne Horizontalschraube zeigte sich ebenso kein Unterschied in Bezug auf Patientenzufriedenheit und Gelenkfunktion (94). Zusammenfassend lassen sich die drei untersuchten Fixationstechniken bei PAO gleichermaßen sicher anwenden. Weiterhin ist trotz unterschiedlichen Komplikationsprofils mit einem äquivalenten klinischen Outcome und Patientenzufriedenheit zu rechnen.

3.2 Optimierung der perioperativen Schmerztherapie nach PAO

Die adäquate multimodale Schmerztherapie ist im unmittelbar perioperativen Zeitraum bei Patient:innen, die sich einer PAO unterziehen, ein wichtiger Aspekt der Behandlung. Das relevante chirurgische Trauma durch Zugangsweg und Osteotomien verursacht bei den jungen und meist Opioid-nativen Patient:innen Schmerzen, die effektiv behandelt werden müssen, um eine frühe postoperative Mobilisation zu ermöglichen. Ein Schmerzschema bestehend aus Basisanalgetika und Opioiden ist dabei der Standard. Ergänzt wird dieses durch zusätzliche Verfahren wie i.v. PCA mit Opioiden, Epiduralanästhesie oder lokaler Infiltrationsanästhesie (LIA). Der TAP-Block wurde bei PAO ebenfalls als sicheres, effektives Regionalverfahren beschrieben, mit dem sich der postoperative Opioidverbrauch signifikant senken lässt. In Arbeit 4 dieser Habilitation konnte im Rahmen einer randomisierten, kontrollierten Studie außerdem eine signifikante Reduktion des intraoperativen Opioidverbrauches nachgewiesen werden. Das Einsparen von Opioiden ist insofern erstrebenswert, als dass Opioide in Verbindung mit der Allgemeinanästhesie regelmäßig zu postoperativer Übelkeit, Erbrechen (PONV) und Benommenheit führen, was ebenso für die EA gilt (105, 106). Eine EA kann außerdem die postoperative neurologische Untersuchung und Mobilisierung erschweren und potentiell neuraxiale Komplikationen verursachen (86, 105). Für die LIA konnte im Kontext der Endoprothetik zwar eine gute Wirksamkeit nachgewiesen werden, die sich bei der PAO jedoch nicht reproduzieren ließ (106-108). So konnten in einer randomisierten, doppelt verblindeten, Placebo-kontrollierten Studie von Bech et al. bei 53 PAO-Patient:innen durch die Infiltration mit 75 ml (150 mg) Ropivacain weder eine Reduktion postoperativer Schmerzen noch des Opioidbedarfes während der ersten 4 Tage nach PAO nachgewiesen werden. Der TAP-Block war in unserer Untersuchung zwar in der Lage den

Opioidverbrauch intra- und postoperativ signifikant zu senken, jedoch zeigte sich kein signifikanter Einfluss auf PONV. Die Gesamtinzidenz von PONV war dabei vergleichbar mit Angaben aus der aktuellen Literatur für Patient:innen, die als Risikopatienten (weibliches Geschlecht und junges Alter) für PONV gelten (86, 109, 110). Trotz der nachgewiesenen Vorteile des TAP-Block in der frühen postoperativen Phase konnte kein Einfluss auf die mittlere Verweildauer der Patient:innen nach PAO nachgewiesen werden. Limitierend muss dazu erwähnt werden, dass die Untersuchung unter Bedingungen des deutschen Gesundheitssystems durchgeführt wurde, bei denen die untere Grenzverweildauer nach einer PAO bei fünf Tagen liegt. Eine frühere Entlassung würde zu Vergütungseinbußen für die behandelnde Abteilung führen, was in diesem Punkt zu einem relevanten Bias führt (86). Im Bereich der Hüftendoprothetik kommen bereits regelmäßig sogenannte Fast-Track-Programme mit deutlich reduzierter Krankenhausverweildauer zum Einsatz (111, 112). In Anbetracht des steigenden ökonomischen Drucks und dem Bestreben stationäre Krankenhausbehandlungen zu reduzieren, ist von einer Einführung solcher Programme zukünftig auch in anderen Bereichen der elektiven orthopädischen Chirurgie auszugehen. Für die Etablierung von Fast Track Programmen bei PAO sind zwingend effektive multimodale Schmerzkonzepte erforderlich, für die der TAP-Block ein wertvoller Baustein sein könnte. Unabhängig davon rechtfertigen die Ergebnisse der berichteten Untersuchungsergebnisse zum TAP-Block bei PAO seine Integration in den klinischen Alltag, um die Behandlung der Patient:innen weiter zu optimieren.

3.3 Postoperative Aspekte und Implikationen für das Leben nach PAO

Der Erfolg der PAO wird seit deren Einführung und ersten Nachuntersuchungen historisch als Erhalt des nativen Hüftgelenkes im Gegensatz zur Konversion zur HTEP definiert. Diese objektiven Kriterien sind in der jüngeren Vergangenheit zunehmend durch die mittels PROMs erfasste subjektive Funktion und gesundheitsbezogene Lebensqualität ergänzt worden. Diese subjektiven Kriterien spiegeln die Perspektive der Patient:innen auf den Behandlungserfolg wider und haben in sämtlichen Bereichen der muskuloskeletalen Chirurgie Einzug in die klinische und wissenschaftliche Praxis gehalten.

Insofern werden auch an den Behandlungserfolg der PAO durch die Patient:innen deutlich höhere Anforderungen gestellt als der alleinige Gelenkerhalt bzw. die Nicht-Konversion zur HTEP. Die jungen und aktiven Patient:innen interessieren neben den Risiken der Operation vor allem die Chancen, die sich postoperativ im Hinblick auf eine uneingeschränkte Lebensführung und Aktivität ergeben. Hierbei kommt den Fragen der zu erwartenden Leistungsfähigkeit und Implikationen für die weitere Lebensplanung eine besondere Bedeutung zu, was zwingend Teil der ärztlichen Aufklärung sein muss. So interessiert Patient:innen mit hohem funktionellem Anspruch zum Zeitpunkt der Indikationsstellung häufig die Möglichkeit zur postoperativen Teilnahme an sportlichen Aktivitäten sowie bei den überwiegend jungen weiblichen Patientinnen im gebärfähigen Alter die Frage nach Implikationen für Schwangerschaft und Geburt nach PAO. Diese spezifischen Aspekte wurden im Rahmen von Arbeit 5 und 6 dieser Habilitation eingehend untersucht, um eine in diesen Bereichen evidenzbasierte Patientenedukation zu ermöglichen.

3.3.1 Schwangerschaft nach PAO und Einfluss auf den Geburtsweg

Junge Patientinnen, die sich aufgrund einer Hüftdysplasie orthopädisch vorstellen, sind meist im gebärfähigen Alter und befinden sich in diesem Lebensabschnitt nicht selten in der Familienplanung (87). Es ist daher häufig, dass die Patientinnen eine Schwangerschaft planen oder sich aufgrund einer zuvor durchgeführten PAO bei anstehender Geburt sowohl orthopädisch als auch gynäkologisch hinsichtlich des zu bevorzugenden, sicheren Geburtsweges beraten lassen möchten (59, 113, 114). Die Ergebnisse von Arbeit 5 zeigten mit 55 % eine deutlich erhöhte Rate an Geburten per Kaiserschnitt verglichen mit der Allgemeinbevölkerung (29,7 %). Bei ca. einem Drittel der Patientinnen war eine zuvor durchgeführte PAO Grund für den Kaiserschnitt. Während 20 % der Patientinnen berichteten, dass ihr Geburtshelfer aufgrund ihrer PAO-Anamnese Bedenken äußerte, gaben 30 % weiterhin an, dass ihr Geburtshelfer aufgrund ihrer PAO-Anamnese eine bestimmte Art der Entbindung empfahl, wobei drei Geburtshelfer einen Kaiserschnitt und drei eine vaginale Entbindung empfahlen. Vor allem letzteres verdeutlicht die Unsicherheit, die häufig im Vorfeld der Geburt bei Patientin und Geburtshelfern in diesem Aspekt besteht. Dies steht im Einklang mit einer Studie an PAO-Patientinnen von Bartosiak et al., in der bei 6 von 20

