

**Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie, Plastische und  
Handchirurgie des Universitätsklinikums Augsburg**

Gibt es, analog zur Hüftdysplasie, Früherkennungsmerkmale für  
eine kongenitale Trochleadysplasie?

**Dissertation<sup>1</sup>**

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. med.

eingereicht an der

Medizinischen Fakultät der Universität Augsburg

von

Johanna Theresa Svenja Abelman-Brockmann



Augsburg, den 10.10.2024

---

<sup>1</sup> Kumulative Dissertation sollten die Bezeichnung „Kumulative Dissertation“ tragen.

## **Eidesstattliche Versicherung und Erklärung**

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass die vorliegende Dissertation von mir selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt wurde. Zudem wurden keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet. Außerdem versichere ich, dass die Dissertation keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt wurde und ich mich nicht anderweitig einer Doktorprüfung ohne Erfolg unterzogen habe.

## **Statutory declaration and statement**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources. As well I declare that I have not submitted a dissertation without success and not passed the oral exam. The present dissertation (neither the entire dissertation nor parts) has not been presented to another examination board.

Augsburg, 10.10.2024

Dissertation eingereicht am: 10.10.2024

Erstgutachter (Hauptbetreuerin/Hauptbetreuer): Prof. Dr. med. Edgar Mayr

Zweitgutachter: PD Dr. Christian Fraitzl

Tag der mündlichen Prüfung: 06.05.2025

# Inhaltsverzeichnis

1.	1. Einleitung.....	1
1.1	Patellaluxation .....	1
1.1.1	Traumatische Patellaluxation.....	1
1.1.2	Dispositionelle und habituelle Patellaluxation.....	1
1.1.3	Kongenitale und neurogene Patellaluxation.....	2
1.2	Anatomie und Funktion des menschlichen Kniegelenkes.....	3
1.2.1	Der knöcherne Aufbau.....	3
1.2.2	Die Gelenke.....	4
1.2.3	Die ligamentären Strukturen .....	5
1.2.4	Muskulatur.....	6
1.2.5	Bewegungsumfang und – richtung.....	6
1.3	Therapie der Patellaluxation .....	7
1.3.1	Konservative Therapie.....	7
1.3.2	Operative Therapie .....	7
1.4	Trochleadysplasie.....	8
1.4.1	Funktion und Entstehung.....	8
1.4.2	Klassifikation.....	9
1.5	Hüftdysplasie .....	10
1.5.1	Etablierung und Untersuchung .....	10
1.5.2	Klassifikation nach Graf.....	11
1.6	Ziel der Studie .....	13
2.	Fragestellung.....	14
3.	Material und Methoden .....	14
3.1	Das Patientenkollektiv .....	14
3.2	Die Ultraschalluntersuchung.....	15
3.2.1	Der Transversalschnitt.....	15
3.2.1.1	Der Sulkuswinkel .....	17
3.2.1.2	Der Trochleawinkel.....	17
3.2.1.3	Die Laterale Trochleainklination.....	18
3.2.2	Der Sagittalschnitt .....	18
3.3	Statistische Auswertung.....	20
3.4	Datenschutz und Ethikvotum .....	21
4.	Ergebnisse.....	22
4.1	Patientenkollektiv.....	22

4.2	Ergebnisse des Trochleawinkels.....	24
4.3	Ergebnisse des Sulkuswinkel .....	24
4.4	Die Laterale Trochlearinklination (LTI) .....	25
4.5	Weitere Ergebnisse .....	26
5.	Diskussion .....	29
5.1	Diskussion der Ergebnisse .....	29
5.1.1	Einordnung der gemessenen Winkel .....	29
5.1.2	Untersuchungsmethode.....	29
5.1.3	Zusammenhänge der Gelenkentwicklung .....	30
5.1.4	Elterliche Risikofaktoren auf die Skelettentwicklung.....	30
5.2	Vergleich mit der aktuellen Studienlage .....	31
5.3	Forschungsausblick.....	31
5.4	Kritik und Limitation der Studie .....	32
6.	Zusammenfassung .....	34
6.1	Zusammenfassung in deutscher Sprache.....	34
6.2	Zusammenfassung in englischer Sprache .....	35
7.	Literaturverzeichnis.....	36
8.	Appendix.....	40
	I Abkürzungsverzeichnis .....	40
	II Abbildungsverzeichnis.....	40
	III Tabellenverzeichnis.....	41
	IV Danksagung.....	42
	V Lebenslauf .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
	VI Veröffentlichungen und Kongressteilnahme .....	43
	VII Fragebogen und Informationsschrift.....	44

# 1. Einleitung

## 1.1 Patellaluxation

Die Patellaluxation ist ein häufiges, oftmals notfallmäßiges Krankheitsbild im klinischen Alltag eines Orthopäden und Unfallchirurgen. Die Luxation ist es vor allem eine klinische Diagnose, welche selten durch ein Röntgenbild bestätigt werden muss, da die Reposition häufig bereits präklinisch erfolgt. Meist wird die stattgehabte Luxation durch die Anfertigung eines MRT bestätigt.

Ein Erstereignis tritt vor allem bei sportlichen Adoleszenten und jungen Erwachsenen auf [1, 2]. In der Literatur wird eine Inzidenz von bis zu 43/100000 angegeben [3]. Das weibliche Geschlecht ist mit Beginn der Pubertät etwas häufiger betroffen, da das Bindegewebe aufgrund der hormonellen Umstellung als weicher gilt [4, 5].

Die Ursachen für eine Patellaluxation können vielfältig sein und sind für das weitere Therapieregime entscheidend.

### 1.1.1 Traumatische Patellaluxation

Durch ein direktes oder indirektes Trauma kann die Patella luxieren, dies geschieht meistens nach lateral, ist aber je nach Richtung der Krafteinwirkung in alle Richtungen möglich. Häufig ist dies mit Verletzungen benachbarter Strukturen wie z.B. der Patellasehne vergesellschaftet. In seltenen Fällen, vor allem bei hochenergetischen Traumata kommt es zu komplexen Verletzungen des gesamten Kniegelenkes.

Laut Schmeling et al. sind jedoch nur 7% der Patellaluxationen auf ein Trauma zurückzuführen [6].

### 1.1.2 Dispositionelle und habituelle Patellaluxation

Im Gegensatz dazu kommt es aufgrund von anatomischen Gegebenheiten deutlich häufiger zu einer Patellaluxation ohne ein adäquates Trauma [6–9]. In

der Literatur werden verschiedene Prädispositionen und Risikofaktoren beschrieben und diskutiert. Die Patellofemorale Instabilität, sowie eine Achs- und Rotationsfehlstellung des Kniegelenkes (Genu valgum) [10] sind bekannte Risikofaktoren für Patienten in der abschließenden Wachstumsphase, die bei einem spontanen ausgeprägteren Valgus-Stress auf das Kniegelenk eine Luxation provozieren können [11–13]. Je nach Patellainstabilität und Therapieerfolg besteht nach dem Erstereignis ein hohes Risiko eines Rezidiv Ereignis bis hin zu einer habituellen Patellaluxation.

Ebenso das Vorliegen einer Patella alta, also einer nach crinal versetzten Kniescheibe wird in der Literatur als eines der Hauptrisiken für eine Patellaluxation beschrieben [11]. Dies kann kongenital aufgrund einer Dysplasie der lateralen Femurkondyle auftreten oder die Folge eines ausgeheilten Morbus Osgood-Schlatter sein.

Bei Patienten mit angeborenen systemischen Skeletterkrankungen (z.B. Marfan-Syndrom, Trisomie 21, Ehlers-Danlos-Syndrom) besteht eine erhöhte Bandlaxizität, so dass sie ein deutlich erhöhtes Risiko einer akuten oder habituellen Patellaluxation aufweisen [14].

### 1.1.3 Kongenitale und neurogene Patellaluxation

Zudem besteht bei Patienten mit seltenen Grunderkrankungen wie zum Beispiel der Osteonychodysplasie (Nagel-Patella-Syndrom) eine kongenitale Patellaluxation [15]. Dies bedarf je nach Beschwerdebild des Patienten einer frühzeitigen Therapie. Des Weiteren weisen Patienten mit einer Tetraspastik häufig eine neurogene Patellaluxation auf, da aufgrund der spastischen Kontrakturen der unteren Extremität ein abnormaler Zug auf den Musculus vastus lateralis ausgeübt wird und die Patella so aus ihrer anatomischen Stellung gebracht wird.

## 1.2 Anatomie und Funktion des menschlichen Kniegelenkes

### 1.2.1 Der knöcherner Aufbau

Das menschliche Kniegelenk ist durch drei Knochen definiert. Das distale Ende des Femurs mit der medialen und lateralen Femurkondyle, dorsal dazwischen liegt die Fossa intercondylaris. Ventral am Femur verläuft zwischen den beiden Kondylen die Trochlea ossis femoris. Dies bildet eine Gleitrinne für die Patella. Die Patella ist das größte Sesambein des menschlichen Körpers und ist der entscheidende Kraftüberträger vom Ober- auf den Unterschenkel bei der Streckung des Kniegelenkes. Die Kniescheibe hat im axialen Schnitt eine dreieckige Form mit einer konvexen Form nach ventral (siehe Abbildung 1). Sie liegt eingebettet in der Ansatzsehne des Musculus quadriceps femoris. Der dritte Knochen ist die Tibia. Ihr proximales Ende besteht ebenfalls aus einem lateralen und einem medialen Kondylus, dazwischen befindet sich die Eminentia intercondylaris. Ventral befindet sich die Tuberositas Tibiae, welche als Ansatzstelle der Patellasehne dient [16].



Abbildung 1: seitliche Röntgenaufnahme eines Kniegelenkes zur Beurteilung der knöchernen Strukturen und dem Stand der Patella  
Quelle: Uniklinikum Augsburg

### 1.2.2 Die Gelenke

Die Articulatio femoropatellaris wird vom Femur und der Patella gebildet. Die mit Knorpel überzogenen Gelenkflächen bilden die Rückseite der Patella (Facies articularis patellae) und das distale ventrale Ende des Femurs (Facies articularis femoris). Ab einer Flexion von etwa 30° gleitet die Patella in der femoralen Gleitrinne.

Das zweite Gelenk (Articulatio femortibialis) wird von der Tibia und dem Femur gebildet (siehe Abbildung 1). Dies ist hauptsächlich für die Flexion und die Extension des Gelenks verantwortlich. Da sowohl die Extension und die Flexion, als auch im 90° gebeugtem Zustand eine Innen- und Außenrotation

möglich ist, wird es als Drehscharniergelenk bezeichnet [16].

Zwischen den Gelenkflächen befinden sich zwei Menisken (Außen- und Innenmeniskus), die die Inkongruenz der Gelenkflächen bei den Bewegungen ausgleichen.

### 1.2.3 Die ligamentären Strukturen

Ein weiterer wichtiger Bestandteil, um die Funktion des Kniegelenkes zu ermöglichen ist der komplexe Bandapparat. Dieser dient ebenfalls zur Stabilisierung des Kniegelenkes. Er kann, je nach anatomischer Lage der Bänder unterteilt werden in einen ventralen, dorsalen, seitlichen und zentralen Teil.

Als Fortsetzung der Quadrizepssehne zieht das Ligamentum patellae vom unteren Patellapol zur Tuberositas Tibiae und setzt dort an. Lateral und medial setzen an der Patella sogenannte Retinacula an, die als Bandverstärkung in die Gelenkkapsel einstrahlen und der Patella dadurch eine zusätzliche Seitenstabilisierung verleihen. Diese sind Teil der Gelenkkapsel und vor allem für die Möglichkeit der Extension verantwortlich.

Sowohl medial als lateral wird das Kniegelenk von Kollateralbänder, die sich zwischen Femur und Tibia aufspannen, in der Frontalebene stabilisiert. In der Extension sind beide Seitenbänder gespannt, um einer Rotation entgegenzuwirken. Mit zunehmender Flexion entspannen sich die Bänder, weshalb ab ca. 90° eine Rotation möglich ist.

Dorsal wird die Gelenkkapsel von zwei Bändern (Lig. politeum obliquum et arcuatum) verstärkt [16].

Zentral wird das Kniegelenk durch ein vorderes und ein hinteres Kreuzband (Ligamenta cruciata) stabilisiert. Sie verhindern die Translation der Gelenkflächen in der Art. Femortibialis. Zudem hemmen sie die Innenrotation, indem sie sich umeinanderwickeln und das vordere Kreuzband Spannung aufbaut. Bei der Außenrotation kommt es zu einer Entwicklung der Kreuzbänder gegeneinander [16].

#### 1.2.4 Muskulatur

Der muskuläre Bestandteil des Kniegelenkes lässt sich in zwei Funktionsgruppen unterteilen.

