Bernhard Karich

Klinik für Unfallchirurgie und physikalische Medizin, Heinrich-Braun-Klinikum gGmbH Standort Zwickau, Zwickau, Deutschland

Fehlheilungen und Pseudarthrosen am proximalen Femur

Analysen eigener Behandlungsfälle ergeben eine große Vielfalt an Versagensmöglichkeiten im Bereich des proximalen Femurs (**Abb. 1**). Der vorliegende Beitrag kann verständlicherweise nicht alle Komplikationsmöglichkeiten und deren Behandlung in vollem Umfang darstellen. Darüber hinaus ist eine exakte statistische Erfassung von Behandlungskomplikationen in einer Region mit hoher Krankenhausdichte nur sehr ungenau, da einige Patienten mit möglichen Komplikationen später in anderen Krankenhäusern behandelt werden. Auch werden von

niedergelassenen Kollegen Patienten mit Komplikationen zugewiesen, die primär in einem anderen Krankenhaus behandelt wurden.

Mögliche Fehlheilungen am proximalen Femur sind der Implantatausbruch, die verzögerte Frakturheilung, der Bruch des Implantats und Infektionen. In der postakuten Phase werden Fehlstellungen, Nekrosen des Hüftkopfs und ein vorzeitiger Gelenkverschleiß beobachtet.

Untersucht man Fehlheilungen nach ihrem Auslöser, lassen sich 3 Gruppen unterscheiden.

Menschliche Ursachen. Die häufigste Ursache ist menschlicher Natur, wobei Patient und Operateur gleichermaßen einbezogen werden müssen. Wesentliche Komponenten sind die Indikationsstellung zum operativen Verfahren, das Beherrschen der Operationstechnik, aber auch die Compliance des Patienten.

Biologische Ursachen. Seltener sind biologische Ursachen als individueller Faktor des Patienten. Dazu gehören die evtl. vorhandene schlechtere Knochenqualität, Begleiterkrankungen, die sowohl die

Abb. 1 ◀ Verschiedene Beispiele von Fehlheilungen am proximalen Femur

Abb. 2 ▲ Hüftschraubenausbruch nach γ-Nagel-Osteosynthese. **a** Röntgenbild, **b** Hüftkopfpräparat nativ, **c** Knochenpräparat, **d** Radiographie

Abb. 3 ▲ Wechselsinnige Drehmomente bei exzentrischer Schraubenlage während der Gangbewegung

Wundheilung als auch die Frakturheilung beeinflussen, Infektionen und auch die Körpermasse des Patienten.

Mechanische Ursachen. Fehlheilungen können ebenso durch mechanische Fak-

toren ausgelöst werden, wobei sich auch hier häufig zusätzliche Fehler, insbesondere in der Handhabung des Instrumentariums, beobachten lassen. Den mechanischen Ursachen zuzuordnen sind die mechanische Stabilität und Funktionali-

tät des Implantats, die durch das Implantatdesign zusammen mit der Frakturmorphologie sowie der Körpermasse beeinflusst werden.

Biomechanische Betrachtungen

Betrachtet man die Komplikation Implantatbruch bzw. Hüftschraubenausbruch bei der Frakturversorgung mit einem intra-medullären System, finden sich i.d.R. in den jüngeren Altersstufen die Implantatbrüche, in höheren Altersstufen eher die Hüftschraubenausbrüche. Die Implantatbrüche können erklärt werden mit der höheren Mobilität der jüngeren Patienten in Kombination mit einer verzögerten Frakturheilung, die dann zur mechanischen Überlastung des Implantats führt. Der Hüftschraubenausbruch ist der häufig schlechteren Knochenqualität im höheren Lebensalter geschuldet.