Kaiserschnittgeburten eine Beckenosteotomie als Grund für den Kaiserschnitt genannt wurde (113). Ein Grund für die Unsicherheit der Geburtshelfer hinsichtlich des optimalen Geburtsverfahrens könnte die fehlende Evidenz für morphologische Veränderungen des Geburtskanals nach einer Beckenosteotomie und für Beckenparameter sein, die das Risiko des Misslingens einer vaginalen Geburt vorhersagen. Im Allgemeinen wurde bisher ein mittlerer Beckendurchmesser von weniger als 95 mm als unterer Schwellenwert für eine vaginale Entbindung genannt (115). Bisher haben nur wenige Studien Veränderungen des Geburtskanals nach PAO untersucht. Während Flückiger et al. Röntgenbilder des Beckens untersuchten und bei 17 Frauen keine signifikanten Veränderungen feststellten, ermittelten Trousdale et al. den Beckendurchmesser anhand von MRT-Aufnahmen von 7 Frauen vor und nach PAO und fanden ebenfalls keine signifikanten Veränderungen (114, 116). In einer Untersuchung von Loder et al., bei der anhand von Röntgenaufnahmen des Beckens nach verschiedenen Beckenosteotomien bei 20 % von 30 untersuchten Patientinnen ein mittlerer Beckendiameter unterhalb des Schwellenwertes zur Empfehlung eines Kaiserschnittes lag, war bei den zwei untersuchten PAO-Patientinnen in dieser Arbeit ebenfalls keine relevante Abnahme des mittleren Beckendurchmessers zu verzeichnen (117). Aus der Zusammenschau dieser Ergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass Bedenken hinsichtlich der Beckenanatomie nach stattgefundener Osteotomie und vor Geburt bei anderen Osteotomien als der PAO gerechtfertigt sein können, bei der PAO jedoch in der überwiegenden Anzahl nicht angebracht sind. In jedem Fall ist eine generelle Empfehlung zum Kaiserschnitt nach PAO damit nicht haltbar. Ein Ausweg könnte die standardmäßige Durchführung einer Röntgen-Pelvimetrie bei geplanter Schwangerschaft sein. Es wurde jedoch nachgewiesen, dass es keine ausreichende Evidenz für den Einsatz der Röntgen-Pelvimetrie bei der Entscheidung über die Art der Entbindung gibt. Frauen, die eine Pelvimetrie erhalten, haben zwar ein höheres Risiko für einen Kaiserschnitt, aber die fetale Sterblichkeit oder Morbidität ist nicht geringer (118).

Kaiserschnitte sind insgesamt sichere Verfahren und gehen mit einer geringen Inzidenz perioperativer Komplikationen einher. Daher werden sie routinemäßig durchgeführt, wenn mütterliche oder fetale Komplikationen eintreten oder potentiell eintreten könnten. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass Kaiserschnitte mit deutlich höheren mütterlichen Mortalitäts- und Morbiditätsraten verbunden sind als vaginale Entbindungen, was hauptsächlich auf das erhöhte Blutungs- und Infektionsrisiko zurückzuführen ist (119-121). Neben diesen kurzfristigen Risiken gibt es auch Bedenken hinsichtlich langfristiger Risiken wie

Plazentaanomalien bei zukünftigen Schwangerschaften sowie der Notwendigkeit, nachfolgende Kinder per Kaiserschnitt zu entbinden, was wiederum zu einem erhöhten chirurgischen Risiko führt (122, 123). Für das Neugeborene ist der Kaiserschnitt zwar grundsätzlich sicher, aber es bestehen auch Risiken, vor allem im Hinblick auf respiratorische Komplikationen (124). Seit den 1990er Jahren sind die Raten der Kaiserschnitte weltweit gestiegen. Da jedoch keine Evidenz für einen gleichzeitigen Rückgang der mütterlichen oder fetalen Morbidität oder Mortalität vorliegt, wird davon ausgegangen, dass der Kaiserschnitt als Entbindungsverfahren übermäßig häufig genutzt wird (125). Insbesondere aufgrund der langfristigen Risiken, die mit Kaiserschnitt und wiederholten Kaiserschnittentbindungen verbunden sind, wurden Bemühungen unternommen, um die Rate der primären Kaiserschnittentbindungen sicher zu senken. Um dies zu erreichen, ist eine Reihe von Ansätzen erforderlich, und es ist notwendig, evidenzbasierte Leitlinien mit spezifischen Empfehlungen zu erstellen. Vorangegangene rekonstruktive Beckenoperationen werden häufig als Indikation für einen Kaiserschnitt genannt, doch es gibt in vielen Fällen – vor allem bei PAO - keine Evidenz, die diese Indikationsstellung stützt (114, 126).

Eine praktische Alternative bei Patientinnen mit Kinderwunsch und Indikation zur PAO aber noch vor Durchführung derselben wäre, den Kinderwunsch und die Geburt vor der PAO zu planen. Jedoch muss bei derartigen Überlegungen stets darauf hingewiesen werden, dass letztere aufgrund der bestehenden Evidenz für den Einfluss des Patientenalters auf das Ergebnis nach PAO nicht beliebig weit hinausgeschoben werden sollte. In jedem Fall verdeutlicht die diskutierte Problematik, dass junge Patientinnen mit Kinderwunsch oder solche mit bereits stattgehabter PAO und anstehender Geburt unter Berücksichtigung der dargestellten Evidenz detailliert und individuell zu beraten sind und eine generelle Empfehlung für einen Kaiserschnitt, wenngleich häufig durchgeführt, aufgrund einer positiven Anamnese hinsichtlich Beckenosteotomie allein nicht zulässig ist. Stattdessen wäre eine klare Empfehlung zur Durchführung einer MRT Untersuchung bei Patientinnen nach PAO und vor geplanter Geburt sinnvoller, um den Geburtskanal und die Sicherheit einer vaginalen Entbindung evaluieren zu können.

3.3.2 Gelenkfunktion und sportliche Aktivität

Sport ist ein wichtiger Lebensbestandteil für die meist jungen Patient:innen mit Hüftdysplasie und die Möglichkeit zur postoperativen sportlichen Aktivität ein wichtiger Faktor für die Entscheidung zur operativen Therapie. In Arbeit 6 dieser Habilitation wurde eine präoperative Teilnahme an sportlichen Aktivitäten von 79 % der Patient:innen angegeben, was den Stellenwert sportlicher Aktivität und den funktionellen Anspruch bei dieser Patientengruppe unterstreicht. Gleichermäßen ist bekannt, dass ein hohes Aktivitätsniveau bei Patient:innen mit Hüftdysplasie zum früheren Auftreten hüftgelenksbezogener Symptome führt (127). In der untersuchten Kohorte verbesserte sich nach PAO neben der spezifischen Hüftgelenksfunktion auch die sportliche Aktivität gemessen anhand des UCLA Activity Scores signifikant. Präoperativ lag dabei im Mittel ein moderates Niveau gemessen am UCLA vor, wohingegen sich dieses postoperativ auf ein Niveau steigerte, dass in der Literatur zuvor als „aktiv“ beschrieben wurde (78, 81, 82). Während sich der Gesamtanteil sportlich Aktiver von 79 % zu postoperativ 91 % verbesserte zeigte sich quantitativ sowohl eine frequentere Teilnahme an sportlichen Aktivitäten als auch eine längere Dauer pro Einheit.

Qualitativ zeigte sich bei einem relevanten Anteil von 42 % eine Veränderung der Sportart nach PAO. Davon gaben 28 % an, nach der Operation mit einer Sportart aufgehört zu haben, während 14 % angaben, eine neue Sportart begonnen zu haben. Von den Patient:innen, die postoperativ mit dem Sport aufgehört hatten, gaben 9 % an, dass sie aus Gründen aufgehört haben, die nichts mit der Operation zu tun hatten, und 19 % gaben eine geringere Belastungstoleranz oder Schmerzen als Grund an.

