

Orthopäde

<https://doi.org/10.1007/s00132-019-03847-x>

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

Till D. Lerch¹ · Florian Schmaranzer^{1,2} · Markus S. Hanke¹ · Christiane Leibold¹ · Simon D. Steppacher¹ · Klaus A. Siebenrock¹ · Moritz Tannast^{1,3}¹ Universitätsklinik für orthopädische Chirurgie und Traumatologie, Inselspital, Universität Bern, Bern, Schweiz² Universitätsinstitut für Diagnostische, Interventionelle und Pädiatrische Radiologie, Inselspital, Universität Bern, Bern, Schweiz³ Klinik für Orthopädische Chirurgie und Traumatologie, HFR Freiburg – Kantonsspital, Universität Freiburg, Freiburg, Schweiz

Femorale Torsionsfehler bei Patienten mit femoroazetabulärem Impingement

Die dynamische 3D Impingementsimulation kann bei der Planung der chirurgischen Hüftluxation und der Hüftarthroskopie behilflich sein

Video online

Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s00132-019-03847-x>) enthält zwei Videos. Video 1 zeigt die 3D-Impingementsimulation vom anterioren Impingement bei tiefer femoraler Antetorsion. Video 2 zeigt die 3D-Impingementsimulation vom posterioren Impingement bei erhöhter femoraler Antetorsion. Beitrag und Videos stehen Ihnen im elektronischen Volltextarchiv auf SpringerMedizin.de unter <http://www.springermedizin.de/der-orthopaede> zur Verfügung. Sie finden die Videos am Beitragsende als „Supplementary Material“.

Zu den femoralen Torsionsfehlern gehören die femorale Retrotorsion und die erhöhte femorale Antetorsion. Sie sind mögliche Ursachen für Hüftschmerzen und Hüftarthrose. Dieser Artikel soll einen Überblick über die verschiedenen beschriebenen anatomischen Definitionen der femoralen Torsion, deren Messmethoden und Normwerte, Kombinationen, die klinische Präsentation von Patienten mit femoralen Torsionsfehlern und die chirurgische Therapie geben.

Einleitung

Zur Bestimmung von Torsionsdeformitäten der unteren Extremität ist eine exakte Diagnostik erforderlich [4]. Sowohl Femur als auch Tibia sind in sich verdreht und weisen individuelle Unterschiede der Torsion und verschiedene Kombinationsmöglichkeiten auf [4, 19]. Im Vordergrund dieser Arbeit stehen die femoralen Torsionsfehler bei jungen Patienten mit femoroazetabulärem Impingement (FAI).

Vor Jahren wurden bereits femorale Torsionsfehler bei einer Vielzahl von Hüfterkrankungen beschrieben [37], wie bei der Hüftdysplasie [17, 18], der Epiphyseolysis capitis femoris [22, 40], der Zerebralparese [2] oder der posttraumatische femorale Torsionsfehler. In der Literatur konnte lange vor der Beschreibung des FAI ein Zusammenhang zwischen abnormaler femoraler Torsion und Hüftschmerzen oder Koxarthrose nachgewiesen werden [37]. Es wurden bereits femorale Korrekturosteotomien durchgeführt [36, 37], obwohl eine eigentliche Erklärung für die Entstehung der Gelenksdegeneration fehlte. Vor mehr als 15 Jahren wurde das an-

teriore intraartikuläre Hüftimpingement [9, 34] mit Cam- und Pincer-Typ-FAI bei normaler femoraler Torsion [14] beschrieben. Im weiteren Verlauf erfolgte die Beschreibung des posterioren extraartikulären Impingements [30], das vor allem bei erhöhter femoraler Antetorsion (> 35°) auftreten kann. Kürzlich wurde ein anteriores intra- und extraartikuläres Subspine-Impingement bei Patienten mit reduzierter femoraler Antetorsion (< 5°) beschrieben [20].

Messmethoden

Die femorale Antetorsion beschreibt die Rotation des proximalen Femurs (Schenkelhalsachse) um die sagittale Achse im Vergleich zu den femoralen Kondylen [25]. Zur Begriffsklärung und zum besseren Verständnis empfiehlt es sich, beim

Abkürzungen

FABER	Flexion, Abduktion und External Rotation (Außenrotation)
FADIR	Flexion, Adduktion und Innenrotation
FAI	Femoroazetabuläres Impingement

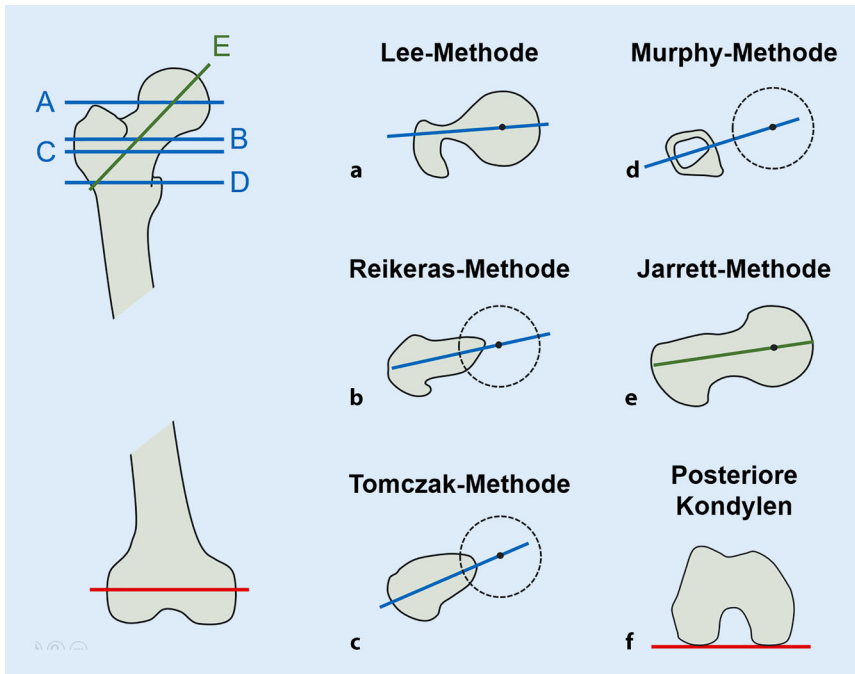


Abb. 1 ▲ Die dargestellten Definitionen zur Berechnung der femoralen Antetorsion mit verschiedenen Referenzlinien für die Schenkelhalsachse in der CT wurden in der Literatur beschrieben. Vier Methoden (a, b, c und d) verwenden axiale Schichten und die Jarrett-Methode (e) verwendet axial oblique Schichten. Alle Messmethoden verwenden die posterioren distalen Femurkondylen (f) als Referenz. (Mit freundl. Genehmigung aus [31])

Azetabulum von „Version“ und beim Femur von „Torsion“ zu sprechen [37]. Je nach Definition der anatomischen Referenzpunkte im Bereich des Schenkelhalses wurden unterschiedliche Definitionen in der Literatur beschrieben [29]. Die Beschreibung der genauen Definitionen ist wichtig, weil sich die Messwerte je nach Messmethode stark unterscheiden können [29]. Die Schnittbildgebung mittels CT oder MRT mit oder ohne 3D-Rekonstruktionen hat sich als Goldstandard etabliert, deshalb beziehen sich alle Definitionen auf Referenzpunkte im axialen Schnittbild.

In der Literatur wurden folgende Definitionen zur Berechnung der femoralen Antetorsion mit verschiedenen Referenzlinien für die Schenkelhalsachse im CT beschrieben (■ **Abb. 1** und ■ **Tab. 1**).