Der Musculus Quadrizeps femoris ist hauptverantwortlich für die Streckung im Kniegelenk. Er setzt sich aus vier Muskeln (Mm. vasti lateralis, intermedius et medialis, M.rectus femoris) zusammen. Aufgrund ihres Ansatzes an der Tuberositas Tibiae führen sie zur Extension im Kniegelenk. Zwischen den Muskeln und ihrem gemeinsamen Ansatz ist die Patella eingebettet. Die Streckmuskulatur setzt an der Kniescheibe an und wird dann durch die Funktion des Sesambeines über die Patellasehne auf den Unterschenkel übertragen [17].

Die Gegenspieler zu den Extensoren sind die Flexoren. An der Innenseite des Oberschenkels verläuft der Musculus sartorius mit den Mm. Gracilis und semitendinosus, die einen gemeinsamen Ansatz an der proximalen Tibia haben (Pes anserinus superficialis). Zusätzlich sorgt der M.biceps femoris und der Unterschenkelmuskel M. gastrocnemius für die Beugung im Kniegelenk. Unterstützt wird die Flexion zudem auch vom M.popliteus.

#### 1.2.5 Bewegungsumfang und – richtung

Am menschlichen Kniegelenk bestehen folgende Bewegungsausmasse [16]:

Flexion: 120-150°

Extension: 50-10°

Innenrotation: ca. 10° bei 90° Flexion

Außenrotation: ca. 30° bei 90° Flexion

Als Drehwinkelgelenk ist das Kniegelenk eine Kombination aus Dreh- und Scharniergelenk. Es besitzt fünf Freiheitsgrade. Diese werden in Verschiebungsfreiheitsgrade (anterior-posterior, medio-lateral, Zug- und Kompression) und Drehbewegungsfreiheitsgrade (Extension/Flexion, Rotation) unterschieden [18].

Durch den aufrechten Gang des Menschen ist das Kniegelenk dauerhaft einer großen Belastung ausgesetzt und daher auf ein perfektes Zusammenspiel der knöchernen, ligamentären und muskulären Strukturen angewiesen.

Sobald eine Dysbalance dieser vorliegt, kann es zu Pathologien, wie zum Beispiel einer Patellaluxation kommen.

### **1.3 Therapie der Patellaluxation**

#### **1.3.1 Konservative Therapie**

Das Erstereignis einer Patellaluxation ohne adäquates Trauma erfordert eine systematische Diagnostik zum Detektieren möglicher Prädispositionen. Die Akutmaßnahmen sind nach erfolgter Reposition bei Bedarf Analgesie und eine Ruhigstellung, Entlastung, Schonen und Hochlagern, sowie das Kühlen der verletzten Extremität [19, 20].

Je nach Alter und Einteilung in das entsprechende Tannerstadium, die gebräuchliche Klassifikation zur Einteilung der physiologischen Entwicklung des Patienten während der Pubertät, muss eine Thromboseprophylaxe eingeleitet werden.

Zeitnah sollte ein MRT durchgeführt werden, um iatrogene Schäden der einzelnen Strukturen des Kniegelenkes auszuschließen (siehe Abbildung 3).

Für insgesamt sechs Wochen sollte eine 4-Punkt-Orthese mit stufenweise limitierter Flexion getragen werden und Physiotherapie zur Stärkung des Musculus quadriceps femoris durchgeführt werden [1, 19].

Bei konservativ geführten Patellaluxationen ist das Risiko einer Rezidivluxation, sowie das Auftreten einer verfrühten Arthrose im Patellofemoralgelenk deutlich erhöht [21, 22].

#### **1.3.2 Operative Therapie**

Nach wiederholten Luxationen, osteochondralen Frakturen, Ruptur des medialen Retinaculums oder bei irreponibler Luxationen muss die Indikation zur operativen Versorgung gestellt werden [19, 23]. Hier gilt eine Wiederherstellung des MPFL im Sinne einer Plastik als Goldstandard, diese muss jedoch je nach Befund individualisiert und angepasst werden [24]. Die Rekonstruktion der medialen Patellabandstrukturen wird entweder arthroskopisch oder offen durchgeführt. Die MPFL-Plastik erfolgt mit autologem

Sehnentransplantat (z.B. Sehne des M.semitendinosus, M.gracilis). Je nach Befund muss ein Realignment der Patellaführung proximal oder distal durchgeführt werden. Im distalen Bereich gilt ein Tuberositas-Tibiae-Trochleae-Groove (TTTG)-Abstand über 20 mm als Indikation zur zusätzlichen operativen Versorgung mittels Tuberositas-Tibiae-Osteotomien [25].

Bei allen Verfahren werden fakultativ vorhandene osteochondrale Fragmente refixiert oder entfernt. Neben den allgemeinen Operationsrisiken besteht bei jedem Eingriff das Risiko eines sekundären Versagens, was einen Revisionseingriff zur Folge hätte. Aufgrund der vorhandenen Verletzung besteht auch nach einer operativen Versorgung ein erhöhtes Risiko von verfrühter Arthrose im entsprechenden Kniegelenk.

Das postoperative Procedere wird jeweils je nach Umfang des Eingriffes vom Operateur festgelegt. Standard ist jedoch eine Ent- oder Teilbelastung der verletzten Extremität und die Durchführung intensiver Physiotherapie zur Stärkung der Muskulatur [19, 25].

Ein wichtiger Teil der präoperativen Vorbereitung ist die Detektion von Prädispositionsfaktoren, wie beispielsweise dem Vorliegen einer Hüft- oder Trochleadysplasie.

## **1.4 Trochleadysplasie**

### **1.4.1 Funktion und Entstehung**

Die Trochlea dient vor allem als sogenannte Gleitrinne der Patella, weshalb sich eine Inkongruenz der Facies patellaris und der Trochlea auf die Stabilität und Funktion der Patella auswirkt. Einen wissenschaftlichen Konsens über die genaue Entstehung einer Trochleadysplasie besteht in der Literatur aktuell noch nicht. Wie bei vielen Skelettdysplasien wird eine genetische Disposition diskutiert. Jedoch muss vor allem der Rolle der physiologischen Entwicklung der kindlichen Beinachse Beachtung geschenkt werden, sei die Dysplasie das Ergebnis einer bestehenden lateralen Fehlstellung der Patella vor Beginn des Laufens oder auf ein Remodelling der Trochlea zurückzuführen [26, 27]. Beides führt zu einer chronischen Patellainstabilität.

#### 1.4.2 Klassifikation

Abnorme Varianten der menschlichen femoralen Trochlea und ihre mögliche Bedeutung wurden bereits von Brattstroem im Jahre 1964 beschrieben [28]. Fast dreißig Jahre später etablierte Dejour et al. die Klassifikation der Trochleadysplasie anhand einer streng tangentiellen Röntgenaufnahme des Kniegelenkes, um die Stellung der Patella zu evaluieren und einer ergänzenden Schnittbildgebung (MRT – oder CT-Diagnostik, siehe Abbildung 3) [25, 27].



Abbildung 2: Das Röntgenbild eines Kniegelenkes eines Erwachsenen mit einer Trochleadysplasie Typ D nach Dejour

Quelle: Universitätsklinikum Augsburg

Dejour et al. unterteilen die femoralen Trochlea in vier Subtypen A-D, orientierend an der Anatomie der Facies patellaris, der Trochlea sowie der medialen und lateralen Gelenkfläche [25, 29].

- Typ A: milde Dysplasie mit einem abgeflachten Sulkuswinkel
- Typ B: flache Trochlea ohne Vertiefung
- Typ C: asymmetrische Kondylenausprägung mit ausgeprägter Hypoplasie der medialen Trochleaanteil
- Typ D: schwere Dysplasie mit einem hohen lateralen Kondylus und einem tiefen Sulkuswinkel (siehe Abbildung 2)

Das Vorliegen einer Trochleadysplasie wird im klinischen Alltag meist erst diagnostiziert, wenn der Patient Beschwerden im Kniegelenk, wie beispielweise Schmerzen oder eine Patellaluxation erleidet.

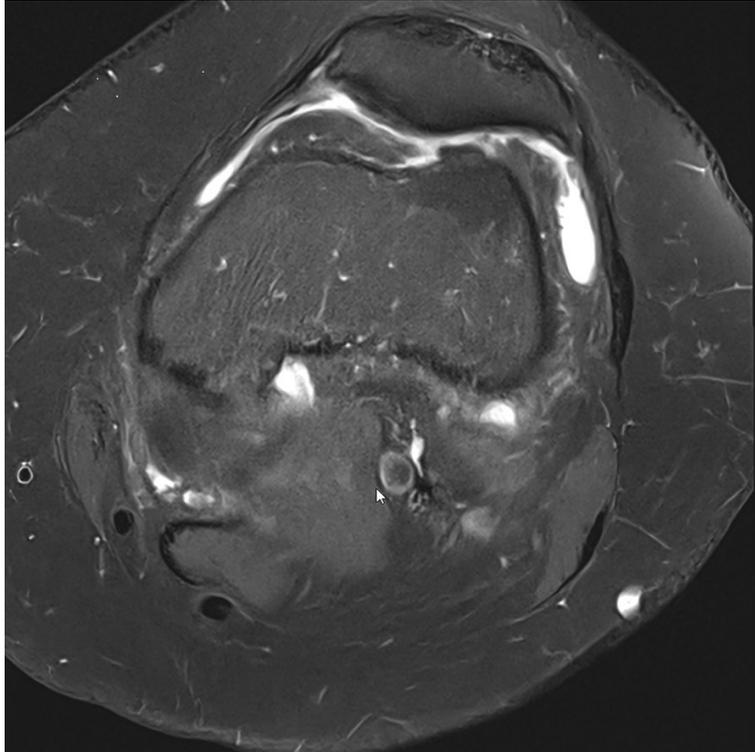


Abbildung 3: MRT Schnittbildgebung eines Erwachsenen Kniegelenkes mit einer dysplastischen Trochlea. Die Führung der Patella in der femoralen Gleitrinne ist nicht mehr gegeben. Quelle: Uniklinikum Augsburg

In den letzten Jahrzehnten hat sich in vielen Bereichen der Medizin bewiesen, dass eine frühzeitige Erkennung einer Erkrankung oder Fehlbildung und somit die Einleitung einer Therapie eine essenzielle Auswirkung auf den Therapieerfolg hat.

## 1.5 Hüftdysplasie

### 1.5.1 Etablierung und Untersuchung

Vor allem die Hüftgelenksdysplasie stand in den 1980iger- und 1990iger Jahren

im Fokus der klinischen Wissenschaft der Kinderorthopädie. Das Ziel war die Möglichkeit eine nichtinvasive Diagnostik zur Früherkennung einer Dysplasie zu etablieren und dann gegebenenfalls eine entsprechende Therapie einleiten zu können. Dies sollte den Anteil der Bevölkerung, die an einer Dysplasie leiden und aufgrund von Spätfolgen behandelt werden müssen, reduzieren. Herausragenden Ergebnisse zeigten sich in der Ultraschalldiagnostik der Hüftgelenke von Neugeborenen, da diese ohne Strahlenbelastung und ohne großen und teuren logistischen Aufwand vielerorts umgesetzt werden konnte [30, 31]. Im Rahmen der Präventionsmedizin wurde im Jahr 1996 in der Kinder-Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses (G-BA) in der Bundesrepublik Deutschland die Ultraschalluntersuchung beider Hüftgelenke verpflichtend in der Neugeborenen Vorsorge (U2- oder U3- Untersuchung, je nach Risikoprofil) eingeführt [32, 33].

#### 1.5.2 Klassifikation nach Graf

Als internationaler Goldstandard für das Hüftgelenk- Screening gilt die sonographische Untersuchung nach der Methode des österreichischen Professor Reinhard Graf. Im Ultraschall müssen drei anatomische Landmarken eingestellt werden. Diese sind der Unterrand des Os ilium, das Labrum acetabulare und der Schnitt durch das Pfannendach. Auf dem Bild werden dann, wie in Abbildung 4, zu sehen, händisch vom Untersucher drei Linien eingezeichnet:

Die Grundlinie ist die Tangente vom obersten Erkerpunkt distal entlang des Os ilium. Die Pfannendachlinie zieht vom Unterrand des Os ilium zum Erkerumschlagpunkt.

Die Knorpeldachlinie verläuft als Tangente im Erkerumschlagpunkt durch die Mitte des Labrums.