Von den Patient:innen, die postoperativ neue Sportarten begannen, gaben 7 % an, dass sie neue Sportarten begannen, die präoperativ aufgrund von Hüftbeschwerden nicht möglich waren, während 6,5 % angaben, dass sie neue Sportarten begannen, um die Hüftfunktion zu verbessern. Nur in zwei Fällen wurde der Rat des Arztes als Grund für den Wechsel der Sportart angegeben. Vor allem letzteres verdeutlicht, dass bislang keine einheitlichen Empfehlungen für Sport nach PAO existieren, die eine Grundlage für ärztliche Empfehlungen bieten könnte. In den Ergebnissen von Arbeit 6 nahm zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung der Anteil der Patient:innen, die Low-Impact Sportarten ausübten, von präoperativ 32 % auf postoperativ 52 % signifikant zu. Der Prozentsatz der Patient:innen, die High-impact

Sportarten ausübten, nahm von präoperativ 42 % auf postoperativ 36,6 % ab, wobei dieser Unterschied nicht signifikant war.

In früheren Studien wurde gezeigt, dass aktive Patient:innen ihr Aktivitätsniveau beibehalten oder - bei Patient:innen mit niedrigem oder moderatem präoperativem Aktivitätsniveau - ihr Aktivitätsniveau postoperativ verbessern konnten. Bei Patient:innen mit einem sehr hohen präoperativen Aktivitätsniveau wurde postoperativ eine Abnahme des Aktivitätsniveaus festgestellt (81, 82, 128). In diesen Studien wurde die sportliche Aktivität jedoch nur anhand des UCLA-Aktivitätsscores bewertet. Während sich die berichtete Steigerung bei Patient:innen mit moderatem sportlichem Niveau in den Ergebnissen unserer Arbeit ebenso widerspiegelt, ist die Abnahme des Niveaus sehr aktiver Patient:innen postoperativ in unserer Arbeit in der Abnahme der Teilnahme an High-Impact Sportarten repräsentiert. In der detaillierten Analyse der ausgeübten Sportarten stachen Fußball und Basketball als Sportarten hervor, die sowohl schnelle Richtungswechsel als auch Stop-and-Go Bewegungen unter Körperkontakt erfordern. Die Zahl der Patient:innen, die Fußball spielten, nahm von präoperativ zur Nachuntersuchung ab. Die Zahl der Patient:innen, die Basketball spielten, nahm ebenfalls ab. Die Rückkehr zum Sport betrug dabei 50 % beim Fußball und 20 % beim Basketball. In Zusammenschau mit der signifikant höheren postoperativen Teilnahme an Low-Impact Sportarten lässt sich also festhalten, dass sich das sportliche Verhalten nach PAO häufig verändert, was mit den Patient:innen im Rahmen der Indikationsstellung und präoperativen Beratung, vor allem bei Ausübung von High-impact Sportarten offen zu besprechen ist.

Im Rahmen der orthopädischen Konsultation wird sehr aktiven Patient:innen häufig zunächst empfohlen, eine nichtoperative Therapie auszuschöpfen, die eine Anpassung der sportlichen Aktivität beinhaltet (127). Es stellt sich jedoch die Frage, ob nach einer erfolgreichen PAO und erfolgter Optimierung der Biomechanik des Hüftgelenkes auch eine Anpassung des Aktivitätsniveaus notwendig ist, insbesondere da bislang kein Zusammenhang zwischen sportlicher Aktivität und Arthroseprogression nach PAO nachgewiesen werden konnte (80). Jedoch ist ebenso bekannt, dass unabhängig vom Vorliegen einer Dysplasie die Prävalenz von Hüftgelenksarthrose bei Hochleistungssportlern vor allem bei Ausübung von High-Impact Sportarten erhöht ist (129). Die Ergebnisse dieser Arbeit vor dem Hintergrund der bisherigen Literatur können daher zukünftig in die Beratung sportlich aktiver Patient:innen mit Hüftdysplasie mit einbezogen werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden operative sowie perioperative und postoperative Aspekte der periazetabulären Osteotomie untersucht, die zukünftig in die Planung der operativen Therapie und bei der Aufklärung über dieselbe bei Patient:innen mit symptomatischer Hüftdysplasie integriert werden und die Therapie weiter optimieren können.

Die Annahme, dass die untersuchten Fixationstechniken mit einer äquivalenten Stabilität und Sicherheit verbunden sind konnte bestätigt werden. Unterschiede bei Implantat assoziierten Komplikationen konnten identifiziert und Überlegungen zu Vor- und Nachteilen der einzelnen Techniken vor diesem Hintergrund diskutiert werden. Für einzelne Aspekte wie den Einfluss der gewählten Fixationstechnik auf Operationsdauer und Inzidenz von Pseudarthrosen könnten prospektive Studien mit Serien eines einzelnen Operateurs zusätzliche Aufschlüsse geben. Letztlich können alle untersuchten Fixationstechniken als sicher betrachtet werden. Ferner konnte mit dem TAP-Block ein sicheres Verfahren zur perioperativen Optimierung der multimodalen Schmerztherapie identifiziert werden, mit dem sich der Opioidverbrauch effektiv senken lässt. Die Untersuchungsergebnisse rechtfertigen seine Implementierung in die klinische Praxis, was seit der Beschreibung des TAP-Block bei PAO durch unsere Arbeitsgruppe bereits mancherorts erfolgt (130). Bei der Konzipierung zukünftiger Fast-Track Programme bei PAO könnte das Verfahren einen wertvollen Baustein bilden. Dass diese Fast-Track Programme kommen werden ist in Anbetracht des zunehmenden ökonomischen Drucks und der daraus folgenden politisch angestrebten Reduzierung stationärer Krankenhausbehandlung zu erwarten. Ein Blick nach Nordamerika zeigt, dass kürzere Krankenhausverweildauern nach PAO möglich sind, wo diese bereits heute Standard sind (130).

Wichtige Aspekte des postoperativen Zeitraumes konnten mit den Untersuchungen zum Einfluss der PAO auf Schwangerschaft und Geburtsweg sowie sportlicher Aktivität näher beleuchtet werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können in Zukunft in die Aufklärung der Patient:innen implementiert werden und so Informationslücken zu wichtigen Aspekten der postoperativen Lebensplanung schließen. Hinsichtlich der sportlichen Aktivität nach PAO stehen einheitliche Konsensempfehlungen, wie sie im Bereich der Hüftendoprothetik bereits vorliegen bislang aus (131). Durch ihre Erstellung könnten eine fundierte Edukation und Beratung der Patient:innen weiter verbessert werden.

Ein weiterer postoperativer Aspekt der Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein sollte, ist die Prüfung der bisher zum Einsatz kommenden postoperativen Nachbehandlung mit einer in der Regel sechswöchigen Teilbelastung des operierten Beines und anschließender gradueller Aufbelastung. Eine Verkürzung dieses Zeitraumes, könnte für den Rehabilitationsprozess der Patient:innen bei zu untersuchender Sicherheit von Vorteil sein. Sollte ein zügigerer Übergang zur Vollbelastung ohne Einschränkungen bei der Stabilität des korrigierten azetabulären Fragmentes und der knöchernen Konsolidierung möglich sein, ließen sich möglicherweise ausgeprägte muskuläre Defizite vorbeugen, die bei mehrwöchiger Entlastung sonst regelhaft entstehen und im Nachgang der Operation häufig einen relevanten Anteil der Rehabilitation ausmachen. Ferner könnte so gegebenenfalls eine frühere Wiederaufnahme von alltäglichen Aktivitäten ermöglicht werden.

Weiterhin haben sich in den letzten Jahren neben der klassischen Hüftdysplasie weitere Indikationen für die Durchführung einer PAO herauskristallisiert. Hierzu haben vor allem das wachsende dreidimensionale Verständnis und neue Klassifikationen für die azetabuläre Konfiguration den Grundstein gelegt (132). Die antevertierende PAO zur Behandlung der azetabulären Retroversion ist bereits seit über 15 Jahren beschrieben und scheint mit vergleichbar guten Ergebnissen wie die PAO zur Behandlung der Hüftdysplasie verbunden zu sein (133). In jedem Fall scheint sie einer Pfannenrandtrimmung überlegen zu sein (53). Eine rezente Studie zur retrovertierenden PAO bei symptomatischer azetabulärer Anteversion zeigte gute Ergebnisse, welche vergleichbar waren mit Ergebnissen für die PAO bei lateral defizitärer Überdachung bei klassischer Hüftdysplasie im kurzfristigen Follow-up. Hier stehen längerfristige Ergebnisse bislang noch aus und sind in zukünftigen Studien zu evaluieren. (49). Eine Kontroverse besteht bei der Behandlung der Grenzwert- oder auch Borderline-Dysplasie. Hier kommen sowohl die PAO als auch die Hüftarthroskopie zum Einsatz, wobei für beide Verfahren gute Ergebnisse in der kurz- bis mittelfristigen Nachuntersuchung berichtet wurden (54-56, 134). Hier werden langfristige Nachbeobachtungen und Vergleiche zukünftig Aufschluss über eine tatsächliche Gleichwertigkeit oder aber mögliche Differentialindikationen geben müssen.