Aufgrund der anatomischen individuellen Unterschiede des proximalen Femurs können die verschiedenen Methoden substanziiell voneinander abweichen. Zusammenfassend kann gesagt werden, der Messwert fällt umso grösser aus, je kaudaler der Referenzpunkt für die De-

finition der Schenkelhalsachse gewählt wird [29].

Klinisch kann die femorale Antetorsion mithilfe der Untersuchung in Bauchlage und mit Palpation des Trochanter major bestimmt werden [4, 23, 24]. In Bauchlage mit 90° Flexion im Kniegelenk und Extension im Hüftgelenk sollte die Innen- und Außenrotation bestimmt werden. Falls ein unausgeglichenes Verhältnis von Innen- und Außenrotation vorliegt, kann ein femoraler Torsionsfehler vorliegen.

Diagnostik mittels Röntgen, MRT, CT, 3D-Impingementsimulation

Es wurden verschiedene Modalitäten zur Bestimmung der femoralen Antetorsion beschrieben. Bisher war die Computertomographie der Goldstandard für die exakte Bestimmung der Torsion. In den letzten Jahren hat sich die MRT (Magnetresonanztomographie) als Alternative ohne Strahlenbelastung etabliert. Dies ist insbesondere für junge Patienten im ge-

bärfähigen Alter wichtig, die von einem femoralen Torsionsfehler betroffen sind.

Röntgenbild

Neben dem Becken-a.-p.-Röntgenbild wird meist eine Dunn-Rippstein-Aufnahme durchgeführt. Dies ist eine standardisierte konventionelle Röntgentechnik zur Bestimmung der femoralen Torsion [27]. Sie wird mit dem Patienten in Rückenlage mit 90° Flexion in Knie und Hüfte durchgeführt. Häufig wird ein Halteapparat verwendet, der die Beine in etwa 20° abduziert hält bei gleichbleibender Rotation. Damit kann die femorale Torsion abgeschätzt werden, jedoch wurde die Genauigkeit dieser Methode infrage gestellt [15].

Computertomographie

Die CT ist die Modalität der Wahl für die Bestimmung der femoralen Torsion – unabhängig davon, welche der oben beschriebenen anatomischen Messmethoden verwendet werden. Die Vorteile liegen in der kurzen Akquisitionszeit und der Möglichkeit der Rekonstruktion von 3D-Modellen (3D-CT).

Die dreidimensionale Rekonstruktion kann für die virtuelle präoperative 3D-Impingementsimulation verwendet werden, mit der Möglichkeit der virtuellen Planung einer azetabulären oder femoralen Korrekturosteotomie. Für die Bestimmung der anatomischen Landmarken der meisten der o.g. Definitionen sind entweder mehrere axiale Schnittbilder oder multiplanare Rekonstruktionen mit einem Summationsbild [37] notwendig. Der größte Nachteil ist die Strahlenbelastung, besonders bei jungen Patienten.

Magnetresonanztomographie

Die MRT-Untersuchung der Hüfte hat in den letzten Jahren einen hohen Stellenwert erhalten [5, 19, 28]. Damit ist eine genaue Diagnostik von Labrumläsionen und Knorpelschäden möglich. Die fehlende Strahlenbelastung ist der entscheidende Vorteil bei der Wahl der Bildgebung bei den meist jungen Patienten mit femoralen Torsionsfehlern [1, 35].

Orthopäde <https://doi.org/10.1007/s00132-019-03847-x>
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

T. D. Lerch · F. Schmaranzer · M. S. Hanke · C. Leibold · S. D. Steppacher · K. A. Siebenrock · M. Tannast

Femorale Torsionsfehler bei Patienten mit femoroazetabulärem Impingement. Die dynamische 3D Impingementsimulation kann bei der Planung der chirurgischen Hüftluxation und der Hüftarthroskopie behilflich sein

Zusammenfassung

Hintergrund. Femorale Torsionsfehler beinhalten die femorale Retrotorsion und die erhöhte femorale Antetorsion und sind mögliche Ursachen für Hüftschmerzen und Hüftarthrose. Femorale Torsionsfehler bei jungen Patienten mit femoroazetabulärem Impingement (FAI) gelten als weitere Möglichkeit für ein Hüftimpingement neben dem Cam- und Pincer-FAI.

Ziel der Arbeit. Dieser Artikel soll einen Überblick über die verschiedenen Messmethoden und Normwerte der femoralen Torsion geben. Die klinische Präsentation von Patienten mit femoralen Torsionsfehlern, mögliche Kombinationen und die chirurgische Therapie wird beschrieben.

Methoden. Zur Messung der femoralen Torsion ist die Schnittbildgebung mittels CT oder MRT der Goldstandard. Dabei sollten die verschiedenen Definitionen

berücksichtigt werden, weil diese zu sehr unterschiedlichen Werten und Fehldiagnosen führen können, vor allem bei Patienten mit hoher femoraler Antetorsion. Eine dynamische 3D-Impingementsimulation, basierend auf 3D-CT, kann bei der Differenzierung zwischen intra- und extraartikulärem FAI helfen.

Ergebnisse und Diskussion. Eine femorale Retrotorsion ($< 5^\circ$) kann sowohl zu einem anterioren intra- als auch extraartikulären („subspine“) FAI zwischen der Spina iliaca anterior inferior und dem proximalen Femur führen. Die erhöhte femorale Antetorsion ($> 35^\circ$) kann zu einem posterioren intra- und extraartikulären (ischiofemoralem) Impingement zwischen dem Trochanter minor/major und dem Tuber ischiadicum führen. Klinisch kann eine femorale Retrotorsion durch die fehlende Innenrotation und einen positiven anterioren Impingementtest erkannt werden.

Bei der erhöhten femoralen Antetorsion ist die Innenrotation erhöht, typischerweise in Bauchlage und der Faber-Test und der posteriore Impingementtest sind positiv. Bei der operativen Therapie sind sowohl intra- als auch extraartikuläre Ursachen des FAI und ein zusätzliches Cam- oder Pincer-FAI zu berücksichtigen. Neben der Hüftarthroskopie und der chirurgischen Hüftluxation sollten femorale Rotations- und Derotationsosteotomien bei der Therapieplanung von Patienten mit femoralen Torsionsfehlern mit einbezogen werden.

Schlüsselwörter

Femorale Antetorsion · Hüftgelenk · Bildgebung, dreidimensionale · Arthrose · Referenzwerte

Torsional deformities of the femur in patients with femoroacetabular impingement. Dynamic 3D impingement simulation can be helpful for the planning of surgical hip dislocation and hip arthroscopy

Abstract

Background. Torsional deformities of the femur include femoral retrotorsion and increased femoral torsion, which are possible causes for hip pain and osteoarthritis. For patients with femoroacetabular impingement (FAI), torsional deformities of the femur represent an additional cause of FAI in addition to cam and pincer-type FAI.

Objectives. The aim of this article is to provide an overview of measurement techniques and normal values of femoral torsion. The clinical presentation, possible combinations and surgical therapy of patients with torsional deformities of the femur will be discussed.

Methods. For measurement of femoral torsion, CT or MRI represent the method of choice. The various definitions should be

taken into account, because they can lead to differing values and misdiagnosis. This is the case especially for patients with high femoral torsion. Dynamic 3D impingement simulation using 3D-CT can help to differentiate between intra and extra-articular FAI.

Results and discussion. Femoral retrotorsion ($< 5^\circ$) can lead to anterior intra- and extra-articular (subspine) FAI, between the anterior iliac inferior spine (AIIIS) and the proximal femur. Increased femoral torsion ($> 35^\circ$) can lead to posterior intra- and extra-articular ischiofemoral FAI, between the lesser/greater trochanter and the ischial tuberosity. During clinical examination, a patient with femoral retrotorsion exhibits loss of internal rotation and a positive anterior impingement test. Hips

with increased femoral torsion show high internal rotation if examined in prone position and have a positive FABER and posterior impingement test.