Hier muss neben der Knochenqualität auch die Rotationsstabilität der Hüftkopfverankerung als zusätzlicher Faktor diskutiert werden [1]. Die kritische Analyse eigener Komplikationen zeigt die negative Auswirkung einer verbliebenen oder nicht vorhandenen Rotationsstabilität als entscheidenden Kofaktor. Untersucht man die explantierten Hüftköpfe nach Revision eines Hüftschraubenausbruchs, ist unter der Tragschraube häufig bereits Granulationsgewebe als Hinweis auf einen schleichenden Prozess zu finden. Der Auswanderungskanal in kranialer Richtung zeigt in aller Regel vollständig zerstörte Spongiosaträbelkel (Abb. 2). Am häufigsten wird der Ausbruch der Tragschraube bei Frakturtypen A2/3 nach Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) beobachtet. Nahezu typisch ist ein kurzes Kopf-Hals-Fragment in Kombination mit einem größeren Fragment des dislozierten Trochanter minor. Für die Versorgung pertrochantärer Frakturen gilt die eher Calcar-femorale-nahe Schraubenlage als die optimale Implantatposition. Allerdings liegt damit die zentrale Achse der Hüftschraube außerhalb der Rotationsachse des Hüftkopfs. Dadurch kann es bei jeder Laufbewegung zu wechselnden Drehmomenten zwischen Implantat und Hüftkopfspongiosa kommen. Übersteigen diese Drehmomente die Haftrei-

bung der Hüftschraubenverankerung, resultiert daraus eine Mikrobewegung zwischen Hüftkopf und -schraube. Bedingt durch die wechselsinnigen Lasten, entsteht letztendlich eine oszillierende Relativbewegung, die dann zum Durchwandern des Implantats durch den Hüftkopf nach kranial und zu den beschriebenen Versagensbildern führt (■ Abb. 3). In vielen Publikationen zur Biomechanik der Hüftfrakturen wird als Standardwerk *Der Atlas zur Biomechanik der gesunden und kranken Hüfte* von F. Pauwels [16] zitiert. Daraus folgernd wird in der Prüfmethodik die hüftresultierende Kraft der Normalhüfte des gesunden und jungen Patienten verwendet. Bereits in diesem Buch findet sich aber auch der Hinweis auf eine Änderung der Hüftresultierenden bei der eher varischen Hüfte, die sehr häufig beim älteren Patienten vorliegt (■ Abb. 4). Bei dieser Konstellation hat die hüftresultierende Kraft eine ungünstige gewindeparallele Ausrichtung bezogen auf die Hüftschraube, was wiederum in Verbindung mit den beschriebenen oszillierenden Mikrobewegungen zum Auswandern der Schraube führen muss. Darüber hinaus wird übersehen, dass die von Pauwels gefundene Hüftresultierende vom Vorhandensein intakter Muskelverhältnisse am Hüftgelenk ausgeht. Bei pertrochantären Femurfrakturen vom Typ 31 A2.3 liegt der Abriss des Trochanter minor vor. Die Zugbelastung durch den hier ansetzenden M. iliopsoas wäre somit korrekterweise aus dem Kräfteparallelogramm herauszunehmen. In dem bereits genannten Standardwerk von Pauwels [16] findet sich nicht ein einziges Mal der Hinweis auf pertrochantäre Frakturen. Ungeachtet dessen wird nahezu standardmäßig dieses Lastszenario auch in biomechanischen Testungen von trochantären Osteosynthesen verwendet. Der Autor dieses Artikels hatte die Gelegenheit, im Jahr 2002 mit B. Kummer, dem Verfasser eines bekannten Buchs über die Biomechanik des Menschen [12] und Koautor von Pauwels, über diese Problematik zu sprechen. Man war sich damals darüber einig, dass dieser Aspekt einer weiteren wissenschaftlichen Betrachtung bedarf.