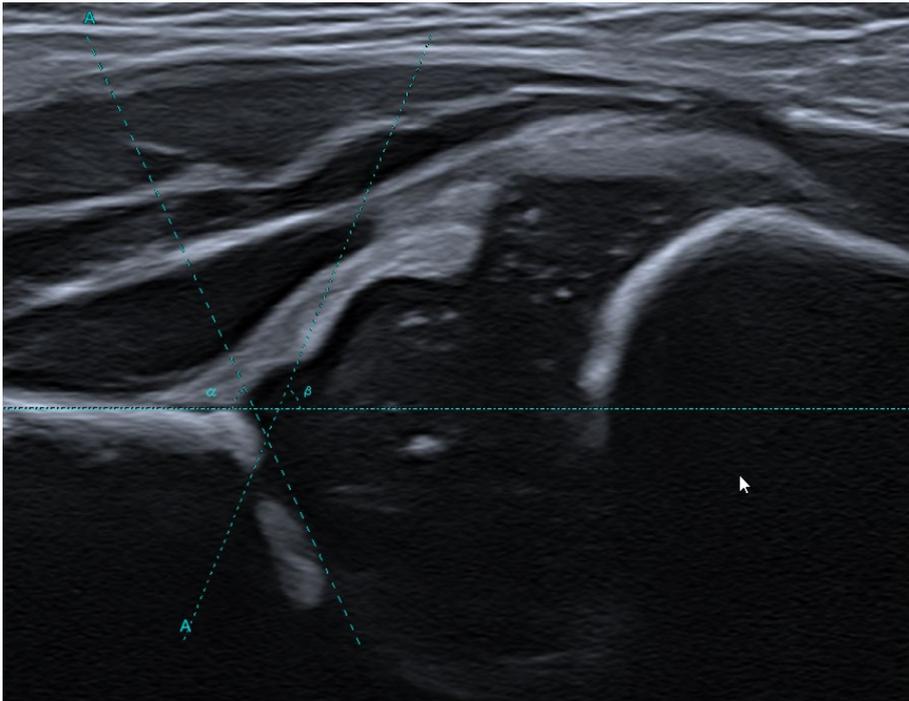


Abbildung 4: Ein Ultraschallbild eines kindlichen Hüftgelenkes; Die anatomischen Landmarken (Os ilium, Labrum acetabulare und das Pfannendach) sind gut dargestellt. Die entsprechenden Linien zur Messung des alpha- und beta- Winkels sind eingezeichnet. Quelle: Uniklinik

Zur Beurteilung des Pfannendachverhältnisses werden zwei Messwinkel bestimmt. Der  $\alpha$ -Winkel wird von der Grund- und Pfannendachlinie, der  $\beta$ -Winkel zwischen der Knorpeldach- und der Grundlinie gebildet [30, 31]. So zeigt der  $\alpha$ -Winkel die knöchernen und der  $\beta$ -Winkel die knorpelige Überdachung des Hüftkopfes [33].

Diese Winkel erlauben dann die Definition der Klassifikation (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: vereinfachte eigene Darstellung der etablierten Graf-Klassifikation:

Klassifikation	$\alpha$ -Winkel	$\beta$ -Winkel	Bedeutung
Ia	$> 60^\circ$	$< 55^\circ$	ausgereifte Hüfte
Ib	$> 60^\circ$	$> 55^\circ$	ausgereifte Hüfte
IIa/b	$50-59^\circ$	$> 55^\circ$	Hüftdysplasie
IIc	$43-49^\circ$	$< 77^\circ$	Hüftdysplasie
D	$43-49^\circ$	$> 77^\circ$	Hüftdysplasie
IIIa/	$< 43^\circ$	$> 77^\circ$	Hüftluxation (Pfanne und Kopf können noch Kontakt haben)
IV	$< 43^\circ$	$> 77^\circ$	Hüftluxation (Pfanne und Kopf haben keinen Kontakt mehr)

Zudem wurden Risikofaktoren, wie das weibliche Geschlecht, familiäre Disposition, Mehrlingsschwangerschaft für eine Hüftdysplasie benannt. Je nach Risikoprofil wurde die Ultraschalluntersuchung bei der U2-oder U3-Untersuchung verpflichtend.

Nach fast 30 Jahren Prävention zeigen sich bereits heute deutlich weniger junge Patienten im klinischen Alltag mit einer nicht therapierten oder nicht erkannten Hüftdysplasie [34].

## 1.6 Ziel der Studie

Bereits in den 1940igern Jahren beschäftigte sich Walmsley et al. mit der intrauterinen Skelettentwicklung [35]. Im Jahr 2005 beschrieb Glard et al. die Entwicklung des patellofemoralen Gelenkes in der Frühschwangerschaft (8-10. SSW) [36]. Zehn Jahre später zeigte Oye et al. einen möglichen Zusammenhang zwischen der Entwicklung einer Trochleadysplasie bei Beckenendlage des Kindes in der Schwangerschaft anhand des Sulkuswinkels [37].

Für eine kongenitale Prädisposition zur Patellaluxation, sowie einer unzureichenden Prägung des Patellofemoral-Gelenks (PF), gibt es aktuell kein Screening als auch keine geeigneten frühkindlichen Therapieansätze, obwohl das Patellofemoral-Gelenk gerade in der frühkindlichen Entwicklung einer sonographischen Diagnostik zugänglich wäre.

Für die Studie haben wir im Rahmen der Ultraschalluntersuchung ein Schnitt für das Kniegelenk festgelegt und standardisiert, um zu zeigen, dass dies für das

menschliche Kniegelenk ebenso möglich sei, wie es bereits für das Hüftgelenk etabliert wurde.

## **2. Fragestellung**

Mit der vorliegenden Studie wollen wir zeigen, dass die Diagnose einer Trochleadysplasie analog zur Hüftdysplasie mittels Ultraschalluntersuchung mit einem standardisierten Schnitt bei Neugeborenen dargestellt werden kann. Zudem wurden die Zusammenhänge der Entwicklung des Hüft- und Kniegelenkes untersucht und überprüft, ob die Risikofaktoren für das Vorliegen einer Hüftdysplasie denjenigen einer Trochleadysplasie entsprechen oder ähneln.

Auch die elterlichen Einflüsse wurden ausgewertet, um Risikofaktoren detektieren zu können.

## **3. Material und Methoden**

### **3.1 Das Patientenkollektiv**

In der vorliegenden prospektiven Studie wurden von Juni 2023 bis November 2023 Neugeborene Kinder eingeschlossen, die in diesem Zeitraum am Universitätsklinikum Augsburg zur Welt kamen und aufgrund ihres Risikoprofiles eine Ultraschalluntersuchung beider Hüftgelenke im Rahmen der U2-Untersuchung am Klinikum bekommen haben. Ausgeschlossen wurden Kinder, die vor der 37.SSW zur Welt kamen oder denen aufgrund einer Fehlbildung eine Extremität fehlte, bzw. bei denen bereits eine systemische Skeletterkrankung diagnostiziert war.

Als Einschlusskriterium galt die Teilnahme an der U2-Untersuchung und das Einverständnis der Eltern.

Im Rahmen des Aufklärungs- und Einverständnisgespräches über die Studienteilnahme mit den Eltern wurde ein Fragebogen ausgehändigt, um familiäre Daten, wie z.B. Alter, Gewicht, Körpergröße, Vorerkrankungen zu erfassen (siehe Tabelle 2).

Die Daten der Neugeborenen wurden aus der digitalen Patientenakte

ORBIS® (Agfa Health Care) ergänzt.

Die Hüftgelenke wurden nach der Graf-Klassifikation vermessen und klassifiziert. (siehe Tabelle 1)

Tabelle 2: Überblick über die erfassten Variablen der Kinder und Eltern der Studie

<b>Geburtsspezifische Daten der Neugeborenen</b>	<b>Gelenkspezifische Parameter der Neugeborenen</b>	<b>Daten der Eltern</b>
Geburtsalter (Wochen)	Patellofemorale Parameter:	Alter
Geburtsgewicht (Gramm)	Sulkuswinkel Trochleawinkel Laterale Trochleainklination	Gewicht (Kilogramm)
Geschlecht	Parameter des Hüftgelenkes	Körpergröße (Meter)
Intrauterine Lage	Alpha-Winkel Beta-Winkel Graf-Klassifikation	Body-Mass-Index

## 1.7 Die Ultraschalluntersuchung

In Zusammenarbeit mit den Kollegen der Kinderradiologie wurde ein sonographischer Schnitt standardisiert, sowohl in der transversalen als auch in der sagittalen Ebene, um das Kniegelenk zu erfassen und die Einstellung bestmöglich reproduzieren zu können. Die Untersuchungen wurden von zwei erfahrenen Kinderradiologen durchgeführt, um eine optimale Messgenauigkeit zu erhalten. Direkt im Anschluss an die Ultraschalluntersuchung des Hüftgelenkes erfolgte auf der ipsilateralen Seite direkt die Untersuchung des Kniegelenkes, so dass die Liegeposition des Kindes nur einmal verändert werden musste und der Stress für Eltern und Kind minimiert war.

### 1.7.1 Der Transversalschnitt

Für die Untersuchung in der transversalen Ebene wurde das kindliche Kniegelenk vom Untersucher in eine 90°-Position zwischen Femur und Tibia

gehalten, so dass der Knochenkern der Epiphyse des distalen Femurs und die knorpeligen posterioren Femurkondylen in einer Ebene dargestellt werden konnten (siehe Abbildung 5).

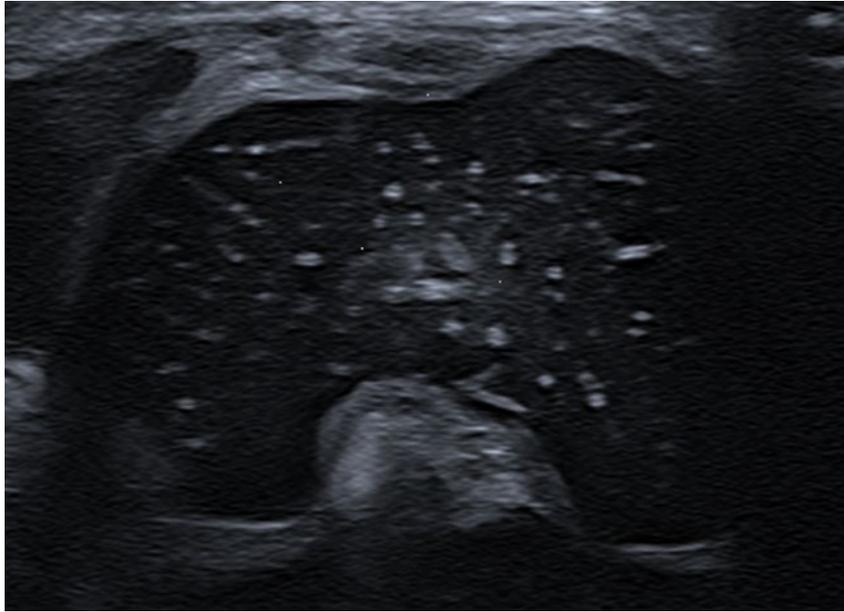


Abbildung 5: transversaler Schnitt Kniegelenkes eines Neugeborenen  
Beide Femurkondylen sind am unteren Bildrand gut sichtbar  
Quelle: Universitätsklinikum Augsburg

Ziel war es die hinteren Femurkondylen parallel abzubilden. Aus dieser Aufnahme konnte der Trochlea- und Sulkuswinkel, sowie die laterale Trochleainklination gemessen werden.

### 1.7.1.1 Der Sulkuswinkel

Der Sulkuswinkel (SW) wird von der Trochleaöffnung des Kniegelenkes gebildet. Der Winkel wird zwischen der medialen und lateralen Seite gemessen (siehe Abbildung 6).

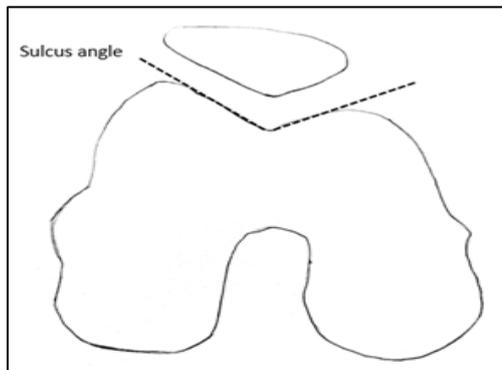


Abbildung 6: transversaler Schnitt durch ein Kniegelenk zur Darstellung der Vermessung des Sulkuswinkel

Quelle: T.Röttlinger, Universitätsklinikum Augsburg

### 1.7.1.2 Der Trochleawinkel

Zur Bestimmung des Trochleawinkels (TW) wird eine Linie vom vordersten Punkt des medialen Kondylus bis zum vordersten Punkt des lateralen Kondylus gezogen. Der Winkel wird dann mit der geraden der hinteren Kondylenachse gebildet (siehe Abbildung 7).