During surgical therapy for patients with torsional deformities, intra and extra-articular causes for FAI in addition to cam and pincer-deformities should be considered. In addition to hip arthroscopy and surgical hip dislocation, also femoral rotational or derotational osteotomies should be evaluated during surgical planning of these patients.

Keywords

Femoral torsion · Hip joint · Imaging, three-dimensional · Osteoarthritis · Reference values

Die zusätzliche Bildgebung der distalen Femurkondylen wurde in unserer Klinik standardmäßig in das präoperative MRT-Protokoll integriert [19]. Es werden dieselben Landmarken wie bei der CT für die Messung der Torsion verwendet [1, 19]. Moderne 3D-Sequenzen

erlauben zudem – ähnlich wie bei der CT – eine multiplanare dreidimensionale Rekonstruktion [5, 28].

Die Autoren empfehlen bei der routinemäßigen Hüft-MRT die distalen Femurkondylen ebenfalls abzubilden, um mögliche femorale Torsionsfehler nicht

zu verpassen. Dabei ist zu beachten, dass die axialen Schnittbilder des proximalen und des distalen Femurs unmittelbar nacheinander angefertigt werden. Dies ist wichtig, wegen der längeren Akquisitionszeit im MRT. Damit kann eine mögliche Verfälschung der Messung durch

Tab. 1 Messmethoden

Autor und Jahr	Messmethode	Beschreibung
Lee et al. 2006 [16]	CT, axiale Schichten	Lee-Methode: Linie zur Verbindung vom Femurkopffzentrum und der Mitte des Schenkelhalses auf dem ersten axialen Schnitt, auf dem eine Verbindung zwischen Schenkelhals und Trochanter major sichtbar ist
Reikerås et al. 1983 [26]	CT, axiale Schichten	Reikerås-Methode: Linie zur Verbindung von Femurkopffzentrum und Mitte des Schenkelhalses auf einem axialen Schnitt, auf welchem der anteriore und der posteriore Kortex des Schenkelhalses parallel sind
Tomczak et al. 1997 [35]	MRT, axiale Schichten	Tomczak-Methode: Linie zur Verbindung von Femurkopffzentrum und Zentrum des Trochanter major an der Basis des Schenkelhalses
Murphy et al. 1987 [25]	CT, axiale Schichten	Murphy-Methode: Linie zur Verbindung von Femurkopffzentrum und Mitte des Zentroids auf einem axialen Schnitt am Oberrand des Trochanter minor
Jarret et al. 2010 [10]	CT, axial oblique Schichten	Jarret-Methode: Linie zur Verbindung von Femurkopffzentrum und Mitte des Schenkelhalses auf einer schrägen Ebene in der Schenkelhalsachse

Tab. 2 Normwerte für die femorale Torsion. (Mit freundlicher Genehmigung aus [31])

Autor (Jahr)	Messmethode	Anzahl Patienten	Normbereich Torsion (°)
Kingsley et al. (1948) [12]	Anatomisch	630	8 (–20–38)
Strecker et al. (1997) [32]	CT (nach Waidelich et al. 1992)	511	24 ± 17 (–1–48)
Tönnis et al. (1999) [37]	CT	181	10–25
Toogood et al. (2009) [38]	Anatomisch	375	10 ± 9 (–15–36)
Decker (2013) [6]	CT (nach Jend 1986)	211	18 ± 10
Koerner (2013) [13]	CT (nach Dugdale et al. 1992)	328	9 ± 10; keine Unterschiede zwischen Ethnizität

Der Normbereich ist angegeben mit Mittelwert ± Standardabweichung und Bandbreite

Tab. 3 Mögliche Kombinationsmöglichkeiten von femoraler Antetorsion und azetabulärer Anteversion

	Erhöhte femorale Antetorsion	Normale femorale Antetorsion (10–25°)	Femorale Retrotorsion
Erhöhte azetabuläre Anteversion	Posteriores femoroazetabuläres Impingement	–	Mögliche Kompensation
Normale azetabuläre Anteversion	–	Normal	–
Azetabuläre Retroversion	Mögliche Kompensation	–	Anteriore femoroazetabuläres Impingement

eine ungewollte Bewegung des Beins des Patienten verhindert werden.

Dynamische 3D-Impingement-simulation

Die dreidimensionale Rekonstruktion eines Becken-CT kann für die virtuelle präoperative patientenspezifische dynamische

Bewegungsanalyse zur 3D-Impingementsimulation verwendet werden. Diese validierte Methode [14, 33] erlaubt es, die impingementfreie Flexion, Extension, Innen- und Außenrotation sowie Ab- und Adduktion zu berechnen [14]. Dazu können die Impingementzonen exakt dargestellt und quantifiziert werden (Abb. 2 und 3, Video 1 und 2).

Femorale Retrotorsion

Patienten mit einer femoralen Retrotorsion (< 5°) können ein extraartikuläres anteriores („subspine“) Impingement zusätzlich zum intraartikulären FAI aufweisen [20]. Dies wurde bei Patienten mit FAI und einer femoralen Torsion von < 5° beschrieben beim anterioren Impingementtest in 90° Flexion und 30° Innenrotation [20] (Video 1). Wenn bei diesem Test noch zusätzlich 20° Adduktion getestet wird, kann ein extraartikuläres anteriores („subspine“) Impingement zwischen der Spina iliaca anterior inferior und dem proximalen Femur ausgelöst werden (Abb. 2). Dies entspricht dem anterioren Impingement-Test oder dem FADIR (Flexion, Adduktion und Innenrotation)-Test in der klinischen Untersuchung.

Erhöhte femorale Antetorsion

Patienten mit einer erhöhten femoralen Antetorsion (> 35°) können ein intra- und extraartikuläres posteriores (ischiofemorales, Video 2) Impingement aufweisen [30]. Eine zusätzlich vorliegende Valgusmorphologie oder eine erhöhte azetabuläre Anteversion kann diesen Effekt weiter verstärken ([30]; Abb. 3). Das extraartikuläre Impingement kann sowohl vom Trochanter minor als auch vom Trochanter major am Tuber ischiadicum ausgelöst werden (Video 2).

Normwerte und Prävalenz von femoralen Torsionsfehlern

Normwerte

Die Normwerte für die femorale Torsion sind altersabhängig und verändern sich bis zum Erwachsenenalter. Bei der Geburt wurde eine Torsion von etwa 35° beschrieben [37], welche sich normalisiert bis zum Abschluss des knöchernen Wachstums auf ca. 15° [37]. Es wurde beschrieben, dass sich eine erhöhte femorale Antetorsion im Kindesalter in den meisten Fällen normalisiert. Für Erwachsene sind die Normwerte abhängig von der gewählten Messmethode (Tab. 1).