Eine fundierte Ausbildung in hochspezialisierten Zentren für Hüftgelenkserhaltende Chirurgie ggf. ergänzt durch Fellowships in Zentren mit hohem Volumen an PAOs sind Voraussetzung um die untersuchten Aspekte sinnvoll in die Therapieplanung zu integrieren. Grundsätzlich

sollte der Eingriff aufgrund seiner Komplexität solchen Zentren mit entsprechend ausgebildeten, erfahrenen Operateuren vorbehalten bleiben um eine hohe Versorgungsqualität zu gewährleisten. Eine sinnvolle Ergänzung beim Erlernen der Operationstechnik und deren sicherer Durchführung könnten in Zukunft in der Implementierung von intraoperativer Navigation oder Augmented Reality liegen. Die kontrollierte Durchführung der Osteotomien und Verifizierung der azetabulären Reorientierung erfolgt bislang hauptsächlich mittels fluoroskopischer Kontrolle. Da diese nicht nur zeitintensiv, sondern durch die verursachte Strahlenbelastung in einem jungen Patientenkollektiv nachteilig und für das durchführende medizinische Personal schädlich ist, wäre eine Reduktion der intraoperativen Strahlenbelastung erstrebenswert. Weiterhin handelt es sich bei der PAO um eine Operation, die auf die Korrektur einer dreidimensionalen Fehlorientierung abzielt, was ebenso durch eine dreidimensionale Korrekturplanung vorbereitet werden sollte. Eine solche dreidimensionale Planung kann mit den bisher standardmäßig eingesetzten zweidimensionalen intraoperativen Werkzeugen aber nur bedingt umgesetzt werden. Mit der jüngsten Entwicklung im Bereich der Augmented Reality (AR) ist eine 3D-Technologie verfügbar geworden und findet an anderer Stelle in der orthopädischen Chirurgie bereits Anwendung. In rezenten Arbeiten wurde die Durchführbarkeit der PAO mit Augmented Reality in Modellen und am Kadaver bereits getestet (54, 135, 136). Eine Einführung dieser Technologie in die klinische Praxis erscheint in der Zukunft wahrscheinlich und logisch. Eine Alternative, die die Realisierung der Osteotomien der PAO und einer präoperativ angefertigten dreidimensionalen Korrekturplanung ermöglicht, liegt in patientenspezifischen Cutting- und Realignment-Guides. Diese werden seit kurzer Zeit bereits von einzelnen Anwendern genutzt und erscheinen hilfreich, um die präoperative dreidimensionale Planung intraoperativ präzise und schnell umzusetzen. Eine flächendeckende Einführung und Nutzung wird hier im Wesentlichen von den Kosten abhängen, die für jeden individuellen Fall anfallen. Eine weitere technische Ergänzung, die vor allem bei der korrekten Reorientierung des azetabulären Fragments hilfreich sein kann, ist die Implementierung von intraoperativer Bildanalysesoftware. In einer rezenten Studie konnte gezeigt werden, dass die Implementierung dieser Technologie zu einem engeren Streubereich der Werte für die einzelnen radiologischen Parameter führte, was darauf hindeutet, dass derartige Software die Genauigkeit der chirurgischen Korrektur erhöhen kann (137). Insgesamt zeichnet sich eine zunehmende Technologisierung der PAO in Zukunft ab, wobei

sich zeigen wird, welche unterstützende Technologie die konventionelle Durchführung dieses technisch anspruchsvollen Eingriffes zukünftig als Standard ablösen und bei der Ausbildung zukünftiger Generationen von Hüftchirur:innen etabliert werden wird.

Neben der fundierten Ausbildung ist auch die konsequente prospektive Erhebung und Analyse von Behandlungsergebnissen und Patientendaten für eine weitere Optimierung der Behandlungsqualität unabdingbar. Dabei sollte über die Grenzen einzelner Zentren hinausgedacht werden und eine Datenerfassung in Registern zukünftig das Ziel sein. Im Bereich der Endoprothetik konnten derartige Register erfolgreich etabliert werden und erlauben durch konsequente Datenerhebung und -analyse heute eine Steuerung der Therapie und Optimierung der Versorgungsqualität (138). Ein erstes Modell eines solchen Registers in der Hüftgelenkerhaltenden Chirurgie existiert seit einigen Jahren in Großbritannien, wo durch das Non Arthroplasty Hip Registry (NAHR) prospektiv PROMs bei Patient:innen erhoben werden, die sich einem hüftgelenkerhaltenden Eingriff unterziehen (139, 140). Eine flächendeckende Einführung eines solchen Registers auch in weiteren Ländern unter Einbeziehung weiterer patienten- und operationsspezifischer Daten erscheint in Zeiten, in denen Big Data in der Medizin mehr und mehr an Bedeutung gewinnt, naheliegend und sinnvoll.

Auf diesem Wege wäre auch eine Optimierung der wissenschaftlichen Qualität zur PAO möglich. Ein Bereich in dem bislang - auch bei unbestrittener Effektivität des operativen Verfahrens - zum überwiegenden Anteil Studien mit niedrigem Evidenzgrad publiziert und zitiert werden (141).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Qualität der operativen Versorgung der Hüftdysplasie mittels periazetabulärer Osteotomie in Zukunft noch Raum für weitere Optimierung bietet. Dazu wurden in dieser Habilitationsschrift neue Aspekte beschrieben und analysiert. Beobachtet man, dass sich auf dem Feld der primären Koxarthrose in Gegenwart und Zukunft vielversprechende neue nicht operative Therapie- und Präventionsansätze andeuten, wird die operative Therapie präarthrotischer Deformitäten wie der Hüftdysplasie, die eine sekundäre Koxarthrose begünstigen weiterhin eine tragende Säule der orthopädischen Chirurgie darstellen. Diese zukünftig zu optimieren sollte weiterhin Gegenstand klinisch-orthopädischer Forschung sein.