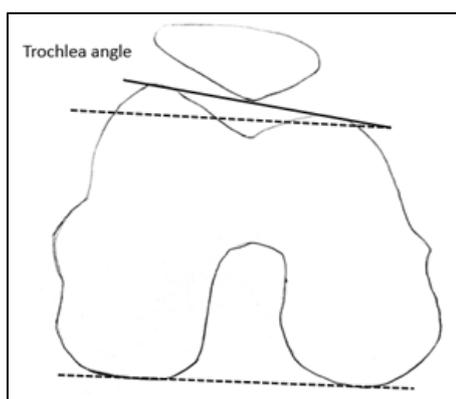


Abbildung 7: transversaler Schnitt durch ein Kniegelenk zur Darstellung des Trochleawinkels

Quelle: T. Röttlinger, Universitätsklinik Augsburg

### 1.7.1.3 Die Laterale Trochleainklination

Die laterale Trochleainklination (LTI) ist der Inklinationswinkel zwischen der Trochlea femoralis und einer posterioren kondylären Tangente (siehe Abbildung 8). Der Winkel dient als Indikator für eine Trochleadysplasie

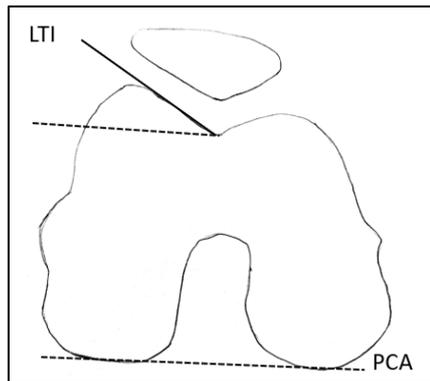


Abbildung 8: schematische Darstellung der lateralen Trochleainklination  
Quelle: T. Röttinger, Universitätsklinikum Augsburg

### 1.7.2 Der Sagittalschnitt

Für die Darstellung in der Sagittalebene wurde das kindliche Kniegelenk vom Untersucher um ca. 30° gebeugt, da die Patellasehne bei einem gestreckten Gelenk nicht gespannt und die Sehnenfasern daher nicht linear ausgerichtet sind. Dies führt zu Messungenauigkeiten, da die Sehne bei gestrecktem Knie zu kurz und ungenau gemessen werden könnte.



Abbildung 9: sagittaler Querschnitt durch ein Kniegelenk eines Neugeborenen. Die Kniescheibe wird sagittal im Querschnitt geschnitten. Die Patellasehne ist gespannt.  
Quelle: Uniklinikum Augsburg

Die Knochenkerne der Tibia und des Femurs sind auch in dieser Ebene gut sichtbar. Die Patella ist im Querschnitt getroffen (siehe Abbildung 9)

### 1.2.3. Messung der Winkel im Ultraschallbild

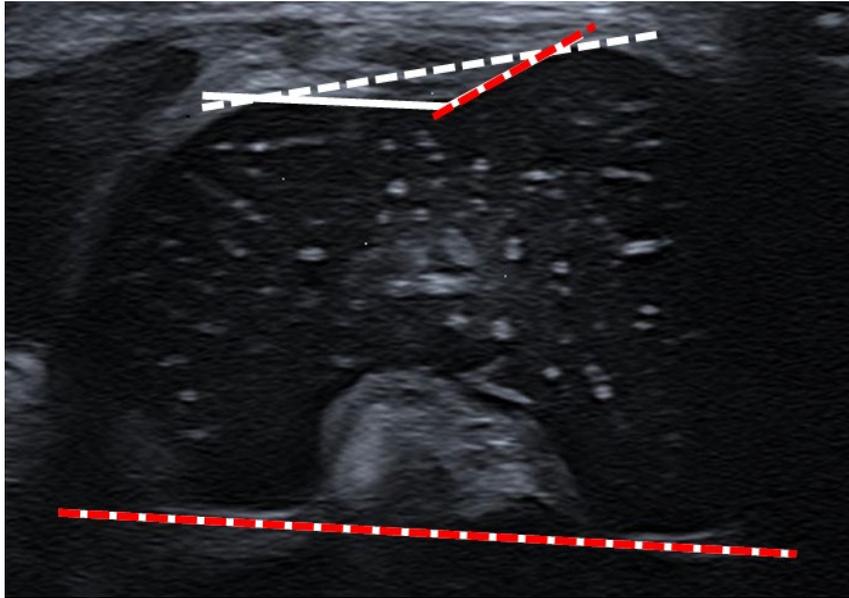


Abbildung 10: eingezeichnete Linien zur Messung der einzelnen Winkel, zur besseren Darstellung der Linien Zugehörigkeit wurden diese farblich unterlegt.  
Quelle: Universitätsklinikum Augsburg

Die Messung der Winkel erfolgte durch eine Person wie in Abbildung 10 dargestellt.

- **WEIß-ROT GESTRICHELTE LINIE:**      **HINTERE KONDYLENLINIE**
- **WEIß GESTRICHELTE LINIE:**        **TROCHLEAWINKEL**
- **WEIß DURCHGEZOGENE LINIE:**      **SULKUSWINKEL**

## 1.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Jamovi 2.3.28 (jamovi.org). Die Statistik wurde von Herrn Timon Röttinger und Frau Johanna Abelmann-Brockmann berechnet und ausgewertet.

Für die deskriptiven Statistik wurde mit den Mittelwerten mit +/- Standardabweichung gerechnet.

Die Winkel wurden in Grad, das Gewicht in Gramm und die Längen jeweils in Zentimeter angegeben und in diesen Einheiten gerechnet.

Bei normalverteilten Variablen wurde die Pearson-Korrelation und bei nicht-normalverteilten unabhängigen Variablen die Kendall-Tau-Korrelation verwendet.

Die Parameter, die signifikante lineare Korrelationen aufweisen, wurden durch mehrfache lineare Regressionen mit diesen Variablen verknüpft.

Waren die unabhängigen Stichproben normal verteilt, wurde ein t-Test durchgeführt. Nach Abschluss aller Regressionen wurden die Residuen sowohl graphisch als auch analytisch (Shapiro-Wilk-Test) auf Unabhängigkeit, Homoskedastizität und Normalverteilung geprüft.

Auf Heteroskedastizität wurde mit dem Breusch-Pagan-Test geprüft.

Es wurden die Werte des rechten und des linken Gelenks einzeln auf ihre Abhängigkeit getestet sowie jeweils der errechnete Durchschnittswert der einzelnen Gelenke.

Als Signifikanzniveau wurde für alle in der Studie verwendete Parameter 5% ( $p=0,050$ ) festgelegt.

#### **1.4 Datenschutz und Ethikvotum**

Bei der Erfassung der Daten wurden diese direkt pseudonymisiert und die Liste der Pseudonyme nach Fertigstellung der Arbeit vernichtet.

Die Erfassung und Bearbeitung der Daten erfolgte ausschließlich auf einem passwortgesicherten Rechner des Universitätsklinikum Augsburg.

Vor Beginn der Studie erfolgte eine ethische Beratung durch die Ethikkommission der Ludwig-Maximilian-Universität zu München.

Das positive Ethikvotum (22-0582) wurde am 31.10.2022 erteilt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Patientenkollektiv

Es wurden insgesamt 112 Kinder untersucht, von denen 96 in die Studie eingeschlossen wurden, so dass 192 Kniegelenke erfasst und analysiert werden konnten.

Die Qualität der Bilder von insgesamt 16 Kindern war nicht ausreichend, um die jeweiligen benötigten Strukturen zu definieren und zu messen.

Die in die Studie eingeschlossenen 96 Säuglinge waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen einem und zwanzig Tagen alt, mit einem Durchschnittsalter von 3,8 Tagen.

Die Geschlechterverteilung war mit 52 (54 %) männlichen und 44 (46 %) weiblichen Säuglingen nahezu ausgeglichen (siehe Abbildung 11)



Abbildung 11: Geschlechterverteilung nach eigener Darstellung

Das Untersuchungskollektiv umfasste 15 Mehrlingsschwangerschaften und 66

Einlingsschwangerschaften (siehe Abbildung 12).

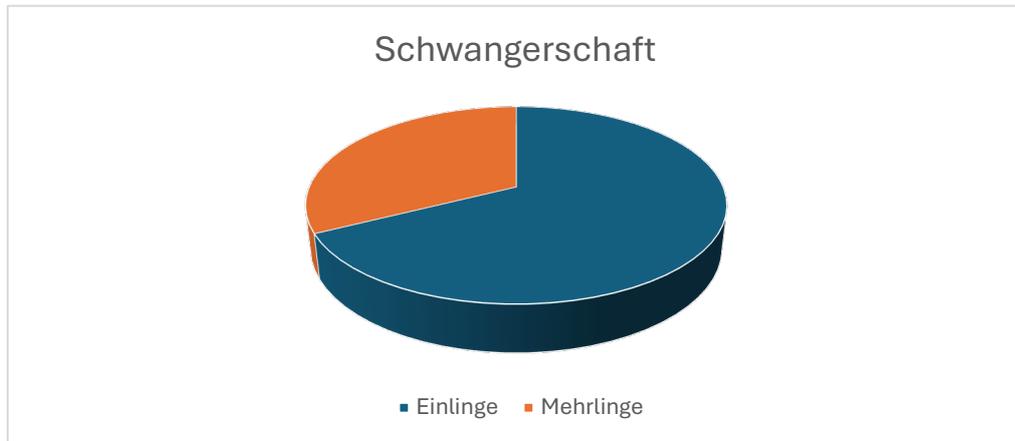


Abbildung 12: eigene Darstellung der Verhältnisse von Einlings- und Mehrlingsschwangerschaften

Das Durchschnittsgewicht der Untersuchungspopulation betrug 3108,44 g (SD +/-659,48 g) und die Körperlänge 49,84 cm (SD +/-3,00 cm).

Das mittlere Gestationsalter lag bei 266 Tagen (SD +/-17,7).

Zwischen der rechten und der linken Seite der Hüft- und Kniegelenke waren keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p=0,107$ ) festzustellen.

Die Durchschnittswerte der entsprechenden Winkel des Kniegelenkes sind in der unteren Tabelle 3 zusammengefasst:

Tabelle 3: Durchschnittswerte der erfassten Winkel der Trochlea nach eigener Darstellung

Laterale Trochleainklination	20,4°
Sulkuswinkel	147,7°
Trochleawinkel	6,0°

## 4.2 Ergebnisse des Trochleawinkels

Der Mittelwert der Trochleawinkel betrug  $5,86^\circ$  (SD  $\pm 2,44^\circ$ ) mit einem Bereich zwischen  $1,50^\circ$  und  $11,4^\circ$ .

Es zeigte sich eine signifikante Korrelation mit dem Alpha-Winkel der Hüftgelenke ( $p=0,036$ ), jedoch keine Signifikanz mit der intrauterinen Lage ( $p=0,449$ ).

Tabelle 4: multiple Regression des Trochleawinkels mit der intrauterinen Lage des Kindes und dem Alphawinkel, erstellt mit Jamovi 2.3.28

Modelkoeffizient – Trochleawinkel

Prädiktor	Estimate	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		t	p
			Unterer	Oberer		
Interzept <sup>a</sup>	-0.800	30.243	-681.615	5.217	-0.264	
Intrauterine Lage*:						
0 – 1	0.400	0.5260	-0.64604	1.447	0.761	0.449
Alphawinkel	0.101	0.0474	0.00667	0.195	2.130	<b>0.036</b>

<sup>a</sup> represents the reference level \* 0 = Beckenendlage 1 = alle anderen intrauterinen Lagen

## 4.3 Ergebnisse des Sulkuswinkel

Der SW zeigte einen Mittelwert von  $147,5^\circ$  (SD  $\pm 6,92^\circ$ ) und eine signifikante Korrelation mit der intrauterinen Lage der Neugeborenen ( $p=0,005$ ).

Ein größerer SW ( $150^\circ$  SD  $\pm 5,46^\circ$ ) wurde bei Kindern gefunden, die in Steißlage geboren wurden, im Vergleich zu Kindern, die nicht in Beckenendlage geboren wurden (Sulkuswinkel  $147^\circ$  SD  $\pm 4,75^\circ$ )

Tabelle 5: multiple Regression des Sulkuswinkels mit dem Alphawinkel und der intrauterinen Lage des Kindes, erstellt mit Jamovi 2.3.28

Modelkoeffizient – Sulcuswinkel

Prädiktor	Estimate	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		t	p
			Oberer	Unterer		
Interzept <sup>a</sup>	160.334	6.527	147.350	1.733.173	24.57	< .001
Intrauterine Lage*:						
0 – 1	-3.297	1.136	-5.556	-10.372	-2.90	<b>0.005</b>
Alphawinkel	-0.167	0.102	-0.370	0.0367	-1.63	<b>0.107</b>

<sup>a</sup> represents the reference level \* 0 = Beckenendlage 1 = alle anderen intrauterinen Lagen

Ein Zusammenhang zwischen dem Alphawinkel und der Sulkuswinkel ließ sich nicht signifikant ( $p= 0,107$ ) beweisen.