Tönnis und Heinecke haben für Erwachsene einen Normbereich [37] von 10–25° für die femorale Antetorsion mit CT-basierten Messungen nach einer äh-

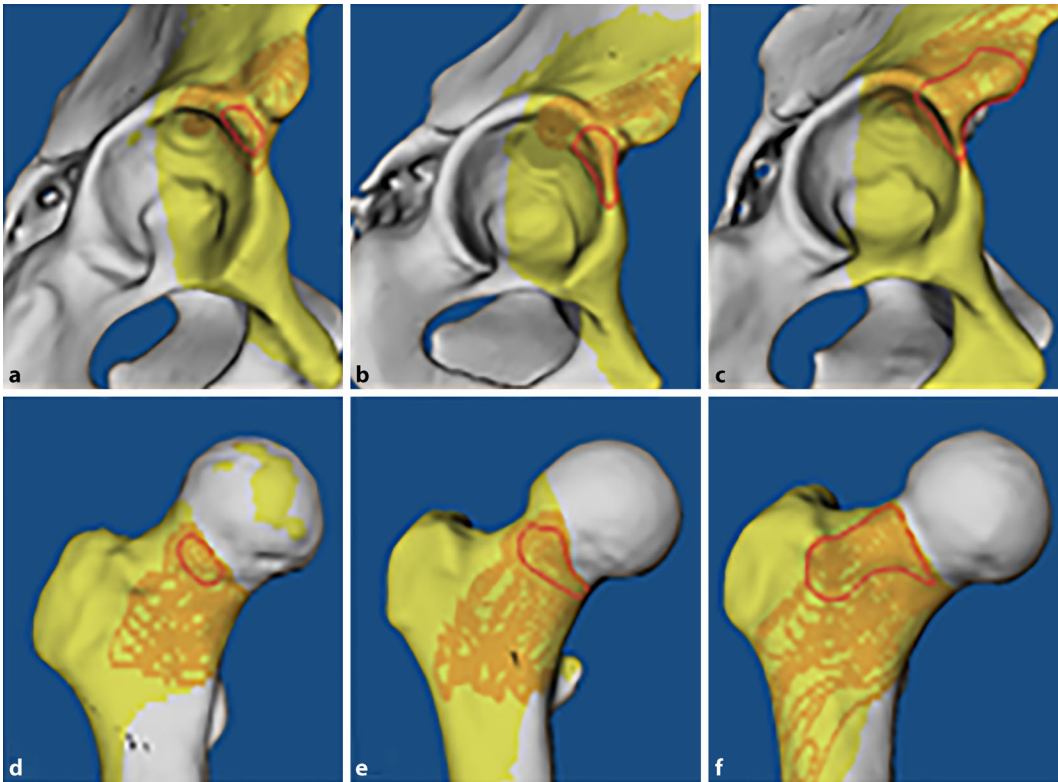


Abb. 2 ◀ Die dynamische, patientenspezifische und computerbasierte 3D-Impingementsimulation erlaubt die Detektion eines intra- und extraartikulären femoroazetabulären Impingements und die Darstellung der Impingementzonen. Der rot markierte Bereich ist die Impingementzone beim anterioren Impingement-Test. Dies ist für die Planung der operativen Korrektur hilfreich. Eine reduzierte femorale Torsion [20] kann zu einem anterioren intra- oder extraartikulären Impingementkonflikt zwischen Schenkelhals und Azetabulumrand oder Spina iliaca inferior anterior (c,f) in 90° Flexion und 30° Innenrotation führen. a,d Normal; b,e Cam/Pincer; c,f femorale Retrotorsion. (Mit freundl. Genehmigung aus [20])

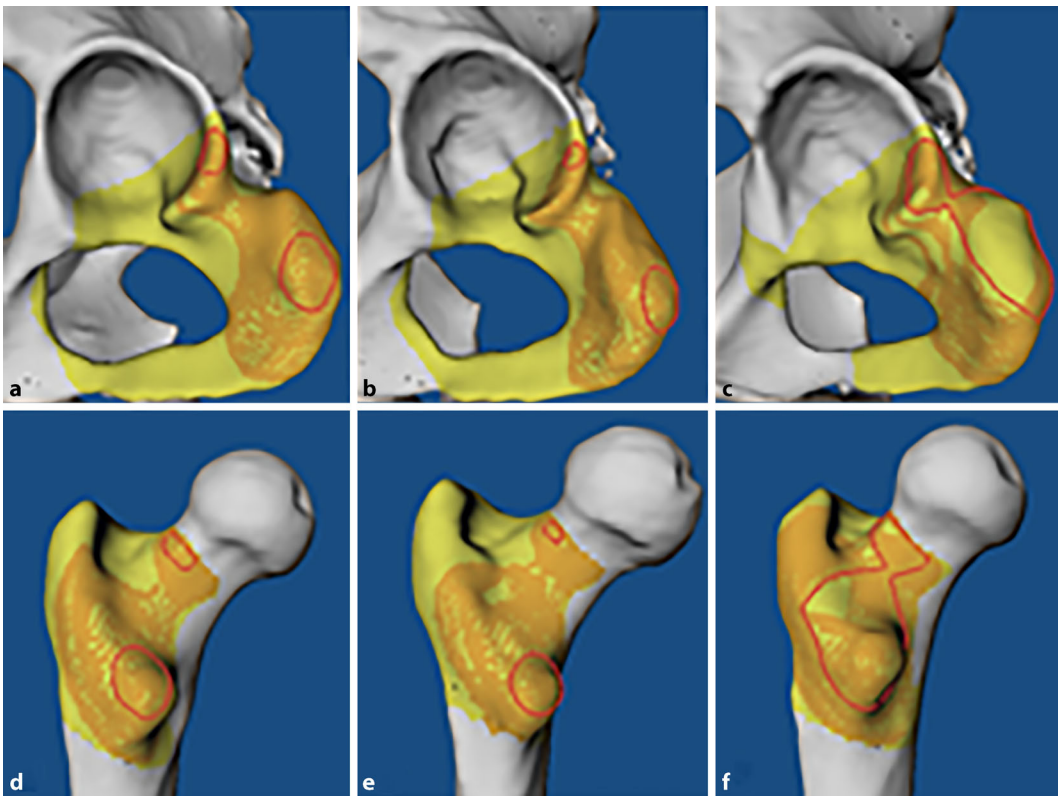


Abb. 3 ◀ Bei der erhöhten femoralen Antetorsion kann es zu einem posterioren Impingementkonflikt kommen [30] (dargestellt als rot markierter Bereich in der 3D-Impingementsimulation). Meistens tritt das Impingement kombiniert intra- und extraartikulär zwischen dem Ischium und dem Trochanter minor oder dem Trochanter major auf. Das posteriore ischiofemorale Impingement tritt typischerweise beim posterioren Impingement-Test in 20° Extension und 20° Außenrotation auf: a,d Erhöhte femorale Torsion; b,e erhöhte femorale Torsion und erhöhte azetabuläre Anteversion; c,f erhöhte femorale Torsion, erhöhte azetabuläre Anteversion und Valgus

Tab. 4 Mögliche Kombinationsmöglichkeiten von femoraler Antetorsion und tibialer Torsion

	Erhöhte femorale Antetorsion	Normale femorale Antetorsion (10–25°)	Femorale Retrotorsion
Erhöhte tibiale Torsion	Mögliche Kompensation	–	Auswärtsgang („Out-Toeing“)
Normale tibiale Torsion	–	Normal	–
Reduzierte tibiale Torsion	Einwärtsgang („In-Toeing“)	–	Mögliche Kompensation

Tab. 5 Übersicht über die wichtigsten klinischen Befunde bei abnormaler Femurtorsion im Vergleich zum klassischen Cam-/Pincer-Impingement. (Mit freundlicher Genehmigung aus [31])