Die bisher standardmäßig durchgeführten biomechanischen Tests der Trochanterregion verwenden, wie bereits er-

wähnt, das von Pauwels postulierte und allgemein anerkannte Lastszenario in Verbindung mit entsprechenden Lastzyklen, die durch Bergmann experimentell bestätigt wurden. Nachteilig für diese Untersuchungsmethode ist darüber hinaus das Nichtbeachten der Flexion und Extension im Gangzyklus. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde ein dynamisches Prüfmodell unter Einbeziehung der Gangsimulation entwickelt. Die mit dieser Prüfmethode gefundenen Ergebnisse zeigten eine deutliche Korrelation zu den im klinischen Alltag beobachteten Versagensmustern [4, 9, 10].

Spezifische Probleme der Schenkelhalsfrakturen

Als Hauptursache für Komplikationen im Bereich des Schenkelhalses wird die gestörte Durchblutung des Hüftkopfs als Frakturfolge angesehen.

Die Rotations- und Winkelstabilität der Implantatverankerung bei der osteosynthetischen Versorgung der Schenkelhalsfraktur ist aber gleichermaßen bedeutsam [1]. Neben dem von Pauwels [16] beschriebenen Einfluss des Bruchlinienverlaufs auf die Stabilität der Osteosynthese und dem von Garden beschriebenen Grad der Dislokation als Einflussfaktor auf die Durchblutung hat nach Auffassung des Autors auch die Morphologie der Schenkelhalsfraktur selbst einen entscheidenden Einfluss auf das Behandlungsergebnis. Oft ist beim prothetischen Gelenkersatz nach Schenkelhalsfrakturen eine nahezu typische dorsale Trümmerzone zu sehen ([3, 5, 7], ■ Abb. 5). Diese kann auch bei jüngeren Patienten mit Schenkelhalsfrakturen beobachtet werden (■ Abb. 6). Eine ausgeprägte dorsale Impressionszone lässt bei gedeckter osteosynthetischer Versorgung in anatomischer Position keinen vollflächigen Fragmentkontakt mehr zu. Möglich sind 3 Szenarien der Fragmentausrichtung: die anatomische, die vollflächige und die nach dorsal versetzte (■ Abb. 7). Diese können auch im klinischen Alltag beobachtet werden. Außer Frage steht, dass eine relevante dorsale axiale Abweichung eher nachteilig für die Funktion des Hüftgelenks ist [20]. Die rein anatomische Reposition hat allerdings den höchsten Grad der Rota-

Trauma Berufskrankh 2016 · [Suppl 2]:
18:S193–S202
DOI 10.1007/s10039-015-0066-9
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

B. Karich

Fehlheilungen und Pseudarthrosen am proximalen Femur

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit Fehlheilungen nach der Behandlung von Frakturen des Schenkelhalses und der trochantären Region. Dabei liegt der Fokus auf den biomechanischen Aspekten von Fehlschlägen nach osteosynthetischer Versorgung. Diskutiert wird auch der menschliche Faktor bei Operateur und Patient als Hauptursache der Fehlheilungen. Dieser Beitrag berücksichtigt nur die für den klinischen Alltag wesentlichsten Gesichtspunkte, da eine umfassende Darstellung aller Komplikationen und Therapieoptionen in diesem Rahmen nicht realisierbar ist.

Schlüsselwörter

Schenkelhalsfraktur · Trochantäre Fraktur · Osteosynthese · Fixateur interne · Biomechanik

Malunion and pseudarthrosis of the proximal femur

Abstract

This article deals with malunions after treatment of trochanteric and femoral neck fractures. It focuses on the biomechanical aspects of failed osteosynthesis while also discussing in equal measure the human factors related to surgeons and patients. This article only considers the fundamental clinical aspects of malunions as a comprehensive review of all complications and treatment options is not feasible.

Keywords

Femoral neck fracture · Trochanteric fracture · Osteosynthesis · Internal fixators · Biomechanics

tionsinstabilität und fordert somit ein geeignetes rotationsstabiles, winkelstabiles und dynamisches Implantat bei der osteosynthetischen Versorgung hüftgelenknaher Frakturen.