#### 4.4 Die Laterale Trochlearinklination

Der Mittelwert der LTI betrug  $20^\circ$  (SD  $\pm 3,75^\circ$ ), mit Werten zwischen  $11,7^\circ$  und  $27,5^\circ$ . Hier gab es keine signifikante Korrelation mit der intrauterinen Lage der Neugeborenen ( $p= 0,862$ ).

Jedoch zeigte sich die Laterale Trochlearinklination ebenfalls signifikant mit dem alpha-Winkel der Hüftgelenke ( $p= 0,045$ ; Shapiro-Wilk  $p=0,818$ ).

Tabelle 6: multiple Regression der Lateralen Trochlearinklination mit dem Alphawinkel und der Intrauterinen Lage des Kindes, erstellt mit Jamovi 2.3.28

Modelkoeffizient– laterale Trochleainklination

Prädiktor	Estimate	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		t	p
			Unterer	Oberer		
Intercept <sup>a</sup>	10.106	48.650	0.42392	19.787	2.077	0.041
Intrauterine Lage*:						
0 – 1	0.148	0.8490	-15.416	1.838	0.174	0.862
Alphawinkel	0.156	0.0765	0.00334	0.308	2.034	<b>0.045</b>

<sup>a</sup> represents the reference level \* 0 = Beckenendlage 1 = alle anderen intrauterinen Lagen

#### 4.5 Weitere Ergebnisse

Insgesamt zeigte sich eine sehr homogene Gruppe. Obwohl sie anhand eines Risikoprofils zusammengestellt wurde, waren die pathologischen Hüftgelenke unterrepräsentiert.

Die Durchschnittswerte der alpha (62,4°) - und beta (63,1°) -Winkel entsprachen einer ausgereiften Hüfte. Fast die Hälfte der Hüften wurde als nicht pathologisch klassifiziert (siehe Tabelle 7)

Tabelle 7: Ergebnisse der Klassifikation nach Graf der Hüftgelenke nach eigener Darstellung

<b>IA</b>	<b>53</b>	<b>(27%)</b>
<b>IB</b>	<b>94</b>	<b>(48%)</b>
<b>IIA</b>	<b>40</b>	<b>(21%)</b>
<b>IIB</b>	<b>2</b>	<b>(1%)</b>
<b>IIC</b>	<b>4</b>	<b>(2,1%)</b>
<b>D</b>	<b>1</b>	<b>(0,5%)</b>

Es bestand keine signifikante Korrelation zwischen dem Alpha-Winkel der rechten Hüfte und den Werten des rechten Kniegelenks sowie zwischen den Gelenken auf der linken Seite, sondern nur mit den Mittelwerten beider Gelenke.

Der LTI wies eine signifikante Korrelation mit dem mütterlichen Alter (p=0,034)

und dem BMI der Mutter ( $p=0,019$ ) auf.

Der TW korrelierte fast signifikant mit dem Alter der Mutter ( $p=0,055$ ) im Gegensatz zum Sulcuswinkel, der keine Korrelation mit dem Alter und dem BMI der Mutter zeigte.

Bei unserer Patientengruppe gab es keine Korrelation zwischen dem Alphawinkel und dem Alter, sowie dem Gewicht der Mutter.

Die bekannten Risikofaktoren für Hüftdysplasie, wie Zwillingsschwangerschaft ( $p=0,049$  und Steißlage ( $p=0,003$ ), wurden bestätigt, jedoch waren die Risikofaktoren des erhöhten Geburtsgewichts und der großen Geburtsgröße in unserer Studiengruppe nicht signifikant (Gewicht  $p=0,440$  und Größe  $p=0,454$ ). Die Auswertung zeigte, dass das Alter des Vaters einen Einfluss auf die gemessenen Werte der Winkel zu haben scheint.

Sowohl für das Hüftgelenk als auch für das Kniegelenk wurden signifikante Korrelationen gefunden.

Das Elternkollektiv der Patienten entspricht nach Angaben des statistischen Bundesamtes in Bezug auf die Körpergröße und das Gewicht dem deutschen Bundesdurchschnitt (siehe Tabelle 8). Auch die Werte der Neugeborenen entsprachen in Größe und Gewicht dem deutschen Durchschnittsbaby und sind damit als repräsentativ zu werten.

Tabelle 8: Übersicht über die Durchschnittsergebnis des erfassten Elternkollektive nach eigener Darstellung

#### Vater

ALTER	36,35
KÖRPERGRÖÙE	180,5 cm
KÖRPERGEWICHT	-
BEKANNTE HÜFTDYSPLASIE	2%
DIABETES	3%
ART. HYPERTONIE	0%

## MUTTER

ALTER	32,6 Lebensjahre
KÖRPERGRÖßE	165,7 cm
KÖRPERGEWICHT	69,5 KG
BEKANNTE HÜFTDYSPLASIE	10,1%
DIABETES	7,28%
ART. HYPERTONIE	0%

Tabelle 9: Multiple Regression vom LTI mit dem Alter und der Körpergröße des Vaters, erstellt mit Jamovi 2.3.28

Modelkoeffizient – LTI

Prädiktor	Estimate	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		t	p
			Unterer	Oberer		
Interzept <sup>a</sup>	264.955	134.511	-0.461	534.520	1.970	0.054
Alter des Vaters	-0.2624	0.1086	-0.480	-0.0447	-2.41	<b>0.019</b>
Körpergröße Vater	0.0172	0.0693	-0.122	0.1560	0.248	<b>0.805</b>

<sup>a</sup> represents the reference level \* 0 = Beckenendlage 1 = alle anderen intrauterinen Lagen

Tabelle 10: Multiple Regression des Alphawinkels und des Alters des Vaters, erstellt mit Jamovi 2.3.28

Modelkoeffizienten – Alphawinkel

Prädiktor	Estimate	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		t	p
			Unterer	Oberer		
Interzept <sup>a</sup>	729.678	5.278	62.433	835.025	138.252	< .001
Alter des Vaters	-0.2898	0.140	-0.569	-0.0104	-20.701	<b>0.042</b>
Intrauterine Lage*: 0 – 1	0.0384	1.337	-2.630	27.072	0.0287	0.977

<sup>a</sup> represents the reference level \* 0 = Beckenendlage 1 = alle anderen intrauterinen Lagen

Die Größe des Vaters wies jedoch keine signifikante Korrelation mit der Gelenkentwicklung auf.

Es wurde auch das Gewicht der Väter erfragt, allerdings wurden zur Quantifizierung des Gewichts zu wenige Antworten erfasst, so dass keine qualitative Aussage dazu getroffen werden konnte.

## 5. Diskussion

### 5.1 Diskussion der Ergebnisse

#### 5.1.1 Einordnung der gemessenen Winkel

Die gemessenen Winkel der kindlichen Kniegelenke zeigten im Vergleich zu den bekannten Normwerten der Erwachsenen patellofemorale Trochlea wenig Varianz. Da bisher in der Literatur nur die Normwerte der ausgewachsenen menschlichen Trochlea beschrieben und definiert sind, wurde für die Studie zur Charakterisierung der kindlichen Trochlea die Werte analog zu der patellofemorale Trochlea des Erwachsenen hergenommen und nach Abnormalitäten definiert (Tabelle 3). Laut dieser Definition weist unser Patientenkollektiv neben den reifen Hüftgelenken auch normwertige Kniegelenke auf.

#### 5.1.2 Untersuchungsmethode

Zu Beginn der Studie wurde mit den Kollegen der Kinderradiologie ein Schnitt des kindlichen Kniegelenkes in der Ultraschalluntersuchung festgelegt mit dem

Ziel einen Schnitt zu finden, welcher gut reproduzierbar ist und auf dem alle relevanten Strukturen zu Beurteilung der femoralen Trochlea gut zu sehen seien. Dies zeigte sich bereits während der Studie erfolgreich. So war die Untersuchung für die Neugeborenen keine zusätzliche Belastung. Damit konnten wir zeigen, dass eine standardisierte Untersuchung des kindlichen Kniegelenkes möglich und im klinischen Alltag gut zu integrieren ist.

#### 5.1.3 Zusammenhänge der Gelenkentwicklung

In der vorliegenden Studie konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der kindlichen Hüft- und Kniegelenksentwicklung gezeigt werden, die bereits von intrauterinen Einflüssen geprägt wird.

Der Zusammenhang war besonders signifikant zwischen dem Alphawinkel des Hüftgelenks und der lateralen Trochleainklination, sowie dem Trochleawinkel des Kniegelenkes (siehe Tabelle 4 und 6). Jedoch zeigte der dritte Parameter einer Trochleadysplasie, der Sulkuswinkel keine signifikante Korrelation mit dem Alphawinkel (siehe Tabelle 5).

Allerdings wurde der signifikante Zusammenhang zwischen dem Sulkuswinkel und der intrauterinen Position des Kindes, vor allem die Beckenendlage, wie bereits von Oye im Jahre 2016 publiziert durch die Daten bestätigt (siehe Tabelle 5).

Ausgehend von der Literatur und den Ergebnissen der Studie scheint der prägendste intrauterine Faktor für die Entwicklung einer Trochleadysplasie die Knieposition im Verlauf der Schwangerschaft zu sein [38, 39].

#### 5.1.4 Elterliche Risikofaktoren auf die Skelettentwicklung

Bemerkenswert ist, dass in unserem Patientenkollektiv nicht nur das Alter der Mutter eine Rolle auf die Gelenkentwicklung des Kindes hat, sondern auch das Alter des Vaters (siehe Tabelle 9 und 10). Die bekannten Risikofaktoren der Mutter wie Alter, Gewicht und Körpergröße konnten wir anhand unserer Daten bestätigen.

Bisher wurden wenig Daten über den Zusammenhang zwischen der Diagnose einer Skelettdysplasie und dem väterlichen Alter publiziert [44].

Die Kinder mit einem älteren Vater wiesen in unserer Studienpopulation signifikant häufiger unreife Hüftgelenke auf (Tabelle 10).

Gerade aufgrund des demographischen Wandels der Bevölkerung in Mitteleuropa entsteht hier ein interessanter und bedeutender Aspekt der

Wissenschaft.

## **5.2 Vergleich mit der aktuellen Studienlage**

Oye et al beschrieben im Jahre 2016 bereits einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Sulkuswinkel und der intrauterinen Lage des Kindes, der in unserer Studie bestätigt werden konnte [37, 42]. Auch DeVries et al. bestätigten die intrauterine Knieposition des Kindes als vermutlich Hauptrisikofaktor für die Entwicklung einer Trochleadysplasie [38, 42]. Dies wurde auch indirekt durch eine retrospektive Studie von Koob et al. bestätigt, der anhand von Frühgeburtlichkeit bei 660 Neugeborenen dies als einen protektiven Faktor für Hüft- und Trochleadysplasie beschrieb, da die Kinder aufgrund ihrer geringeren Körpergröße und damit mehr Platz im Uterus seltener eine Dysplasie aufweisen [39].

Der Unterschied zwischen der vorliegenden Studie und der Literatur ist vor allem die Tatsache, dass unser Patientenkollektiv im Lebensalter und damit vom Skeletalter sehr homogen ist. In den bisherigen Veröffentlichungen bestand das Kollektiv aus Teilnehmer vom Säuglingsalter bis zum Vorschulalter, so dass eine Entwicklung der Beinachse bereits eingesetzt hatte [36, 38, 42, 43].

Auch das paternale Alter als Risikofaktor auf die Skelettentwicklung wurde bisher nur von Gourniat et al. als eine systemische Übersichtsarbeit im Jahre 2023 publiziert. Er konnte einen Zusammenhang zwischen einem fortgeschrittenem Alter des Vaters und der kindlichen Morbidität unter anderem für eine exponentiell erhöhte Inzidenz von Achondroplasie darstellen [44]. Eine Beschreibung auf eine unreifere Gelenkentwicklung in Abhängigkeit des väterlichen Alters wurde bisher jedoch noch nicht publiziert.

## **5.3 Forschungsausblick**

Die aktuellen Zusammenhänge haben sich in kleineren Studienpopulationen zeigen lassen, jedoch zeigte bisher keine Studie eine längerfristige

Verlaufskontrolle und damit die Entwicklung der femoralen Trochlea von Geburt über die Entwicklung der Beinachse bis zur Vollendung des Skelettwachstums an einem Individuum. Diesen Verlauf benötige es, um die Hypothese der Früherkennung bestätigt zu können. Dies müsste in einer längerfristigen Studie, welche die Probanden regelmäßig zur Vermessung der Kniegelenke betreut und vor allem während der Entwicklung des Achsenskelettes beobachtet, erforscht werden.