Literaturverzeichnis

1. Schmitz MR, Murtha AS, Clohisy JC, Group AS. Developmental Dysplasia of the Hip in Adolescents and Young Adults. *J Am Acad Orthop Surg*. 2020;28(3):91-101.
2. Heimann AF, Zurmuhle CA, Stetzelberger VM, Galley J, Schwab JM, Tannast M. [Definition of hip dysplasia in 2023 : Signs of macro and micro instability]. *Orthopadie (Heidelb)*. 2023.
3. Haertlé M, Hawi H, Windhagen H, Becker N, Ahmad SS. Fifty percent of patients undergoing periacetabular osteotomy for hip dysplasia showed normal findings upon neonatal ultrasound screening : Symptomatic hip dysplasia in adulthood despite inconspicuous neonatal hip ultrasound. *Orthopadie (Heidelb)*. 2023;52(4):313-9.
4. Wiberg G. Studies on dysplastic acetabula and congenital subluxation of the hip joint with special references to the complication of Osteoarthritis. *ActaChirScand*. 1939;58.
5. Tannast M, Hanke MS, Zheng G, Steppacher SD, Siebenrock KA. What are the radiographic reference values for acetabular under- and overcoverage? *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(4):1234-46.
6. Meier MK, Lerch TD, Hanke MS, Tannast M, Steppacher SD, Schmaranzer F. [Imaging in joint-preserving hip surgery]. *Radiologe*. 2022;62(3):271-84.
7. Lerch TD, Schmaranzer F. [Preoperative MR imaging for hip dysplasia : Assessment of associated deformities and intraarticular pathologies]. *Orthopadie (Heidelb)*. 2023;52(4):300-12.
8. Donohoe SD, Chrastil J, Pelt C, Erickson J, Peters C. Skeletally Mature Acetabular Dysplasia: Anatomy, Pathomorphology, Pathomechanics, Clinical Presentation, and Imaging Studies. In: Nho SJ, Bedi A, Salata MJ, Mather Iii RC, Kelly BT, editors. *Hip Arthroscopy and Hip Joint Preservation Surgery*. Cham: Springer International Publishing; 2022. p. 617-28.
9. Klaue K, Durnin CW, Ganz R. The acetabular rim syndrome. A clinical presentation of dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73(3):423-9.
10. Henak CR, Ellis BJ, Harris MD, Anderson AE, Peters CL, Weiss JA. Role of the acetabular labrum in load support across the hip joint. *J Biomech*. 2011;44(12):2201-6.
11. Nunley RM, Prather H, Hunt D, Schoenecker PL, Clohisy JC. Clinical presentation of symptomatic acetabular dysplasia in skeletally mature patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93 Suppl 2:17-21.
12. Redmond JM, Gupta A, Stake CE, Domb BG. The prevalence of hip labral and chondral lesions identified by method of detection during periacetabular osteotomy: arthroscopy versus arthrotomy. *Arthroscopy*. 2014;30(3):382-8.
13. Domb BG, Lareau JM, Baydoun H, Botser I, Millis MB, Yen YM. Is intraarticular pathology common in patients with hip dysplasia undergoing periacetabular osteotomy? *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(2):674-80.
14. Gebhardt S, Lerch S, Sobau C, Miehlke W, Wassilew GI, Zimmerer A. Prone Apprehension Relocation Test significantly correlates with radiological instability scores of the hip. *J Hip Preserv Surg*. 2022;9(2):78-83.
15. Khanduja V, Darby N, O'Donnell J, Bonin N, Safran MR. Diagnosing Hip Microinstability: an international consensus study using the Delphi methodology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(1):40-9.
16. O'Brien MJ, Semciw AI, Mechlenburg I, Tønning LC, Stewart CJ, Kemp JL. Pain, function and quality of life are impaired in adults undergoing periacetabular osteotomy

- (PAO) for hip dysplasia: a systematic review and meta-analysis. *Hip Int.* 2023;11207000231179610.
17. Leunig M, Podeszwa D, Beck M, Werlen S, Ganz R. Magnetic resonance arthrography of labral disorders in hips with dysplasia and impingement. *Clin Orthop Relat Res.* 2004(418):74-80.
 18. Sankar WN, Beaulé PE, Clohisy JC, Kim YJ, Millis MB, Peters CL, et al. Labral morphologic characteristics in patients with symptomatic acetabular dysplasia. *Am J Sports Med.* 2015;43(9):2152-6.
 19. Hartofilakidis G, Karachalios T, Stamos KG. Epidemiology, demographics, and natural history of congenital hip disease in adults. *Orthopedics.* 2000;23(8):823-7.
 20. Vail TP. CORR Insights((R)): The John Charnley Award: Redefining the Natural History of Osteoarthritis in Patients With Hip Dysplasia and Impingement. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(2):351-2.
 21. Terjesen T. Residual hip dysplasia as a risk factor for osteoarthritis in 45 years follow-up of late-detected hip dislocation. *J Child Orthop.* 2011;5(6):425-31.
 22. Murphy SB, Ganz R, Müller ME. The prognosis in untreated dysplasia of the hip. A study of radiographic factors that predict the outcome. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(7):985-9.
 23. Reijman M, Hazes JM, Pols HA, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM. Acetabular dysplasia predicts incident osteoarthritis of the hip: the Rotterdam study. *Arthritis Rheum.* 2005;52(3):787-93.
 24. Harris WH. Etiology of osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop Relat Res.* 1986(213):20-33.
 25. Ganz R, Leunig M, Leunig-Ganz K, Harris WH. The etiology of osteoarthritis of the hip: an integrated mechanical concept. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(2):264-72.
 26. Agricola R, Heijboer MP, Roze RH, Reijman M, Bierma-Zeinstra SM, Verhaar JA, et al. Pincer deformity does not lead to osteoarthritis of the hip whereas acetabular dysplasia does: acetabular coverage and development of osteoarthritis in a nationwide prospective cohort study (CHECK). *Osteoarthritis Cartilage.* 2013;21(10):1514-21.
 27. Clohisy JC, Dobson MA, Robison JF, Warth LC, Zheng J, Liu SS, et al. Radiographic structural abnormalities associated with premature, natural hip-joint failure. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93 Suppl 2:3-9.
 28. Wyles CC, Heidenreich MJ, Jeng J, Larson DR, Trousdale RT, Sierra RJ. The John Charnley Award: Redefining the Natural History of Osteoarthritis in Patients With Hip Dysplasia and Impingement. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(2):336-50.
 29. Lerch TD, Steppacher SD, Liechti EF, Siebenrock KA, Tannast M. [Bernese periacetabular osteotomy. : Indications, technique and results 30 years after the first description]. *Orthopade.* 2016;45(8):687-94.
 30. Albers CE, Steppacher SD, Ganz R, Tannast M, Siebenrock KA. Impingement adversely affects 10-year survivorship after periacetabular osteotomy for DDH. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(5):1602-14.
 31. Goronzy J, Günther K-P. Hüft dysplasie im Grenzbereich: Welchen Einfluss haben Alter, Arthrose und Begleiterkrankungen auf das Behandlungsergebnis? *Die Orthopädie.* 2023.
 32. Ahmad SS, Giebel GM, Perka C, Meller S, Pumberger M, Hardt S, et al. Survival of the dysplastic hip after periacetabular osteotomy: a meta-analysis. *Hip Int.* 2021;11207000211048425.

33. Wells J, Millis M, Kim YJ, Bulat E, Miller P, Matheney T. Survivorship of the Bernese Periacetabular Osteotomy: What Factors are Associated with Long-term Failure? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(2):396-405.
34. Lerch TD, Steppacher SD, Liechti EF, Tannast M, Siebenrock KA. One-third of Hips After Periacetabular Osteotomy Survive 30 Years With Good Clinical Results, No Progression of Arthritis, or Conversion to THA. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(4):1154-68.
35. Wells J, Schoenecker P, Duncan S, Goss CW, Thomason K, Clohisy JC. Intermediate-Term Hip Survivorship and Patient-Reported Outcomes of Periacetabular Osteotomy: The Washington University Experience. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(3):218-25.
36. Clohisy JC, Ackerman J, Baca G, Baty J, Beaulé PE, Kim YJ, et al. Patient-Reported Outcomes of Periacetabular Osteotomy from the Prospective ANCHOR Cohort Study. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(1):33-41.
37. Ganz R, Klaue K, Vinh TS, Mast JW. A new periacetabular osteotomy for the treatment of hip dysplasias. Technique and preliminary results. *Clin Orthop Relat Res.* 1988(232):26-36.
38. Weber MaRG. Die Berner periazetabuläre Osteotomie. *Operative Orthopädie und Traumatologie.* 2002;14:p. 99-121.
39. Millis MB, McClincy M. Periacetabular osteotomy to treat residual dysplasia in adolescents and young adults: indications, complications, results. *J Child Orthop.* 2018;12(4):349-57.
40. Wassilew GI, Hofer A, Rakow A, Gebhardt S, Hoffmann M, Janz V, et al. Minimal-invasive periazetabuläre Osteotomie zur Therapie der Hüftdysplasie des Erwachsenen. *Operative Orthopädie und Traumatologie.* 2022;34(4):275-94.
41. Weber M, Ganz R. Die Berner periazetabuläre Osteotomie. *Operative Orthopädie und Traumatologie.* 2002;14(2):99-121.
42. Clohisy JC, Barrett SE, Gordon JE, Delgado ED, Schoenecker PL. Periacetabular Osteotomy in the Treatment of Severe Acetabular Dysplasia. *JBJs.* 2006;88(1):65-83.
43. Clohisy JC, Barrett SE, Gordon JE, Delgado ED, Schoenecker PL. Periacetabular osteotomy in the treatment of severe acetabular dysplasia. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88 Suppl 1 Pt 1:65-83.
44. Muffly BT, Zacharias AJ, Jochimsen KN, Duncan ST, Jacobs CA, Clohisy JC. Age at the Time of Surgery Is Not Predictive of Early Patient-Reported Outcomes After Periacetabular Osteotomy. *J Arthroplasty.* 2021;36(10):3388-91.
45. Franken L, Thielemann F, Postler A, Blum S, Hartmann A, Günther KP, et al. [Periacetabular osteotomy-what influence does age have on patient-relevant results? : A prospective 5-year investigation]. *Orthopade.* 2018;47(3):228-37.
46. Zhang Z, Ren N, Cheng H, Luo D, Li Y, Zhang H. Periacetabular osteotomy for Tönnis grade 2 osteoarthritis secondary to hip dysplasia. *Int Orthop.* 2023;47(7):1707-14.
47. Leopold VJ, Hipfl C, Perka C, Hardt S, Becker L. Periacetabular osteotomy for symptomatic hip dysplasia in middle aged patients: does age alone matter? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023.
48. Thomas GE, Palmer AJ, Batra RN, Kiran A, Hart D, Spector T, et al. Subclinical deformities of the hip are significant predictors of radiographic osteoarthritis and joint replacement in women. A 20 year longitudinal cohort study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014;22(10):1504-10.
49. Selley RS, Peck JB, Trotzky ZA, Robustelli SB, Sink EL. Retroverting Periacetabular Osteotomy for Symptomatic Acetabular Anteversion. *J Arthroplasty.* 2023.