Parameter	Cam-/Pincer femoroazetabuläres Impingement	Femorale Retrotorsion	Erhöhte femorale Antetorsion
Geschlechterverteilung	Cam: mehrheitlich Männer; Pincer: mehrheitlich Frauen	Mehrheitlich Männer	Mehrheitlich Frauen
Schmerzlagerung	Inguinal	Inguinal	Gluteal und inguinal (indirekt)
Symptome	Bei tiefer Flexion mit Innenrotation, Sitzen, Sport mit Flexion/Innenrotation	Bei tiefer Flexion mit Innenrotation, Sitzen, Sport mit Flexion/Innenrotation	Bei Treppenlaufen, Sport mit Hüftrotation in Extension, Geschlechtsverkehr
Gangbild	Normal	Auswärtsgang („Out-Toeing“)	Einwärtsgang („In-Toeing“)
Gangbild Spezifität [21]	–	96 % Auswärtsgang („Out-Toeing“) [21]	99 % Einwärtsgang („In-Toeing“) [21]
Innenrotation in Flexion	Reduziert	Reduziert	Erhöht
Außenrotation in Flexion	Normal	Erhöht	Reduziert
Innenrotation in Bauchlage (Extension)	Normal	Reduziert	Erhöht
Außenrotation in Bauchlage (Extension)	Normal	Erhöht	Reduziert
Vorderer Impingementstest	Positiv	Positiv	(Falsch) positiv
Hinterer Impingementstest	Negativ	Negativ	Positiv
FABER-Test	Negativ	Negativ	Positiv
Intraartikuläre Injektion	Viel Effekt	Wenig Effekt	Wenig Effekt
Lokalisation des Impingements	Anterior intraartikulär	Anterior Intra- und/oder extraartikulär („subspine“) [20]	Posterior Intra- und/oder Extraartikulär (ischiofemoral) [30]

FABER Flexion, Abduktion und External Rotation (Außenrotation)

lichen Methode wie Reikeras beschrieben (Tab. 2). Andere Normwerte wurden in der orthopädischen Literatur (Tab. 2) beschrieben, welche von 8–24° reichen, aber dabei wurden andere Messmethoden verwendet.

Prävalenz von femoralen Torsionsfehlern

Die Prävalenz von femoralen Torsionsfehlern bei symptomatischen Patienten mit Hüftschmerzen wegen einem Hüft-

impingement oder einer Hüftdysplasie wurde von verschiedenen Autoren [7, 8, 19] untersucht.

Femorale Retrotorsion

In 13–20% [7, 8] konnte eine reduzierte femorale Torsion (Retrotorsion), definiert als < 5°, gefunden werden. In einer Prävalenzstudie mit mehr als 500 Patienten [19] wurde eine reduzierte femorale Torsion (Retrotorsion) bei 5% gefunden (definiert als < 0°, gemessen mit der Murphy-Methode [25]).

Erhöhte femorale Antetorsion

Frühere Studien beschrieben eine Prävalenz einer erhöhten femoralen Torsion zwischen 16 und 22% [7, 37] bei erwachsenen Patienten mit Hüftschmerzen (definiert als > 25°). Bei einer retrospektiven Analyse von mehr als 500 Patienten [19] unserer Klinik wurde eine erhöhte femorale Antetorsion bei 12% festgestellt (definiert als > 35°, gemessen mit der Murphy-Methode [25]). Interessant war, dass eine hohe Prävalenz einer erhöhten femoralen Antetorsion vor allem bei Patienten ohne Cam- oder Pincer-Deformität auf dem a.-p. Röntgenbild festgestellt wurde [19].

Kombination von femoraler Antetorsion und azetabulärer Anteversion

Die Kombination von femoraler Antetorsion und azetabulärer Anteversion [19, 37] kann mit dem McKibbin-Instabilitätsindex [37] erfasst werden und ist in Tab. 3 dargestellt. Dies ist wichtig, weil der Effekt einer erhöhten femoralen Antetorsion unter Umständen durch eine erhöhte azetabuläre Anteversion verstärkt werden kann. Und umgekehrt kann eine azetabuläre Retroversion den Effekt einer reduzierten femoralen Antetorsion verstärken (Tab. 3). Tönnis und Heinecke haben beschrieben, dass bei stark verringertem Instabilitätsindex die Arthroserate der Hüfte signifikant erhöht sei ([37]; Tab. 3).

Kombination von femoraler Antetorsion und tibialer Torsion

Die tibiale Torsion kann ebenfalls mit der CT oder MRT gemessen werden. Es wurden verschiedene Messmethoden

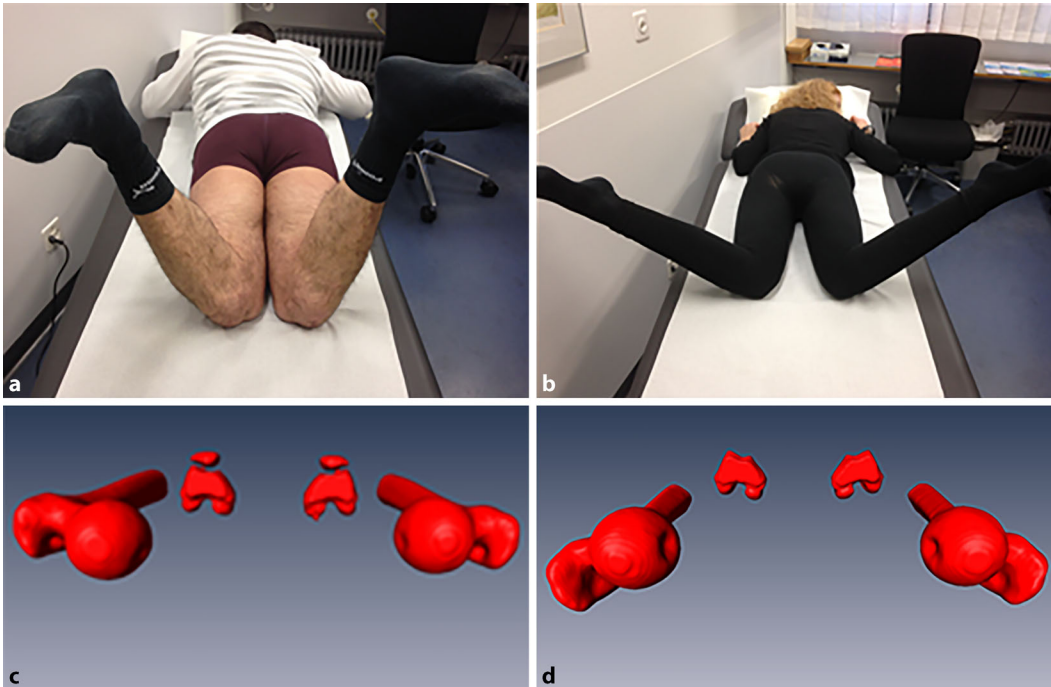


Abb. 4 ◀ Zur klinischen Untersuchung von Patienten mit femoralen Torsionsfehlern gehört die Bestimmung der Rotation in Bauchlage (a,b). Patienten mit einer verminderten femoralen Torsion (c) zeigen typischerweise eine verminderte Innenrotation (a), bei erhöhter femoraler Torsion (d) hingegen ist eine erhöhte Innenrotation charakteristisch (b). (a und b mit freundl. Genehmigung aus [31])

und ein Normbereich von 25–40° beschrieben [39]. Eine abnormale tibiale Torsion kann auch das Gangbild beeinflussen [21]: der Effekt einer abnormalen femoralen Torsion kann durch eine abnormale tibiale Torsion kompensiert oder verstärkt werden ([21]; ▶ Tab. 4). In gewissen Fällen ist neben einer femoralen Korrektur eine zusätzliche Korrektur am Unterschenkel erforderlich, um nicht mit der femoralen Korrektur ein Innen- oder Außenrotationsgangbild zu riskieren.

Klinische Untersuchung

Unterschiede in der klinischen Präsentation und Untersuchung bei Patienten mit reduzierter und erhöhter femoraler Antetorsion sind in ▶ Tab. 5 zusammengefasst.