Hilfreich wäre die retrospektive Auswertung der Hüft- und Kniegelenke junger Patienten, die eine Patellaluxation aufgrund eines Bagatelltraumas erlitten haben.

Da dieses Kollektiv in der Bundesrepublik Deutschland in der heutigen Zeit alle ein dokumentiertes Hüftsonografie als Säugling gehabt haben, würde es Rückschlüsse auf das Vorliegen einer Hüftdysplasie möglich machen.

Zur Erhebung des Risikofaktors des väterlichen Alters wäre eine multizentrisch aufgebaute Studie sinnvoll, um bei einem möglichst umfangreichen Kollektiv das Alter des Vaters zu erfassen. So wäre es möglich in Kinderorthopädischen Zentren das Alter der Eltern bei jedem Kind, welches sich zur planmäßige Ultraschalluntersuchung vorstellt zu erfassen, um dann signifikanter Rückschlüsse auf den Einflussfaktor Alter ziehen zu können.

#### **5.4 Kritik und Limitation der Studie**

In der vorliegenden Studie zeigen sich einige kritische Punkte.

Das Patientenkollektiv wurde aus einer Risikogruppe für eine Hüftdysplasie erstellt, jedoch gab es kaum Eltern, bei denen eine Hüftdysplasie bekannt war. Wurde die Frage nach einer vorhandenen Hüftdysplasie mit „ja“ angekreuzt, konnte häufig trotz expliziter Nachfrage kaum eine konkrete Auskunft über den Grad der Dysplasie und einer möglich erfolgten Therapie gegeben werden. Es gab kein Elternteil, welches aufgrund einer Hüftdysplasie im Kindesalter operiert worden war. Der therapeutische Unterschied zwischen breitem Wickeln bis hin zur Behandlung mit einer Tübinger Schiene konnte oft nicht zuverlässig geklärt werden. Diese Limitation der Studie ist mitunter darauf zurückzuführen, dass das Elternkollektiv überwiegend vor 1996 geboren war und damit nicht

regelmäßig am Neugeborenen Hüftgelenksscreening im Rahmen der Vorsorgeuntersuchung teilgenommen hatte.

Zudem wurden die Daten der Eltern in Form des Fragebogens teilweise gar nicht oder eher mangelhaft ausgefüllt. Es war mit der digitalen Patientenakte nicht immer möglich, die fehlenden Fakten zu eruieren, so dass viele wichtige Informationen nicht erfasst werden konnten. Auch teilweise telefonische Nachfragen konnten nicht alle Sachverhalte klären.

Daher präsentiert sich das Elternkollektiv als überdurchschnittlich gesund.

Die Werte einer kindlichen knorpeligen Trochlea sind vereinzelt bereits in der Literatur beschrieben, jedoch noch nicht fest definiert. In der Literatur wird diskutiert, dass sich die Form der Trochlea während des Wachstums nicht mehr wesentlich verändert, so dass die Werte mit denen der Erwachsenen vergleichbar wären [40, 41]. Auch hier ist die Studienlage noch nicht beweistragend.

## **6. Zusammenfassung**

### **6.1 Zusammenfassung in deutscher Sprache**

Hintergrund:

Die Instabilität des Femoropatellargelenks ist eine häufige Pathologie bei Kindern und jungen Erwachsenen. In der klinischen Praxis äußert sich dies häufig durch Schmerzen oder eine Patellaluxation. Ein wissenschaftlicher Konsens über die Ätiologie der Trochleadysplasie wurde bisher nicht erreicht. In der Literatur wird eine multifaktorielle Genese diskutiert. Die Therapie der Patellaluxation muss je nach Klinik operativ und konservativ diskutiert werden. In unserer Studie wollen wir untersuchen, ob es analog zur Hüftdysplasie Risikofaktoren für die Trochleadysplasie gibt.

Material und Methoden:

Es wurden 192 Kniegelenke von 96 Neugeborenen in der Universitätsklinik Augsburg mittels Ultraschalls untersucht und vermessen. Der Sulcus- und Trochleawinkel und die laterale Trochlearinklination der Kniegelenke sowie der Alpha- und Betawinkel der Hüfte wurden in Transversalaufnahmen gemessen. Auch das Gestationsalter, das Gewicht und die Länge bei der Geburt, das Geschlecht und die Art der intrauterinen Lage wurden registriert. Wir erfassten die Daten der Eltern wie Alter, Gewicht, Größe und Risiko für Hüftdysplasie.

Ergebnisse:

Wir konnten bestätigen, dass der Sulcuswinkel ein wichtiger Indikator zur Entstehung einer Trochleadysplasie ist. Der Sulcuswinkel wurde signifikant von der intrauterinen Lage des Neugeborenen beeinflusst. Zudem besteht ein Zusammenhang zwischen der Entwicklung des Hüft- und Kniegelenks. Auch das Alter beider Elternteile ist ein Risikofaktor für eine Gelenkdysplasie.

Schlussfolgerung:

Das Ultraschall-Screening von Kniegelenken von Neugeborenen zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Entwicklung einer Hüftdysplasie und einer Trochleadysplasie mit einem ähnlichen Risikoprofil. Zudem zeigte sich anhand der erhobenen Daten ein größerer Einfluss des väterlichen Alters auf die Skelettdysplasie als bisher bekannt.

## 6.2 Zusammenfassung in englischer Sprache

Background and purpose:

The Instability of the femoropatellar joint is a common pathology in children and young adults. In clinical practice, this is often manifested by pain or patellar dislocation. A scientific consent on the etiology of trochlear dysplasia has not been reached yet. The literature discusses a multifactorial genesis, with trochlear dysplasia as the main risk factor.

In our study we aimed to investigate whether there are risk factors for trochlear dysplasia analogous to hip dysplasia.

Material and Methods:

We examined 192 knees in 96 newborns at our institution using ultrasonography. The sulcus- and trochlear angle and lateral trochlear inclination of the knee joints, as well as the alpha- and beta- angle of the hip were measured in transverse scans. The gestational age, weight and length at birth, sex and the way of intrauterine position were also registered. We collected the data of the parents like age, weight, size, and risk for hip dysplasia.

Results:

We confirm that the sulcus angle is an important factor for trochlear dysplasia. The sulcus angle was significantly influenced by the intrauterine position of the newborn. Furthermore, there is a connection between the development of the hip- and knee joint. Even so the age of both parents is a risk factor for a joint dysplasia.

Conclusion:

Ultrasound Screening of newborn knees reveals a connection between hip dysplasia and trochlear dysplasia.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Höhne S, Gerlach K, Irlenbusch L, Schulz M, Kunze C, Finke R. Patellaluxation bei Kindern und Jugendlichen – 136 Ereignisse bei 88 Patienten und Literaturübersicht. [Patella Dislocation in Children and Adolescents]. *Z Orthop Unfall*. 2017;155:169–76. doi:10.1055/s-0042-122855.
2. Hefti F. Achsenfehler an den unteren Extremitäten. [Deviations in the axes of the lower extremities]. *Orthopade*. 2000;29:814–20. doi:10.1007/s001320050531.
3. Fithian DC, Paxton EW, Stone ML, Silva P, Davis DK, Elias DA, White LM. Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med*. 2004;32:1114–21. doi:10.1177/0363546503260788.
4. Sanders TL, Pareek A, Hewett TE, Stuart MJ, Dahm DL, Krych AJ. Incidence of First-Time Lateral Patellar Dislocation: A 21-Year Population-Based Study. *Sports Health*. 2018;10:146–51. doi:10.1177/1941738117725055.
5. Parikh SN, Rajdev N, Sun Q. The Growth of Trochlear Dysplasia During Adolescence. *J Pediatr Orthop*. 2018;38:e318-e324. doi:10.1097/BPO.0000000000001168.
6. Schmeling A, Frings J, Akoto R, Frosch KH. Patellaluxation : Ursachen und Therapie. [Patellar dislocation : Causes and treatment]. *Unfallchirurg*. 2020;123:969–83. doi:10.1007/s00113-020-00912-5.
7. Keyes S, Price M, Green DW, Parikh SN. Special Considerations for Pediatric Patellar Instability. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2018. doi:10.12788/ajo.2018.0017.
8. Lippacher S, Reichel H, Nelitz M. Radiological criteria for trochlear dysplasia in children and adolescents. *J Pediatr Orthop B*. 2011;20:341–4. doi:10.1097/BPB.0b013e3283474c8b.
9. Kraus T, Steinwender G. Kindliche Beinachsen und Füße in ihrer physiologischen Entwicklung. *Paediatr. Paedolog. Austria*. 2014;49:8–13. doi:10.1007/s00608-014-0151-5.
10. Salzmann M. Kindliche Beinachsen deformitäten. *Knie journal*. 2021;3:18–24. doi:10.1007/s43205-021-00094-z.
11. Askenberger M, Janarv P-M, Finnbogason T, Arendt EA. Morphology and Anatomic Patellar Instability Risk Factors in First-Time Traumatic Lateral Patellar Dislocations: A Prospective Magnetic Resonance Imaging Study in Skeletally Immature Children. *Am J Sports Med*. 2017;45:50–8. doi:10.1177/0363546516663498.

12. Frosch KH, Akoto R, Schmeling A. Patellaluxation bei Sportlern. [Patella dislocation in athletes]. *Chirurg*. 2014;85:879–87. doi:10.1007/s00104-014-2772-4.
13. Bollier M, Fulkerson JP. The role of trochlear dysplasia in patellofemoral instability. *J Am Acad Orthop Surg*. 2011;19:8–16. doi:10.5435/00124635-201101000-00002.
14. Abelmann-Brockmann J, Adolf S, Meurer A. Systemerkrankungen des Skeletts und der Gelenke im Wachstumsalter. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*. 2023;18:457–78. doi:10.1055/a-1306-4684.
15. Dreyer SD, Zhou G, Baldini A, Winterpacht A, Zabel B, Cole W, et al. Mutations in LMX1B cause abnormal skeletal patterning and renal dysplasia in nail patella syndrome. *Nat Genet*. 1998;19:47–50. doi:10.1038/ng0598-47.
16. Faller † A, Schünke M. *Der Körper des Menschen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2016.
17. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. *Orthopädie und Unfallchirurgie: ... 78 Tabellen*. 6th ed. Stuttgart: Thieme; 2009.
18. Ludolph E, Hierholzer G. Anatomie und Biomechanik des Kapsel-Bandapparates am Kniegelenk. [Anatomy and biomechanic function of capsule and ligaments of the knee joint (author's transl)]. *Unfallchirurgie*. 1980;6:79–85. doi:10.1007/BF02589458.
19. Frosch S, Balcarek P, Walde TA, Schüttrumpf JP, Wachowski MM, Ferleman K-G, et al. Die Therapie der Patellaluxation: eine systematische Literaturanalyse. [The treatment of patellar dislocation: a systematic review]. *Z Orthop Unfall*. 2011;149:630–45. doi:10.1055/s-0030-1250691.
20. Wirth T. Patellaluxationen. [Dislocations of the patella]. *Unfallchirurg*. 2011;114:388–95. doi:10.1007/s00113-011-1968-z.
21. Petri M, Krettek C, Jagodzinski M. Evidenzbasierte Indikationsstellung bei Patellaluxation. [Evidence-based treatment protocol to manage patellar dislocation]. *Unfallchirurg*. 2012;115:387–91. doi:10.1007/s00113-012-2195-y.
22. Nietosvaara Y, Pauku R, Palmu S, Donell ST. Acute patellar dislocation in children and adolescents. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91 Suppl 2 Pt 1:139–45. doi:10.2106/JBJS.H.01289.
23. Frings J, Balcarek P, Tscholl P, Liebensteiner M, Dirisamer F, Koenen P. Conservative Versus Surgical Treatment for Primary Patellar Dislocation. *Dtsch Arztebl Int*. 2020;117:279–86. doi:10.3238/arztebl.2020.0279.