50. Tan SHS, Tan JHI, Lim AKS, Hui JH. Periacetabular osteotomy for acetabular retroversion: A systematic review and meta-analysis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2021;107(8):103078.
51. Siebenrock KA, Steppacher SD, Tannast M, Büchler L. Anteverting Periacetabular Osteotomy for Acetabular Retroversion. *JBJS Essent Surg Tech.* 2015;5(1):e1.
52. Verhaegen J, Salih S, Thiagarajah S, Grammatopoulos G, Witt JD. Is a periacetabular osteotomy as efficacious in retroversion as it is in dysplasia? : The role of femoral anteversion on outcome. *Bone Jt Open.* 2021;2(9):757-64.
53. Zurmühle CA, Anwander H, Albers CE, Hanke MS, Steppacher SD, Siebenrock KA, et al. Periacetabular Osteotomy Provides Higher Survivorship Than Rim Trimming for Acetabular Retroversion. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(4):1138-50.
54. Ahmad SS, Haertlé M, Konrads C, Derksen A, Windhagen H, Wirries N. The Scientific Evolution of Periacetabular Osteotomy: A Global Review. *J Clin Med.* 2022;11(20).
55. Swarup I, Zaltz I, Robustelli S, Sink E. Outcomes of periacetabular osteotomy for borderline hip dysplasia in adolescent patients. *J Hip Preserv Surg.* 2020;7(2):249-55.
56. Nepple JJ, Parilla FW, Pashos GE, Clohisy JC. Outcomes of Periacetabular Osteotomy for Borderline Acetabular Dysplasia. *J Bone Joint Surg Am.* 2023;105(2):137-44.
57. Lochel J, Janz V, Perka C, Hofer A, Zimmerer A, Wassilew GI. A New Rectus and Sartorius Sparing Approach for Periacetabular Osteotomy in Patients with Developmental Dysplasia of the Hip. *J Clin Med.* 2021;10(4).
58. Aminian A, Mahar A, Yassir W, Newton P, Wenger D. Freedom of acetabular fragment rotation following three surgical techniques for correction of congenital deformities of the hip. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(1):10-3.
59. Valenzuela RG, Cabanela ME, Trousdale RT. Sexual activity, pregnancy, and childbirth after periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 2004(418):146-52.
60. Shao L, Li H, Liu X, Wang Y, Shi L, Ai D, et al. Quantitative analysis of bony birth canal for periacetabular osteotomy patient by template fitting. *Phys Med Biol.* 2021;66(2):025007.
61. Schömig F, Hipfl C, Löchel J, Perka C, Hardt S, Leopold VJ. Periacetabular Osteotomy and Postoperative Pregnancy-Is There an Influence on the Mode of Birth? *J Clin Med.* 2022;11(16).
62. Babis GC, Trousdale RT, Jenkyn TR, Kaufman K. Comparison of two methods of screw fixation in periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 2002(403):221-7.
63. Yassir W, Mahar A, Aminian A, Newton P, Wenger D. A comparison of the fixation stability of multiple screw constructs for two types of pelvic osteotomies. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(1):14-7.
64. Widmer BJ, Peters CL, Bachus KN, Stevens PM. Initial stability of the acetabular fragment after periacetabular osteotomy: a biomechanical study. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(5):443-8.
65. Kashima N, Shiramizu K, Nakamura Y, Moriyama S, Naito M. Biomechanical comparison of the fixation after curved periacetabular osteotomy using titanium and bioabsorbable screws. *Hip Int.* 2015;25(2):164-7.
66. Wassilew GI, Janz V, Renner L, Perka C, Pruss A. Reduced rates of non-union with modified periacetabular osteotomy using peracetic-acid sterilized cancellous allografts. *Cell Tissue Bank.* 2016;17(4):713-20.
67. Novais EN, Duncan S, Nepple J, Pashos G, Schoenecker PL, Clohisy JC. Do Radiographic Parameters of Dysplasia Improve to Normal Ranges After Bernese Periacetabular Osteotomy? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(4):1120-7.

68. Stetzelberger VM, Leibold CS, Steppacher SD, Schwab JM, Siebenrock KA, Tannast M. The Acetabular Wall Index Is Associated with Long-term Conversion to THA after PAO. *Clin Orthop Relat Res.* 2021;479(5):1052-65.
69. Lara J, Garín A, Herrera C, Abara S, Besomi J, Villegas D, et al. Bernese periacetabular osteotomy: functional outcomes in patients with untreated intra-articular lesions. *J Hip Preserv Surg.* 2020;7(2):256-61.
70. Larsen JB, Mechlenburg I, Jakobsen SS, Thilleman TM, Søballe K. 14-year hip survivorship after periacetabular osteotomy: a follow-up study on 1,385 hips. *Acta Orthop.* 2020;91(3):299-305.
71. Ziran N, Varcadipane J, Kadri O, Ussef N, Kanim L, Foster A, et al. Ten- and 20-year Survivorship of the Hip After Periacetabular Osteotomy for Acetabular Dysplasia. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(7):247-55.
72. Wasko MK, Yanik EL, Pascual-Garrido C, Clohisy JC. Psychometric Properties of Patient-Reported Outcome Measures for Periacetabular Osteotomy. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(6):e21.
73. Tanaka S, Fujii M, Kawano S, Ueno M, Sonohata M, Kitajima M, et al. Joint awareness following periacetabular osteotomy in patients with hip dysplasia. *Bone Joint J.* 2023;105-b(7):760-7.
74. Krueger DR, Leopold VJ, Schroeder JH, Perka C, Hardt S. Correlation of the Subjective Hip Value with Validated Patient-Reported Outcome Measurements for the Hip. *J Clin Med.* 2020;9(7).
75. Jacobs CA, Peabody MR, Duncan ST, Muchow RD, Nunley RM, Group A, et al. Development of the HOOSglobal to Assess Patient-Reported Outcomes in Patients Undergoing Hip Preservation Procedures. *Am J Sports Med.* 2018;46(4):940-6.
76. Nwachukwu BU, Chang B, Beck EC, Neal WH, Movassaghi K, Ranawat AS, et al. How Should We Define Clinically Significant Outcome Improvement on the iHOT-12? *HSS J.* 2019;15(2):103-8.
77. Akhtar M, Razick DI, Wen J, Kamran R, Ansari U, Kamran K, et al. Patient-Reported Outcomes and Factors Impacting Success of the Periacetabular Osteotomy. *Cureus.* 2023;15(4):e37320.
78. Bogunovic L, Hunt D, Prather H, Schoenecker PL, Clohisy JC. Activity Tolerance After Periacetabular Osteotomy. *Am J Sports Med.* 2014;42(8):1791-5.
79. Byrd JW, Jones KS. Hip arthroscopy in the presence of dysplasia. *Arthroscopy.* 2003;19(10):1055-60.
80. Hara D, Hamai S, Fukushi JI, Kawaguchi KI, Motomura G, Ikemura S, et al. Does Participation in Sports Affect Osteoarthritic Progression After Periacetabular Osteotomy? *Am J Sports Med.* 2017;45(11):2468-75.
81. Okoroafor UC, Pascual-Garrido C, Schwabe MT, Nepple JJ, Schoenecker PL, Clohisy JC. Activity Level Maintenance at Midterm Follow-up Among Active Patients Undergoing Periacetabular Osteotomy. *Am J Sports Med.* 2019;47(14):3455-9.
82. Petrie JR, Novais EN, An TW, Group AS, Clohisy J. What Is the Impact of Periacetabular Osteotomy Surgery on Patient Function and Activity Levels? *J Arthroplasty.* 2020;35(6S):S113-S8.
83. Sandell Jacobsen J, Thorborg K, Hölmich P, Bolvig L, Storgaard Jakobsen S, Søballe K, et al. Does the physical activity profile change in patients with hip dysplasia from before to 1 year after periacetabular osteotomy? *Acta Orthop.* 2018;89(6):622-7.