Femorale Retrotorsion

In der klinischen Untersuchung präsentieren sich die Patienten häufig mit einer reduzierten Innenrotation der Hüfte in 90°-Flexion. Weil dies unspezifisch ist und auch bei Cam- oder Pincer-Deformitäten vorkommt, empfiehlt es sich, die Innenrotation auch in Bauchlage zu testen (▶ Abb. 4). In Bauchlage (▶ Abb. 4) sollte die femorale Torsion praktisch ausschließlich für die Bewegungsamplitude verantwortlich sein. Der anteriore Im-

pingementtest ist häufig positiv als Folge des direkten Impingements mit einer Reizung des Labrums (▶ Tab. 5). Eine intraartikuläre Injektion kann wenig Effekt haben bei Vorliegen eines extraartikulären Subspine-Impingement.

Erhöhte femorale Antetorsion

Patienten mit erhöhter femoraler Torsion beschreiben typischerweise sowohl gluteale Schmerzen als auch Leistenschmerzen. Die glutealen Schmerzen werden häufig beim Stehen, Treppensteigen oder bei sportlichen Aktivitäten angegeben, bei denen eine kombinierte Außenrotations-Extensions-Bewegung durchgeführt wird. Diese entstehen durch das extraartikuläre ischiofemorale Impingement [30]. Die Innenrotation in Bauchlage ist typischerweise erhöht (▶ Abb. 4). Interessanterweise kann der anterior Impingementtest (fälschlicherweise) ebenfalls positiv sein bei Patienten mit erhöhter femoraler Antetorsion (▶ Tab. 5). Der FABER-Test und der posterior Impingementtest sind typischerweise positiv.

Operative Therapie

Die Hüftarthroskopie zur Offset-Korrektur (Cam-Resektion) ist die Therapie der Wahl bei einer anterioren Cam-Deformität bei Vorliegen einer normalen femo-

ralen Antetorsion. Eine arthroskopische oder offene (chirurgische Hüftluxation) Pfannenrandtrimmung ist die Therapie der Wahl bei einer vermehrten Überdachung ohne azetabuläre Retroversion und bei einer normalen femoralen Antetorsion. Liegt eine Kombination von Deformitäten vor, sollten diese kombiniert behandelt werden [31]. Wir empfehlen eine schrittweise Korrektur in einer Operation bei Vorliegen von kombinierten Deformitäten [31]. Nach jedem Korrekturschritt sollte eine intraoperative Beweglichkeitsprüfung durchgeführt werden, um die Innenrotation zu überprüfen.

Femorale Retrotorsion

Die femorale Retrotorsion (definiert als $< 5^\circ$, gemessen mit der Murphy-Methode) kann zu einem anterioren intra- oder extraartikulären („subspine“) Impingement führen (▶ Abb. 5). Das extraartikuläre FAI kann zwischen der Spina iliaca anterior inferior und dem proximalen Femur auftreten. Ein bestehendes anteriores Cam- oder Pincer-Impingement kann dadurch auch verstärkt werden. Die computerbasierte, patientenspezifische und dynamische Evaluation stellt die Impingementzonen (Video 1) dar und hilft bei der Planung der chirurgischen Korrektur. Eine intra-

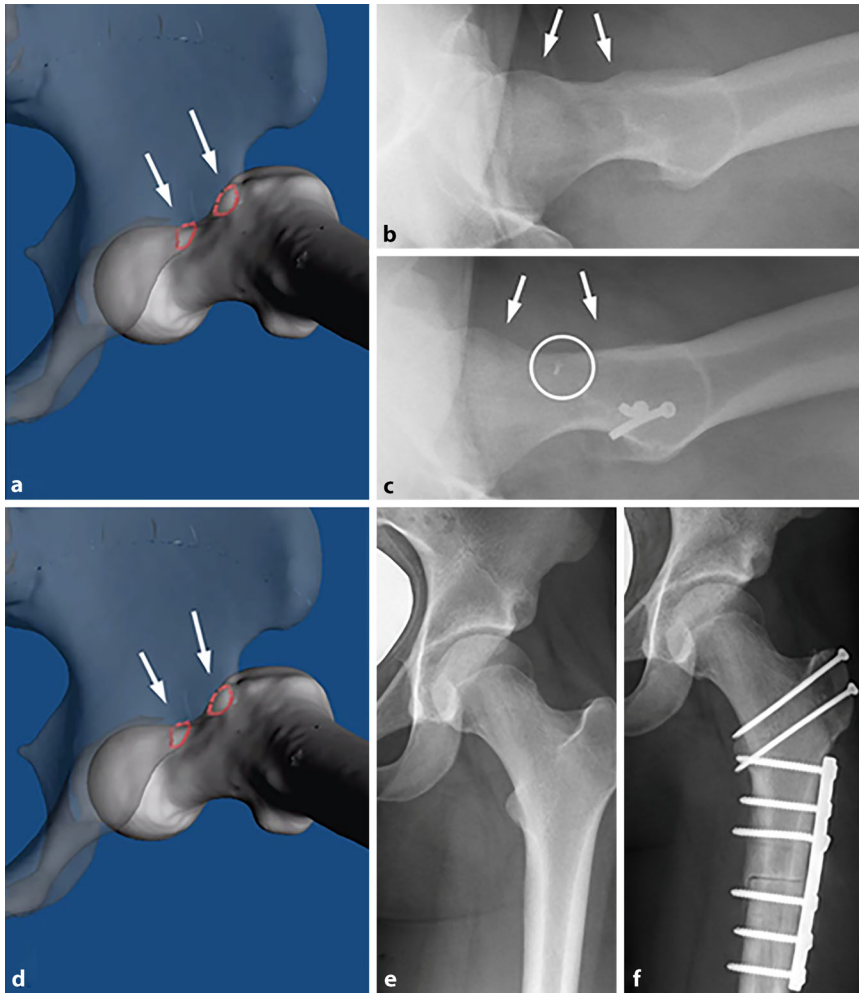


Abb. 5 ▲ Eine femorale Retrotorsion kann zu einem kombinierten anterioren intra- und extraartikulären Hüftimpingement führen (a,d, Pfeile, rot dargestellt sind die Impingement-Zonen). Zur Korrektur wurde eine offene Offset-Korrektur am Schenkelhals mittels chirurgischer Hüftluxation mit Abtragung der Cam-Deformität und Abtragung des Tuberculum anterius (Pfeile) mit Refixation der Kapsel mithilfe eines Ankers (Kreis) durchgeführt (b,c). Alternativ kann eine rotierende proximale Femurosteotomie zur Erhöhung der femoralen Antetorsion durchgeführt werden (e,f). (Mit freundlicher Genehmigung aus [31])

artikuläre Infiltration kann dabei helfen, ein intraartikuläres von einem extraartikulären Impingement abzugrenzen. Eine komplette Schmerzfreiheit spricht für ein rein intraartikuläres Impingement.

Die chirurgische Korrektur erfolgt meist schrittweise in einer Operation. Das Ziel einer minimalen Innenrotationsfähigkeit von 30° ohne Impingement sollte zuerst durch eine arthroskopische oder offene Offset-Korrektur (Cam-Resektion) und/oder Pfannenrandtrimmung erfolgen [31]. Falls dies nicht erreicht werden kann, sollte während dieser Operation eine rotierende Femurosteotomie erwägt werden. Falls präoperativ klinisch die Innenrotation

< 10° beträgt, ist meist eine rotierende Femurosteotomie nötig, um eine suffiziente Innenrotation zu erreichen (Abb. 5). Diese kann mit einer arthroskopischen oder offenen Therapie kombiniert werden. Mehrfache Operationen sollten vermieden werden.