24. Frings J, Akoto R, Müller G, Frosch KH. Plastik des medialen patellofemorale n Ligaments. *Trauma Berufskrankh.* 2017;19:297–303. doi:10.1007/s10039-017-0318-y.
25. Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier C. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2:19–26. doi:10.1007/BF01552649.
26. Nietosvaara Y. The femoral sulcus in children. An ultrasonographic study. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76:807–9.
27. Dejour DH. Editorial Commentary: Trochlear Dysplasia: Can We Change its Natural History or Degenerative Prognosis? *Arthroscopy.* 2020;36:3028–30. doi:10.1016/j.arthro.2020.09.011.
28. BRATTSTROEM H. SHAPE OF THE INTERCONDYLAR GROOVE NORMALLY AND IN RECURRENT DISLOCATION OF PATELLA. A CLINICAL AND X-RAY-ANATOMICAL INVESTIGATION. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1964;68:SUPPL 68:1-148.
29. Schmeling A. Trochleadysplasie und ihre Therapie. *Knie journal.* 2022;4:100–10. doi:10.1007/s43205-022-00152-0.
30. Hefti F. *Kinderorthopädie in der Praxis.* 3rd ed. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg; 2014.
31. Graf R. Hüftreifungsstörungen beim Säugling. Diagnose und Therapie. [Developmental hip disorders in infants. Diagnosis and therapy]. *Orthopade.* 1997;26:1. doi:10.1007/s001320050062.
32. Eberhardt O, Wirth T. Hüftdysplasie – Neues und Bewährtes. [Hip dysplasia-new and proven methods]. *Orthopade.* 2019;48:508–14. doi:10.1007/s00132-019-03736-3.
33. Schilt M. Beobachtungsstudien über das Ultraschall Screening bei Neugeborenen zur Entdeckung der kongenitalen Hüftdysplasie - eine systematische Studie. [Observational studies on ultrasound screening for developmental dysplasia of the hip in newborns - a systematic review?]. *Ultraschall Med.* 2004;25:75. doi:10.1055/s-2003-45243.
34. Seidl T, Thielemann F, Gerhardt A, Gaulrapp H, Zierl A, Buchholz S, et al. S2k-Leitlinie Hüftdysplasie Teil Säugling. [S2k-Guideline Developmental Dysplasia of the Hip in the Neonate]. *Z Orthop Unfall* 2022. doi:10.1055/a-1838-5525.
35. Walmsley R. The development of the patella. *J Anat.* 1940;74:360-368.3.

36. Glard Y, Jouve J-L, Garron E, Adalian P, Tardieu C, Bollini G. Anatomic study of femoral patellar groove in fetus. *J Pediatr Orthop*. 2005;25:305–8.
37. Øye CR, Holen KJ, Foss OA. Mapping of the femoral trochlea in a newborn population: an ultrasonographic study. *Acta Radiol*. 2015;56:234–43. doi:10.1177/0284185114524391.
38. DeVries CA, Hahn P, Bomar JD, Upasani VV, Pennock AT. Prevalence of trochlear dysplasia in infants evaluated for developmental dysplasia of the hip. *J Child Orthop*. 2021;15:298–303. doi:10.1302/1863-2548.15.210018.
39. Koob S, Garbe W, Bornemann R, Ploeger MM, Scheidt S, Gathen M, Placzek R. Ist die Frühgeburtlichkeit ein protektiver Faktor gegen die Hüftdysplasie? Eine retrospektive Analyse an 660 Neugeborenen. [Is Prematurity a Protective Factor Against Developmental Dysplasia of the Hip? A Retrospective Analysis of 660 Newborns]. *Ultraschall Med*. 2022;43:177–80. doi:10.1055/a-1161-8984.
40. GRAY DJ, GARDNER E. Prenatal development of the human knee and superior tibiofibular joints. *Am J Anat*. 1950;86:235–87. doi:10.1002/aja.1000860204.
41. Fu K, Duan G, Liu C, Niu J, Wang F. Changes in femoral trochlear morphology following surgical correction of recurrent patellar dislocation associated with trochlear dysplasia in children. *Bone Joint J*. 2018;100-B:811–21. doi:10.1302/0301-620X.100B6.BJJ-2017-1295.R1.
42. Øye CR, Foss OA, Holen KJ. Breech presentation is a risk factor for dysplasia of the femoral trochlea. *Acta Orthop*. 2016;87:17–21. doi:10.3109/17453674.2015.1089023.
43. Mizobuchi RR, Galbiatti JA, Quirici Neto F, Milani C, Fujiki EN, Oliveira HC de, et al. Ultrasonographic study of the femoropatellar joint and its attachments in normal infants from birth to 24 months of age: part I. *J Pediatr Orthop B*. 2007;16:262–5. doi:10.1097/BPB.0b013e32809256d0.
44. Gourinat A, Mazeaud C, Hubert J, Eschwege P, Koscinski I. Impact of paternal age on assisted reproductive technology outcomes and offspring health: a systematic review. *Andrology*. 2023;11:973–86. doi:10.1111/andr.13385.

## 8. Appendix

### I Abkürzungsverzeichnis

- KG – Kilogramm
- M- Meter
- TW – Trochleawinkel
- SW – Sulkuswinkel
- LTI – Laterale Trochleainklination
- MPFL- mediale patellofemorale Ligament
- PF- Patellofemoral-Gelenks

### II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	seitliche Röntgenaufnahme eines Kniegelenkes zur Beurteilung der knöchernen Strukturen Quelle: Uniklinikum Augsburg.....	4
Abbildung 2:	Das Kniegelenk eines Erwachsenen mit einer Trochleadysplasie Typ D nach Dejour.....	9
Abbildung 3:	MRT Schnittbildgebung eines Erwachsenen Kniegelenkes mit einer Dysplastischen Trochlea. Die Führung der Patella in der femoralen Gleitrinne ist nicht gegeben. Quelle: Uniklinikum Augsburg.....	10
Abbildung 4:	Ein Ultraschallbild eines Kindlichen Hüftgelenkes; die entsprechenden Linien zur Messung des alpha- und beta- Winkels sind eingezeichnet.	12
Abbildung 5:	transversaler Schnitt Kniegelenkes eines Neugeborenen.....	16
Abbildung 6:	transversaler Schnitt durch ein Kniegelenk zur Darstellung der Vermessung des Sulkuswinkel .....	17
Abbildung 7:	transversaler Schnitt durch ein Kniegelenk zur Darstellung des Trochleawinkels .....	17
Abbildung 8:	schematische Darstellung der lateralen Trochleainklination .....	18
Abbildung 9:	sagittaler Querschnitt durch ein Kniegelenk eines Neugeborenen. Die Kniescheibe wird sagittal im Querschnitt geschnitten. Die Patellasehne ist gespannt. ....	19
Abbildung 10:	eingezeichnete Linien zur Messung der einzelnen Winkel, zur besseren Darstellung der Linien Zugehörigkeit wurden diese farbig unterlegt. ....	20
Abbildung 11:	Geschlechterverteilung nach eigener Darstellung .....	22
Abbildung 12:	eigene Darstellung der Verhältnisse von Einlings- und Mehrlingsschwangerschaften .....	23

### III Tabellenverzeichnis

1. Tabelle 1: vereinfachte Darstellung der Graf-Klassifikation:.....	12
2. Tabelle 2: Überblick über die erfasste Variablen der Kinder und Eltern der Studie.....	15
3. Tabelle 3: Durchschnittswerte der erfassten Winkel der Trochlea nach eigener Darstellung.....	23
4. Tabelle 4: Lineare Regression des Trochleawinkels mit der intrauterinen LAge des Kindes und dem Alphawinkel.....	24
5. Tabelle 5: Lineare Regression des Sulkuswinkel mit dem Alphawinkel und der intrauterinen lage des Kindes. Erstellt mit jamovi 2.3.28.....	25
6. Tabelle 6: Lineare Regression der Lateralen Trochleainklination mit dem Alphawinkel und der Intrauterinen Lage des Kindes. erstellt mit Jamovi 2.3.2825	
7. Tabelle 7: Ergebnisse der Klassifikation nach Graf der Hüftgelenke nach eigener Darstellung.....	26
8. Tabelle 8: Übersicht über die Durchschnittsergebnis des erfassten Elternkollektive nach eigener Darstellung.....	27
9. Tabelle 9: mulitple Regression vom LTI mit dem Alter und der Körpergröße des Vaters, erstellt mit Jamovi 2.3.28.....	28
10. Tabelle 10: Multiple regression des Alphawinkels und des Alter des Vaters....	29

## **IV Danksagung**

Ich möchte Herrn Prof. Dr. med. Edgar Mayr für die Überlassung der Arbeit und die stets konstruktive Betreuung, Beratung und Unterstützung danken.

Ich danke Herrn Dr. med. Timon Röttinger für die konstruktive Entwicklung des Projektes, die tatkräftige Unterstützung in der Umsetzung und der statistischen Beratung und Hilfe.

Außerdem danke ich meiner Familie und Freunden für die Begleitung und Unterstützung in den letzten Jahren.

## **VI Veröffentlichungen und Kongressteilnahme**

Papier eingereicht im

Scientific Reports by Springer Nature,

aktuell im Peer Review:

Is there a relation between congenital hip dysplasia and  
patellofemoral joint development?

A prospective ultrasound-based correlation study

Johanna Abelmann-Brockmann, Khaled Salama, Stefanie Tüchert,  
Kurt Vollert, Christian Dannecker, Edgar Mayr, Timon Röttinger

Vortrag am DKOU 2023 in Berlin:

Gibt es einen Zusammenhang zwischen der kongenitalen Hüftdysplasie  
und der patellofemorale Gelenkprägung?

Eine prospektive Studie

Johanna Abelmann-Brockmann, Stefanie Tüchert, Kurt Vollert,  
Edgar Mayr, Timon Röttinger

## VII Fragebogen und Informationsschrift

**Klinik für  
Unfallchirurgie,  
Orthopädie, Plastische  
und Handchirurgie**



### **Studienleitung:**

Prof. Dr. Dr. h. c. Edgar Mayr  
(Direktor der Klinik)

Johanna Abelmann-  
Brockmann

Dr. med. Timon M. Röttinger

Klinik für  
Unfallchirurgie,  
Orthopädie,  
Plastische und  
Handchirurgie  
Universitätsklini-  
kum Augsburg  
Stenglinstr. 2

86156 Augsburg

Informationsschrift zum Datenschutz und zur Untersuchung Ihres Kindes im  
Rahmen der Studie: Gibt es, analog zur Hüftdysplasie, pränatale Faktoren für  
eine kongenitale Trochleadysplasie?

Liebe Eltern,

Das Screening auf Hüftgelenksfehlbildungen im Säuglingsalter gehört seit Jahren in Deutschland zur Standarduntersuchung. Im Rahmen dieser explorativen Untersuchung planen wir eine Studie zur Analyse der Ausprägungen des Kniescheibengelenkes und deren Einflüsse. Die Ausprägungen des Kniescheibengleitlagers und der Patellasehne haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Gelenkstellung und Stabilität des Gelenkes. Über die genauen Einflüsse auf die Prägung dieses Gelenkes, z.B. im Vergleich zur Hüfte, ist noch wenig bekannt. Die Bildgebung wird ausschließlich für diese Studie angefertigt und ausgewertet, dies hat zur Folge, dass die Untersuchung für die Patienten einige Minuten länger (ca. 2-3 Min) dauern wird. Bei der erweiterten Ultraschalluntersuchung entstehen keine Belastungen für ihr Kind. Aufgrund dessen und da diese im Rahmen der standardmäßig durchgeführten hüftsonographischen Screening-Untersuchung stattfindet, bedarf es keiner zusätzlichen Versicherung. Da die Ultraschalluntersuchung im Rahmen der hüftsonographischen Screeninguntersuchung erfolgt, bestehen für diese, die gleichen allgemeinen Risiken, wie z.B. ein Sturz von der Untersuchungsfläche. Im Rahmen der Ultraschalluntersuchung werden jedoch alle Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen beachtet und durchgeführt.

Da bislang wenig über die Einflüsse auf die kongenitale Prägung des Kniescheibenlagers bekannt ist, besteht ein eher geringer individueller Nutzen für den einzelnen Studienteilnehmer. Wir erhoffen uns durch die Erkenntnisse dieser Studie einen Beitrag zum Verständnis der Einflussfaktoren auf die Trochleabeschaffenheit zu erlangen. Da viele Jugendliche und junge Erwachsene unter Patellainstabilität mit zum Teil schmerzhaften und knorpelschädigenden Luxationen der Kniescheibe leiden, sind diese Forschungserkenntnisse ein möglicher erster Schritt in Richtung prophylaktischer frühkindlicher Diagnostik und ggf. im Verlauf auch der Entwicklung geeigneter Therapieansätze, gerade für diese sind Einschätzungen zu Entstehungseinflüssen notwendig.

Nach dem Vorgaben und in Anlehnung an den „Mustertext zum Datenschutz in Informationsschriften bei Anträgen an die Ethikkommission zur Durchführung eines (bio-)medizinischen Forschungsvorhabens (außerhalb von § 40 AMG und § 20 MPG)“ (Stand: Januar 2020), Ethikkommission bei der Medizinischen Fakultät der LMU München; [https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische\\_forschung/datenschutzp\\_2020.pdf](https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische_forschung/datenschutzp_2020.pdf); 21.08.2022 13:13 Uhr

Der folgende Fragebogen und die Ultraschalluntersuchung im Rahmen der Hüftsonografie der U2 Untersuchung sind wichtige Teile dieser Datenerhebung.