84. Takahashi Y, Takahira N, Uchiyama K, Fukushima K, Moriya M, Shibuya M, et al. Sports activity participation after curved periacetabular osteotomy for acetabular dysplasia. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):637.
85. Mechlenburg I, Kold S, Romer L, Soballe K. Safe fixation with two acetabular screws after Ganz periacetabular osteotomy. *Acta Orthop.* 2007;78(3):344-9.
86. Löchel J, Janz V, Leopold VJ, Krämer M, Wassilew GI. Transversus abdominis Plane Block for Improved Early Postoperative Pain Management after Periacetabular Osteotomy: A Randomized Clinical Trial. *J Clin Med.* 2021;10(3).
87. de Hundt M, Vlemmix F, Bais JM, Hutton EK, de Groot CJ, Mol BW, et al. Risk factors for developmental dysplasia of the hip: a meta-analysis. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2012;165(1):8-17.
88. Sharifi E, Sharifi H, Morshed S, Bozic K, Diab M. Cost-effectiveness analysis of periacetabular osteotomy. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(7):1447-56.
89. Clohisy JC, Schutz AL, St John L, Schoenecker PL, Wright RW. Periacetabular osteotomy: a systematic literature review. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(8):2041-52.
90. van Bergayk AB, Garbuz DS. Quality of life and sports-specific outcomes after Bernese periacetabular osteotomy. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(3):339-43.
91. Boje J, Caspersen CK, Jakobsen SS, Søballe K, Mechlenburg I. Are changes in pain associated with changes in quality of life and hip function 2 years after periacetabular osteotomy? A follow-up study of 321 patients. *J Hip Preserv Surg.* 2019;6(1):69-76.
92. Hartig-Andreasen C, Troelsen A, Thillemann TM, Soballe K. What factors predict failure 4 to 12 years after periacetabular osteotomy? *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(11):2978-87.
93. Siebenrock KA, Schöll E, Lottenbach M, Ganz R. Bernese Periacetabular Osteotomy. *Clinical Orthopaedics and Related Research®.* 1999;363.
94. Leopold VJ, Perka C, Hardt S. Fixationstechniken bei periazetabulärer Osteotomie. *Die Orthopädie.* 2023;52(4):293-9.
95. Yang P, Liu Q, Lin T, Aikebaier A, Jiang L, Sun W, et al. Mechanical upside of PAO mainstream fixations: co-simulation based on early postoperative gait characteristics of DDH patients. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.* 2023;11.
96. Leopold VJ, Conrad J, Zahn RK, Hipfl C, Perka C, Hardt S. Fixation stability and implant-associated complications in periacetabular osteotomy: a comparison of screw and K-wire fixation. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(2):691-7.
97. Leopold VJ, Conrad J, Hipfl C, Müllner M, Khakzad T, Perka C, et al. Is transverse screw fixation really necessary in PAO?-A comparative in vivo study. *J Hip Preserv Surg.* 2021;8(1):125-31.
98. Zou YF, Chu B, Wang CB, Hu ZY. Evaluation of MR issues for the latest standard brands of orthopedic metal implants: plates and screws. *Eur J Radiol.* 2015;84(3):450-7.
99. Clohisy JC, Nunley RM, Curry MC, Schoenecker PL. Periacetabular osteotomy for the treatment of acetabular dysplasia associated with major aspherical femoral head deformities. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(7):1417-23.
100. Matta JM, Stover MD, Siebenrock K. Periacetabular osteotomy through the Smith-Petersen approach. *Clin Orthop Relat Res.* 1999(363):21-32.
101. Kralj M, Mavcic B, Antolic V, Iglic A, Kralj-Iglic V. The Bernese periacetabular osteotomy: clinical, radiographic and mechanical 7-15-year follow-up of 26 hips. *Acta Orthop.* 2005;76(6):833-40.

102. Biedermann R, Donnan L, Gabriel A, Wachter R, Krismer M, Behensky H. Complications and patient satisfaction after periacetabular pelvic osteotomy. *Int Orthop*. 2008;32(5):611-7.
103. Crockarell JJ, Trousdale RT, Cabanela ME, Berry DJ. Early Experience and Results With the Periacetabular Osteotomy: The Mayo Clinic Experience. *Clinical Orthopaedics and Related Research*®. 1999;363:45-53.
104. Mayo KA, Trumble SJ, Mast JW. Results of periacetabular osteotomy in patients with previous surgery for hip dysplasia. *Clin Orthop Relat Res*. 1999(363):73-80.
105. Choi S, O'Hare T, Gollish J, Paul JE, Kreder H, Thorpe KE, et al. Optimizing Pain and Rehabilitation After Knee Arthroplasty: A Two-Center, Randomized Trial. *Anesth Analg*. 2016;123(5):1316-24.
106. Bech RD, Ovesen O, Lindholm P, Overgaard S. Local anesthetic wound infiltration for pain management after periacetabular osteotomy. A randomized, placebo-controlled, double-blind clinical trial with 53 patients. *Acta Orthop*. 2014;85(2):141-6.
107. Bianconi M, Ferraro L, Traina GC, Zanolli G, Antonelli T, Guberti A, et al. Pharmacokinetics and efficacy of ropivacaine continuous wound instillation after joint replacement surgery. *Br J Anaesth*. 2003;91(6):830-5.
108. Kerr DR, Kohan L. Local infiltration analgesia: a technique for the control of acute postoperative pain following knee and hip surgery: a case study of 325 patients. *Acta Orthop*. 2008;79(2):174-83.
109. Apfel CC, Heidrich FM, Jukar-Rao S, Jalota L, Hornuss C, Whelan RP, et al. Evidence-based analysis of risk factors for postoperative nausea and vomiting. *Br J Anaesth*. 2012;109(5):742-53.
110. Shaikh SI, Nagarekha D, Hegade G, Marutheesh M. Postoperative nausea and vomiting: A simple yet complex problem. *Anesth Essays Res*. 2016;10(3):388-96.
111. Di Martino A, Brunello M, Pederiva D, Schilardi F, Rossomando V, Cataldi P, et al. Fast Track Protocols and Early Rehabilitation after Surgery in Total Hip Arthroplasty: A Narrative Review. *Clin Pract*. 2023;13(3):569-82.
112. Hansen TB. Fast track in hip arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2017;2(5):179-88.
113. Bartosiak K, Stockburger C, Stockburger J, Putnam S, Conner S, Clohisy J. Is Previous Periacetabular Osteotomy Associated with Pregnancy, Delivery, and Peripartum Complications? *Clin Orthop Relat Res*. 2020;478(1):68-76.
114. Flückiger G, Egli S, Kosina J, Ganz R. [Birth after peri-acetabular osteotomy]. *Orthopade*. 2000;29(1):63-7.
115. Abitbol MM, Taylor UB, Castillo I, Rochelson BL. The cephalopelvic disproportion index. Combined fetal sonography and x-ray pelvimetry for early detection of cephalopelvic disproportion. *J Reprod Med*. 1991;36(5):369-73.
116. Trousdale RT, Cabanela ME, Berry DJ, Wenger DE. Magnetic resonance imaging pelvimetry before and after a periacetabular osteotomy. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84(4):552-6.
117. Loder RT. The long-term effect of pelvic osteotomy on birth canal size. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2002;122(1):29-34.
118. Pattinson RC, Cuthbert A, Vannevel V. Pelvimetry for fetal cephalic presentations at or near term for deciding on mode of delivery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;3(3):Cd000161.
119. Clark SL, Belfort MA, Dildy GA, Herbst MA, Meyers JA, Hankins GD. Maternal death in the 21st century: causes, prevention, and relationship to cesarean delivery. *Am J Obstet Gynecol*. 2008;199(1):36.e1-5; discussion 91-2. e7-11.