Erhöhte femorale Antetorsion

Bei einer erhöhten femoralen Torsion > 35° (gemessen nach Murphy) kann ein posteriores intra- und extraartikuläres (ischiofemorales) Impingement auftreten (Abb. 3). Dies ist typischerweise zwischen Tuberculum ischiadicum und Trochanter minor oder major lokalisiert. Als ursächliche Therapie wird eine de-

rotierende Femurosteotomie (Abb. 6), vorzugsweise auf subtrochantärer Höhe, durchgeführt. Die Osteotomie kann ebenfalls auf intertrochantärer Höhe durchgeführt werden, für eine derotierende Osteotomie oder falls eine zusätzliche Varuskorrektur nötig erscheint. Diese kann ebenfalls mit einer arthroskopischen oder mit einer offenen chirurgischen Hüftluxation kombiniert werden.

Die Innenrotation wird durch die Reduktion der Torsion zwangsläufig vermindert. Bei einer gleichzeitig vorliegenden Cam- und/oder Pincer-Morphologie kann dies zu einem verstärkten anterioren Impingement nach Torsionskorrektur führen. Durch intraoperatives Testen der Innenrotation nach Korrektur kann dies überprüft werden. Der Offset sollte verbessert und/oder der Pfannenrand reduziert werden, falls die Innenrotation stark vermindert sein sollte (< 30°) nach Torsionskorrektur. Um die Gefahr einer verminderten Innenrotation nach Torsionskorrektur zu vermeiden, empfehlen wir eine intraoperative Korrektur von 15–20° bei einer derotierenden femoralen Osteotomie.

Technik der proximalen femoralen Osteotomie

Es wurden verschiedene Techniken und Implantate beschrieben, welche für eine proximale femorale Osteotomie zur Torsionskorrektur verwendet werden können [3, 11, 37]. Neben winkelstabilen und konventionellen Platten wurde auch eine intramedulläre Fixation beschrieben [3]. Klassischerweise wird die Klingenplatte (Winkelplatte) mit 90° oder 110° verwendet [4, 37]. Diese Technik empfiehlt sich für eine intertrochantäre Osteotomie. Bei der subtrochantären Osteotomie kann eine offene oder eine minimalinvasive Technik verwendet werden. Die offene Technik kann mit einem Subvastuszugang sowie einer 4,5-mm-Platte durchgeführt werden und kann mit einer chirurgischen Hüftluxation (Abb. 6) kombiniert werden [11]. Bei minimalinvasiver Technik kann ein Marknagel zur intramedullären Fixation verwendet werden [3]. Dabei wird die Osteotomie mit einer intramedullären Säge durchgeführt [3].

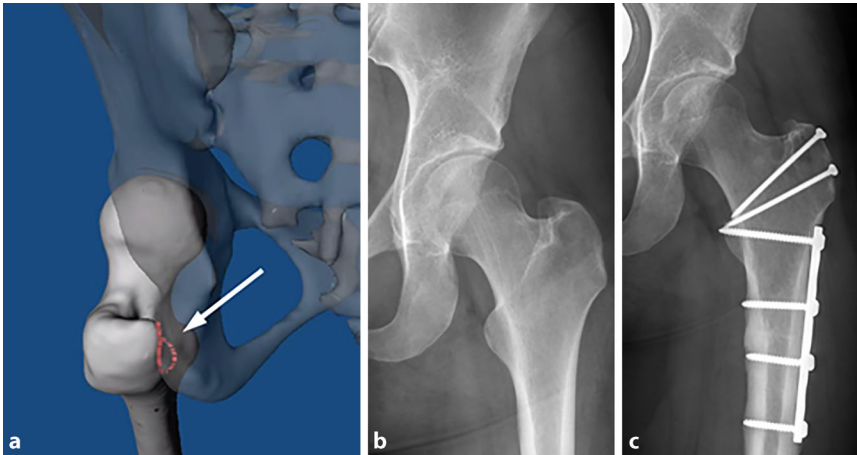


Abb. 6 ▲ Bei hoher femoraler Torsion kann ein posteriores extraartikuläres Impingement zwischen Trochanter major/minor und Tuber ischiadicum (Pfeil) auftreten (a, rot dargestellt ist die Impingement-Zone). Dieses kann mit einer derotierenden Femurosteotomie korrigiert werden (b,c). Gleichzeitig wurde mittels chirurgischer Hüftluxation eine dynamische Gelenksinspektion mit intraoperativer Bewegungsüberprüfung und Offset-Verbesserung durchgeführt (b,c). (Mit freundlicher Genehmigung aus [31])

Diese Techniken können auch mit einer Hüftarthroskopie kombiniert werden [3].

Fazit für die Praxis

- Femorale Torsionsfehler sind Gründe für ein femoroacetabuläres Impingement. Sie gelten als weitere Möglichkeit für ein Hüftimpingement neben dem Cam- und Pincer-Impingement. Klinisch kann eine abnormale femorale Antetorsion in Bauchlage erkannt werden.
- Zur Messung der femoralen Torsion hat sich die Schnittbildgebung bewährt. Dabei sollten die verschiedenen Definitionen berücksichtigt werden.
- Eine femorale Retrotorsion ($< 5^\circ$) kann sowohl zu einem anterioren intra- als auch extraartikulären („sub-spine“) Impingement zwischen der Spina iliaca anterior inferior und dem proximalen Femur führen. Die erhöhte femorale Antetorsion ($> 35^\circ$) kann zu einem posterioren intra- und extraartikulären (ischiofemorale) Impingement zwischen dem Trochanter minor und/oder Trochanter major und dem Tuber ischiadicum führen.
- Bei der Planung der operativen Therapie der femoralen Torsionsfehler sind sowohl intra- und extraartikuläre Ursachen des Hüftimpingements als

auch eine zusätzliche Cam- oder Pincer-Deformität zu berücksichtigen.

Korrespondenzadresse

Dr. Till D. Lerch, MD
 Universitätsklinik für orthopädische Chirurgie
 und Traumatologie, Inselspital, Universität Bern
 Freiburgstraße, 3010 Bern, Schweiz
 till.lerch@insel.ch

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Tannast gibt an, dass er Unterstützung vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung erhalten hat. T.D. Lerch, F. Schmaranzer, M.S. Hanke, C. Leibold, S.D. Steppacher und K.A. Siebenrock geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle Autoren bestätigen die Einhaltung ethischer Richtlinien. Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor. Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Tieren.

Literatur

1. Botser IB, Ozoude GC, Martin DE et al (2012) Femoral anteversion in the hip: comparison of measurement by computed tomography, magnetic resonance imaging, and physical examination. *Arthroscopy* 28:619–627. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.10.021>
2. Brunner R, Krauspe R, Romkes J (2000) Torsion deformities in the lower extremities in patients