„Rechtsgrundlage für die Datenverarbeitung ist Ihre freiwillige Einwilligung (Art. 6 Abs. 1 Buchst. a, Art. 9 Abs. 2 Buchst. a) DSGVO).

Die Daten werden also nur dann erhoben, gespeichert, ausgewertet und weitergegeben, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Auch wenn Sie Ihre Einwilligung zunächst erteilen, können Sie sie ohne Angabe von Gründen widerrufen.

Die Verantwortlichen für die Datenverarbeitung sind:

Prof. Dr. med. Dr. h.c. Edgar Mayr

Direktor der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie, Plastische- und Handchirurgie  
an der Uniklinik Augsburg

Stenglinstraße 2

86156 Augsburg

[Edgar.Mayr@uk-augsburg.de](mailto:Edgar.Mayr@uk-augsburg.de)

Tel. 0821 400 01

Dr. med. Timon M. Röttinger

Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie

[TimonMaximilian.Röttinger@uk-augsburg.de](mailto:TimonMaximilian.Röttinger@uk-augsburg.de)

Tel. 0821 400 165986

Johanna Abelmann-Brockmann

Ärztin in Weiterbildung Orthopädie und Unfallchirurgie

[Johanna.Abelmann-Brockmann@uk-augsburg.de](mailto:Johanna.Abelmann-Brockmann@uk-augsburg.de)

Tel. 0821 400 161469

Bei dieser Studie werden die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz eingehalten. Es werden persönliche Daten und Befunde von Ihnen (den Eltern) und Ihrem Kind verschlüsselt (pseudonymisiert), **d.h. weder Ihr Name noch Ihre Initialen oder das Geburtsdatum erscheinen im**

**Verschlüsselungscode**, verarbeitet und an den Initiator der Studie (Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie, Plastische und Handchirurgie an der Uniklinik Augsburg) zum Zweck der wissenschaftlichen Auswertung weitergeleitet. Zugriff auf die personenbezogenen Daten haben nur die o.g. Studienleiter sowie vom Studienleiter zur Verschwiegenheit verpflichtete Mitglieder des Studienteams.

Pseudonymisieren bedeutet, dass die erhobenen Daten ohne Hinzuziehung einer Liste nicht mehr einer spezifischen betroffenen Person zugeordnet werden können. Die personenbezogenen Daten, wie z. B. der Name und das Geburtsdatum, werden durch einen Nummerncode ersetzt. Im Studienzentrum ist eine Liste hinterlegt, auf der die Namen den Nummern- bzw. Buchstabencodes zugeordnet sind. Diese Liste wird im Studienzentrum gesondert aufbewahrt und unterliegt dort technischen und organisatorischen Maßnahmen, die gewährleisten, dass die von Ihnen erhobenen Nach den Vorgaben und in Anlehnung an den „Mustertext zum Datenschutz in Informationsschriften bei Anträgen an die Ethikkommission zur Durchführung eines (bio-)medizinischen Forschungsvorhabens (außerhalb von § 40 AMG und § 20 MPG)“ (Stand: Januar 2020), Ethikkommission bei der Medizinischen Fakultät der LMU München

[https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische\\_forschung/datenschutzp\\_2020.pdf](https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische_forschung/datenschutzp_2020.pdf); 21.08.2022 13:13 Uhr

Daten Ihnen durch unbefugte Personen nicht zugeordnet werden können.  
Eine Entschlüsselung erfolgt nur in folgenden Situationen:

- Nachbearbeitungen der Daten zum Zwecke der Studienziele durch die o.g. Studienleiter
- Nacherhebungen und korrigierte Messungen über das elektronische Patientenakte
- Nachverfolgung bzw. Aufklärung der Patienten/Sorgeberechtigten über mögliche pathologische Ergebnisse

Sofern der Forscher eine Entschlüsselung aus wissenschaftlichen Gründen vornehmen möchte, wird zuvor eine Zustimmung der Ethikkommission eingeholt. Mit den o.g. Nacherhebungen und Korrekturen sind hiermit Fehlerkorrekturen gemeint, bei z.B. systematischen Messungen oder fehlerhaften Datenerfassungen. Zudem kann eine Datennacherhebung, um eine Datenanalyse möglich zu machen (beispielsweise für eine Indexierung von Messungen) notwendig werden. Die pseudonymisierten Daten werden 10 Jahre nach Beendigung oder Abbruch der Studie an der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie, Plastische und Handchirurgie an der Uniklinik Augsburg aufbewahrt. Sie werden strikt gegen unbefugten Zugriff gesichert.

Sie werden gelöscht, wenn sie nicht mehr benötigt werden. Spätestens nach 10 Jahren werden sie gelöscht.

Die Daten werden zu jeder Zeit (auch im Falle der Veröffentlichung der Studienergebnisse) vertraulich behandelt.

Mit der Datenverarbeitung sind keine Risiken verbunden. Bei jeder Erhebung, Speicherung, Nutzung und Übermittlung von Daten bestehen Vertraulichkeitsrisiken (z.B. die Möglichkeit, die betreffende Person zu identifizieren). Diese Risiken lassen sich nicht völlig ausschließen und steigen, je mehr Daten miteinander verknüpft werden können. **Der Initiator der Studie versichert Ihnen, alles nach dem Stand der Technik Mögliche zum Schutz Ihrer Privatsphäre zu tun.**

Medizinische Risiken sind mit der Datenverarbeitung nicht verbunden.

Sie können Ihre jeweilige Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen schriftlich oder mündlich widerrufen, ohne dass Ihnen daraus ein Nachteil entsteht. Wenn Sie Ihre Einwilligung widerrufen, werden keine weiteren Daten mehr erhoben. Die bis zum Widerruf erfolgte Datenverarbeitung bleibt jedoch rechtmäßig. Sollten Sie im Verlauf der Studie Ihre Einwilligung widerrufen, werden Sie gefragt, ob Sie mit der anonymisierten Weiterverwendung Ihrer Daten und ggf. Proben einverstanden sind oder ob eine Löschung der Daten bzw. Vernichtung der Proben erfolgen soll.

Sie haben das Recht, vom Verantwortlichen Auskunft über die von Ihnen gespeicherten personenbezogenen Daten (einschließlich einer kostenlosen Überlassung einer Kopie der Daten) zu verlangen. Ebenfalls können Sie die Berichtigung unzutreffender Daten sowie gegebenenfalls eine Übertragung der von Ihnen zur Verfügung gestellten Daten und die Einschränkung ihrer Verarbeitung

Nach dem Vorgaben und in Anlehnung an den „Mustertext zum Datenschutz in Informationsschriften bei Anträgen an die Ethikkommission zur Durchführung eines (bio-)medizinischen Forschungsvorhabens (außerhalb von § 40 AMG und § 20 MPG)“ (Stand: Januar 2020), Ethikkommission bei der Medizinischen Fakultät der LMU München

[https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische\\_forschung/datenschutzp\\_2020.pdf](https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische_forschung/datenschutzp_2020.pdf)

; 21.08.2022 13:13 Uhr

verlangen. Bitte wenden Sie sich im Regelfall an das o.g. Studienzentrum, denn allein das Studienzentrum kann aufgrund des Pseudonymisierungsprozesses vollumfänglich auf Ihre Daten zugreifen bzw. entsprechende Auskünfte geben.

Name und Kontaktdaten der Datenschutzbeauftragten am Uniklinikum Augsburg:

Frau Elisabeth März, LL.M. (Juristin)

Datenschutz- und IT-Recht Datenschutzbeauftragte

Telefon: 0821 400-01 (über Telefonzentrale) E-Mail: [datenschutz@uk-augsburg.de](mailto:datenschutz@uk-augsburg.de)

Es besteht ein Beschwerderecht bei der Datenschutz-Aufsichtsbehörde:

Bayerischer Landesbeauftragter für den  
Datenschutz (BayLfD) Postfach 22 12 19

80502 München

Wagmüllerstr. 18

80538 München

Tel.: 089 212672-0 Fax: 089 212672-50

Nach dem Vorgaben und in Anlehnung an den „Mustertext zum Datenschutz in Informationsschriften bei Anträgen an die Ethikkommission zur Durchführung eines (bio-)medizinischen Forschungsvorhabens (außerhalb von § 40 AMG und § 20 MPG)“ (Stand: Januar 2020), Ethikkommission bei der Medizinischen Fakultät der LMU München

[https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische\\_forschung/datenschutzp\\_2020.pdf](https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische_forschung/datenschutzp_2020.pdf)

; 21.08.2022 13:13 Uhr

**Klinik für**

**Unfallchirurgie**

**, Orthopädie,**

**Plastische und**

**Handchirurgie**



Ich habe die o.g. Informationsschrift verstanden und erkläre mich hiermit bereit, dass obenstehende Daten von mir, meines Partners und meines Kindes pseudonymisiert erhoben und für die oben genannte Studie ausgewertet und verwendet werden dürfen. Ich habe die Informationsschrift verstanden.

Ebenso bin ich damit einverstanden, dass der Trochleawinkel und die Patellasehnenlänge meines Kindes an beiden Kniegelenken bestimmt wird, was zu einer zeitlichen Verlängerung (ca. 2-3 Minuten) der Ultraschalluntersuchung führen kann. Da die Ultraschalluntersuchung im Rahmen der hüftsonographischen Screeninguntersuchung erfolgt, bestehen für diese die gleichen allgemeinen Risiken, wie z.B. ein Sturz von der Untersuchungsfläche. Im Rahmen der Ultraschalluntersuchung werden jedoch wie gewohnt, alle Schutz- und Sicherungsmaßnahmen beachtet und durchgeführt.

Ich wurde über das Vorgehen bei Zufallsbefunden aufgeklärt und bin damit einverstanden.

Ich bin einverstanden, dass die erhobenen Daten für weitere wissenschaftliche Fragestellungen im Rahmen dieser Studie genutzt werden können.

Die Nutzung der Daten ist auf 10 Jahre begrenzt.

Augsburg, den \_\_\_\_\_

---

Ort, Datum  
Erziehungsberechtigten

---

Unterschrift beider

---

Ort, Datum  
Arztes

---

Unterschrift des aufklärenden

Studienteam:

Prof. Dr. Dr. h.c. E. Mayr (Chefarzt, Direktor der Klinik Unfallchirurgie,  
Orthopädie, Plastische und Handchirurgie)

Dr. med. Timon Röttinger (Facharzt für  
Orthopädie und Unfallchirurgie) Johanna  
Abelmann-Brockmann (Assistenzärztin  
der Klinik)

Nach dem Vorgaben und in Anlehnung an den „Mustertext zum Datenschutz in  
Informationsschriften bei Anträgen an die Ethikkommission zur Durchführung eines (bio-  
)medizinischen Forschungsvorhabens (außerhalb von § 40 AMG und § 20 MPG)“ (Stand:  
Januar 2020), Ethikkommission bei der Medizinischen Fakultät der LMU München

[https://www.med.uni-  
muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische\\_forschung/datenschutzp\\_2020.pdf](https://www.med.uni-muenchen.de/einrichtungen/ethik/biomedizinische_forschung/datenschutzp_2020.pdf)

; 21.08.2022 13:13 Uhr

**Klinik für**

**Unfallchirurgie,  
Orthopädie,  
Plastische und  
Handchirurgie**



**Fragebogen  
an die Eltern**

Pseudonym:

.....

Fragen an die Mutter:

Geburtsdatum:

Gewicht vor der Schwangerschaft

(Kg):

Größe:

Diabetes (Zucker-) Erkrankung

ja o

nein o

bekannt:

Bluthochdruck bekannt:

ja o

nein o

Hüftdysplasie in der Kindheit

bekannt:

Keine Hüftdysplasie

unbekannt

wurde breit gewickelt

Spreizhose

Tübinger Schiene

Gipstherapie

Operation

Kniescheibenluxation

ja o

nein o

stattgefunden:

Wenn ja:

welche Seite:

rechts

links o

Bereits operiert

ja o

nein o

Fragen an den Vater:

Geburtsdatum:

Größe:

Diabetes (Zucker-) Erkrankung

nein o

bekannt:

a o

Bluthochdruck bekannt:

a o

nein o

Hüftdysplasie in der Kindheit  
bekannt:

- Keine Hüftdysplasie
- unbekannt
- wurde breit gewickelt
- Spreizhose
- Tübinger Schiene
- Gipstherapie
- Operation