120. Practice Bulletin No. 183: Postpartum Hemorrhage. *Obstet Gynecol.* 2017;130(4):e168-e86.
121. Liu S, Liston RM, Joseph KS, Heaman M, Sauve R, Kramer MS. Maternal mortality and severe morbidity associated with low-risk planned cesarean delivery versus planned vaginal delivery at term. *Cmaj.* 2007;176(4):455-60.
122. Marshall NE, Fu R, Guise JM. Impact of multiple cesarean deliveries on maternal morbidity: a systematic review. *Am J Obstet Gynecol.* 2011;205(3):262.e1-8.
123. Silver RM, Landon MB, Rouse DJ, Leveno KJ, Spong CY, Thom EA, et al. Maternal morbidity associated with multiple repeat cesarean deliveries. *Obstet Gynecol.* 2006;107(6):1226-32.
124. Indraccolo U, Pace M, Corona G, Bonito M, Indraccolo SR, Di Iorio R. Cesarean section in the absence of labor and risk of respiratory complications in newborns: a case-control study. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2019;32(7):1160-6.
125. Gregory KD, Jackson S, Korst L, Fridman M. Cesarean versus vaginal delivery: whose risks? Whose benefits? *Am J Perinatol.* 2012;29(1):7-18.
126. Sung S, Mahdy H. Cesarean Section. StatPearls. Treasure Island (FL) ineligible companies. Disclosure: Heba Mahdy declares no relevant financial relationships with ineligible companies.: StatPearls Publishing
Copyright © 2023, StatPearls Publishing LLC.; 2023.
127. Matheney T, Zaltz I, Kim YJ, Schoenecker P, Millis M, Podeszwa D, et al. Activity Level and Severity of Dysplasia Predict Age at Bernese Periacetabular Osteotomy for Symptomatic Hip Dysplasia. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(8):665-71.
128. Novais EN, Heyworth B, Murray K, Johnson VM, Kim YJ, Millis MB. Physical activity level improves after periacetabular osteotomy for the treatment of symptomatic hip dysplasia. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(3):981-8.
129. Tveit M, Rosengren BE, Nilsson JA, Karlsson MK. Former male elite athletes have a higher prevalence of osteoarthritis and arthroplasty in the hip and knee than expected. *Am J Sports Med.* 2012;40(3):527-33.
130. Ellis S, Harris JD, Flemming DP, Ellis TJ, Kollmorgen RC. Addition of Pericapsular Nerve Group and Transversus Abdominis Plane Blocks Significantly Reduces Opioid Use in Patients Undergoing Concomitant Hip Arthroscopy and Periacetabular Osteotomy. *Cureus.* 2023;15(1):e33277.
131. Vu-Han T, Hardt S, Ascherl R, Gwinner C, Perka C. Recommendations for return to sports after total hip arthroplasty are becoming less restrictive as implants improve. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021;141(3):497-507.
132. Bali K, Smit K, Ibrahim M, Poitras S, Wilkin G, Galmiche R, et al. Ottawa classification for symptomatic acetabular dysplasia assessment of interobserver and intraobserver reliability. *Bone Joint Res.* 2020;9(5):242-9.
133. Rosendahl Kristiansen A, Holsgaard-Larsen A, Bøgehøj M, Overgaard S, Lindberg-Larsen M, Ovesen O. Hip survival after periacetabular osteotomy in patients with acetabular dysplasia, acetabular retroversion, congenital dislocation of the hip, or Legg-Calvé-Perthes disease: a cohort study on 1,501 hips. *Acta Orthop.* 2023;94:250-6.
134. Andronic O, Chaharbakhshi E, Zingg PO, Germann C, Rahm S, Lall AC, et al. No Difference in Patient-Reported Outcomes for Periacetabular Osteotomy and Hip Arthroscopy with Capsular Plication in the Setting of Borderline Hip Dysplasia: A Propensity-Matched Multicenter Study with Minimum 5-Year Follow-up. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* 2023.

135. Hoch A, Liebmann F, Farshad M, Fürnstahl P, Rahm S, Zingg PO. Augmented reality-guided pelvic osteotomy of Ganz: feasibility in cadavers. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023.
136. Kiarostami P, Dennler C, Roner S, Sutter R, Fürnstahl P, Farshad M, et al. Augmented reality-guided periacetabular osteotomy-proof of concept. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):540.
137. Dittmer Flemig AJ, Essilfie A, Schneider B, Robustelli S, Sink EL. The use of image analysis software increases the accuracy of the periacetabular osteotomy fragment placement. *J Hip Preserv Surg.* 2021;8(4):325-30.
138. Grimberg AW, Steinbrück A. [10 Years of the German Arthroplasty Registry-EPRD: what has been achieved?]. *Orthopadie (Heidelb).* 2023;52(6):463-71.
139. Holleyman R, Bankes M, Witt J, Khanduja V, Malviya A. EARLY TO MID-TERM OUTCOMES OF PERIACETABULAR OSTEOTOMY FOR DEVELOPMENTAL HIP DYSPLASIA AND FEMOROACETABULAR IMPINGEMENT: A STUDY OF 1,087 CASES USING THE NAHR DATASET. *Orthopaedic Proceedings.* 2023;105-B(SUPP_11):42-.
140. Holleyman R, Sohatee MA, Witt J, Bankes MJK, Andrade TJ, Board T, et al. Periacetabular Osteotomy for Developmental Dysplasia of the Hip and Femoroacetabular Impingement: A Study Using the U.K. Non-Arthroplasty Hip Registry (NAHR) Data Set. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(15):1312-20.
141. Cantrell CK, Goedderz CJ, Selley RS, Sink EL, Stover MD. Highly Cited Articles in Periacetabular Osteotomy Research. *Hip Pelvis.* 2022;34(2):87-95.

Danksagung

Mein ausdrücklichster Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka, Ärztlicher Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie (CMSC) der Charité für die anhaltende Unterstützung meiner wissenschaftlichen und klinischen Tätigkeit. In beiden Punkten war und ist er stets ein großes Vorbild für mich. Außerdem danke ich Herrn Univ. Prof. Dr. med. Ulrich Stöckle als Geschäftsführendem Direktor für die Ermöglichung meiner wissenschaftlichen und klinischen Arbeit am CMSC.

Weiterhin gilt großer Dank Dr. med. Sebastian Hardt, der in einem engen klinischen und wissenschaftlichen Austausch stets Raum für die Entstehung und Verwirklichung wissenschaftlicher Fragestellungen geschaffen hat und mich klinisch sehr gefördert hat.

Dankbar bin ich außerdem Priv. -Doz. Dr. med. Doruk Akgün für den anhaltenden klinischen und wissenschaftlichen Austausch. Deine Zielstrebigkeit und Effizienz waren für mich stets ein Vorbild und unsere Freundschaft wird uns über die Grenzen von Klinik und Beruf stets verbinden.

Dank gilt weiterhin Priv. -Doz. Dr. med. Robert Zahn für die wissenschaftliche Zusammenarbeit und die immer aufbauenden Ratschläge und Unterstützung in unseren Gesprächen, die ich genauso, wie unsere darüber hinaus entstandene Freundschaft, sehr schätze.

Danken möchte ich auch allen Mitarbeitern des CMSC, die mich wissenschaftlich und klinisch unterstützt haben.

Großer Dank gilt den Doktoranden und Studenten für ihre Unterstützung bei der Umsetzung der wissenschaftlichen Projekte.

Persönlichster Dank gilt meiner Familie, meinen Eltern Barbara Socha-Leopold und Dr. med. Andreas Leopold für eure andauernde Unterstützung und das Vertrauen in mich, sowie meiner Ehefrau Media Leopold für die andauernde Motivation, Inspiration und dein Verständnis. Euch möchte ich diese Arbeit widmen.

Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

.....

Datum

.....

Unterschrift