with infantile cerebral palsy: pathogenesis and therapy. *Orthopäde* 29:808–813

3. Buly RL, Sosa BR, Poultsides LA et al (2018) Femoral derotation osteotomy in adults for version abnormalities. *J Am Acad Orthop Surg* 26:e416–e425. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00623>
4. Cordier W, Katthagen BD (2000) Femoral torsional deformities. *Orthopäde* 29:795–801. <https://doi.org/10.1007/s001320050528>
5. Damopoulos D, Lerch TD, Schmaranzer F et al (2019) Segmentation of the proximal femur in radial MR scans using a random forest classifier and deformable model registration. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. <https://doi.org/10.1007/s11548-018-1899-z>
6. Decker S, Suero EM, Hawi N et al (2013) The physiological range of femoral antetorsion. *Skeletal Radiol* 42:1501–1505. <https://doi.org/10.1007/s00256-013-1687-3>
7. Dolan MM, Heyworth BE, Bedi A et al (2011) CT reveals a high incidence of osseous abnormalities in hips with labral tears. *Clin Orthop Relat Res* 469:831–838. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1539-6>
8. Ferro FP, Ho CP, Briggs KK, Philippon MJ (2015) Patient-centered outcomes after hip arthroscopy for femoroacetabular impingement and labral tears are not different in patients with normal, high, or low femoral version. *Arthroscopy* 31:454–459. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.10.008>
9. Ganz R, Parvizi J, Beck M et al (2003) Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop Relat Res*. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000096804.78689.c2>
10. Jarrett DY, Oliveira AM, Zou KH et al (2010) Axial oblique CT to assess femoral anteversion. *AJR Am J Roentgenol* 194:1230–1233. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.3702>
11. Kamath AF, Ganz R, Zhang H et al (2015) Subtrochanteric osteotomy for femoral mal-torsion through a surgical dislocation approach. *J Hip Preserv Surg* 2:65–79. <https://doi.org/10.1093/jhps/hnv011>
12. Kingsley PC, Olmsted KL (1948) A study to determine the angle of anteversion of the neck of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 30A:745–751
13. Koerner JD, Patel NM, Yoon RS et al (2013) Femoral version of the general population: does “normal” vary by gender or ethnicity? *J Orthop Trauma* 27:308–311. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3182693fdd>
14. Kubiak-Langer M, Tannast M, Murphy SB et al (2007) Range of motion in anterior femoroacetabular impingement. *Clin Orthop Relat Res* 458:117–124. <https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e318031c595>
15. Kuo TY, Skedros JG, Bloebaum RD (2003) Measurement of femoral anteversion by biplane radiography and computed tomography imaging: comparison with an anatomic reference. *Invest Radiol* 38:221–229. <https://doi.org/10.1097/01.RLL.0000059542.90854.EF>
16. Lee YS, Oh SH, Seon JK et al (2006) 3D femoral neck anteversion measurements based on the posterior femoral plane in ORTHODOC system. *Med Biol Eng Comput* 44:895–906. <https://doi.org/10.1007/s11517-006-0104-7>
17. Lerch TD, Steppacher SD, Liechti EF et al (2016) Bernese periacetabular osteotomy: Indications, technique and results 30 years after the first description. *Orthopäde* 45:687–694. <https://doi.org/10.1007/s00132-016-3265-6>
18. Lerch TD, Steppacher SD, Liechti EF et al (2017) 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* 475:1154–1168. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-5169-5>
19. Lerch TD, Todorski IAS, Steppacher SD et al (2018) Prevalence of femoral and acetabular version abnormalities in patients with symptomatic hip disease: a controlled study of 538 hips. *Am J Sports Med* 46:122–134. <https://doi.org/10.1177/0363546517726983>
 20. Lerch TD, Boschung A, Todorski IAS, Steppacher SD, Schmaranzer F, Zheng G, Ryan MK, Siebenrock KA, Tannast M (2019) Femoroacetabular Impingement Patients With Decreased Femoral Version Have Different Impingement Locations and Intra- and Extraarticular Anterior Subspine FAI on 3D-CT-Based Impingement Simulation: Implications for Hip Arthroscopy. *Am J Sports Med*. 47(13):3120–3132. <https://doi.org/10.1177/0363546519873666>. Epub 2019 Sep 20
 21. Lerch TD, Eichelberger P, Baur H, Schmaranzer F, Liechti EF, Schwab JM, Siebenrock KA, Tannast M (2019) Prevalence and diagnostic accuracy of intoeing and out-toeing of the foot for patients with abnormal femoral torsion and femoroacetabular impingement: implications for hip arthroscopy and femoral derotation osteotomy. *Bone Joint J* 101-B(10):1218–1229
 22. Lerch TD, Vuilleumier S, Schmaranzer F et al (2019) Patients with severe slipped capital femoral epiphysis treated by the modified Dunn procedure have low rates of avascular necrosis, good outcomes, and little osteoarthritis at long-term follow-up. *Bone Joint J* 101–B:403–414. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B4.BJJ-2018-1303.R1>
 23. Maier C, Zingg P, Seifert B et al (2012) Femoral torsion: reliability and validity of the trochanteric prominence angle test. *Hip Int* 22:534–538. <https://doi.org/10.5301/HIP.2012.9352>
 24. Martin HD, Shears SA, Palmer IJ (2010) Evaluation of the hip. *Sports Med Arthrosc Rev* 18:63–75. <https://doi.org/10.1097/JSA.0b013e3181dc578a>
 25. Murphy SB, Simon SR, Kijewski PK et al (1987) Femoral anteversion. *J Bone Joint Surg Am* 69:1169–1176
 26. Reikerås O, Bjerkreim I, Kolbenstvedt A (1983) Anteversion of the acetabulum and femoral neck in normals and in patients with osteoarthritis of the hip. *Acta Orthop Scand* 54:18–23
 27. Reikerås O, Høiseth A, Reigstad A (1985) Evaluation of the Dunlap/Rippstein method for determination of femoral neck angles. *Acta Radiol Diagn* 26:177–179
 28. Schmaranzer F, Helfenstein R, Zeng G et al (2019) Automatic MRI-based three-dimensional models of hip cartilage provide improved morphologic and biochemical analysis. *Clin Orthop Relat Res* 477:1036–1052. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000755>
 29. Schmaranzer F, Lerch TD, Siebenrock KA et al (2019) Differences in femoral torsion among various measurement methods increase in hips with excessive femoral torsion. *Clin Orthop Relat Res*. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000610>
 30. Siebenrock KA, Steppacher SD, Haefeli PC et al (2013) Valgus hip with high antetorsion causes pain through posterior extraarticular FAI. *Clin Orthop Relat Res* 471:3774–3780. <https://doi.org/10.1007/s11999-013-2895-9>
 31. Steppacher SD, Lerch TD, Schmaranzer F, Tannast M (2018) Femorale Rotationspathologien. In: Sobau (Hrsg) Hüftarthroskopie. Thieme, Stuttgart, S 138–153
 32. Strecker W, Keppler P, Gebhard F, Kinzl L (1997) Length and torsion of the lower limb. *J Bone Joint Surg Br* 79:1019–1023
 33. Tannast M, Kubiak-Langer M, Langlotz F, Puls M, Murphy SB, Siebenrock KA (2007) Noninvasive three-dimensional assessment of femoroacetabular impingement. *Journal of Orthopaedic Research* 25(1):122–131
 34. Tannast M, Siebenrock KA, Anderson SE (2007) Femoroacetabular impingement: radiographic diagnosis—what the radiologist should know. *AJR Am J Roentgenol* 188:1540–1552. <https://doi.org/10.2214/AJR.06.0921>
 35. Tomczak RJ, Guenther KP, Rieber A et al (1997) MR imaging measurement of the femoral antetorsional angle as a new technique: comparison with CT in children and adults. *AJR Am J Roentgenol* 168:791–794. <https://doi.org/10.2214/ajr.168.3.9057536>
 36. Tönnis D, Heinecke A (1991) Diminished femoral antetorsion syndrome: a cause of pain and osteoarthritis. *J Pediatr Orthop* 11:419–431
 37. Tönnis D, Heinecke A (1999) Acetabular and femoral anteversion: relationship with osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 81:1747–1770
 38. Toogood PA, Skalak A, Cooperman DR (2009) Proximal femoral anatomy in the normal human population. *Clin Orthop Relat Res* 467:876–885. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0473-3>
 39. Waidelich HA, Strecker W, Schneider E (1992) Computed tomographic torsion-angle and length measurement of the lower extremity. The methods, normal values and radiation load. *RofO* 157:245–251. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1033007>
 40. Ziebarth K, Milosevic M, Lerch TD et al (2017) High survivorship and little osteoarthritis at 10-year followup in SCFE patients treated with a modified Dunn procedure. *Clin Orthop Relat Res*. <https://doi.org/10.1007/s11999-017-5252-6>