Die als Standard anerkannte Versorgung mit 3 kanülierten Schrauben [14] erfüllt diese Anforderungen im höheren Lebensalter nicht, da die Verminderung der Spongiosa im Bereich des Schenkelhalses nur eine stabile Führung der Schrauben im Hüftkopf, nicht aber in der Schenkel-

Abb. 4 ▲ Änderung der Hüftresultierenden in Abhängigkeit von der Schenkelhalskonfiguration nach Pauwels

Abb. 5 ◀ Dorsale Trümmerzone bei einer Schenkelhalsfraktur

Abb. 6 ◀ a, b Dorsales Fragment im axialen Strahlengang, in b markiert

Abb. 7 ◀ Mögliche „Repositionsvarianten“ bei Vorliegen einer dorsalen Defektzone

halsregion zulässt. Im Verlauf findet sich dann als Versagensmuster eine Torsion und Abkipfung des Hüftkopfs.

Auch die additiv eingebrachte Antirotationsschraube nach Versorgung mit dynamischer Hüftschraube (DHS) kann nicht immer die Torsionskräfte neutralisieren. Hier wird die Schraube zum Indikator für eine Torsion des Hüftkopfs (■ Abb. 8).

Die retrospektive Betrachtung eigener Komplikationen zeigt in allen Fällen ein entsprechendes Versagensmuster und konnte durch die Untersuchung der geborgenen Hüftköpfe bestätigt werden.

Auch Fehler in der Anwendung des Osteosynthesystems führen zu Komplikationen. So kann eine statische Arretierung der Hüftkomponente bei Verwendung eines Nagelsystems zur Protrusion der Hüftschraube in das Acetabulum als Folge der Fraktursinterung führen.

Selten lässt sich ein Verschleiß des Hüftgelenks auch noch nach einem längeren Zeitraum beobachten (■ Abb. 9). Die Revisionsmethode der Wahl ist nach Versagen der Osteosynthese des Schenkelhalses i.d.R. der Gelenkersatz [18].

Pertrochantäre Frakturen

Für die Behandlung pertrochantärer Femurfrakturen wurden zahlreiche verschiedene Implantate mit recht unterschiedlichen Verankerungsprinzipien entwickelt. Einige dieser Methoden wurden bereits wieder verlassen bzw. werden nur noch von wenigen Anwendern genutzt. Als Standardversorgung stabiler Frakturformen gilt allgemein die DHS. Für instabile Frakturen wird der Marknagel mit Hüftkomponente als das geeignetere Implantat angesehen [6]. Weltweit stehen über 30 verschiedene Implantate mit diesem Funktionsprinzip zur Verfügung. Hinsichtlich der Hüftkomponente gibt es verschiedene Einzel- oder Doppelschraubensysteme, Schrauben mit zusätzlicher Rotationsarretierung sowie Klingenimplantate mit unterschiedlichen Design- und Funktionsprinzipien [8, 17]. Einige dieser Implantate haben sich in der Vergangenheit nicht bewährt, insbesondere wenn die Hüftkomponente nicht ausreichend gegen das unkontrollierte

Abb. 8 ◀ a–d Hüftkopftorsion im Verlauf nach osteosynthetischer Versorgung von Schenkelhalsfrakturen

Abb. 9 ▲ Hüftverschleiß 5 Jahre nach Osteosynthese einer Schenkelhalsfraktur

Abb. 10 ◀ a Rückwärtiges Ausgleiten der Hüftkomponenten bei einem Implantat ohne Ausrutschsicherung. b Revision mit Implantation einer zementierten Langschaft-Totalendoprothese

Herausgleiten gesichert werden konnte (■ Abb. 10).

Allerdings ist auch die exakte Handhabung der Instrumente eine wesentliche Voraussetzung für den operativen Erfolg. Die Missachtung der korrekten Operationsschritte kann fatale Folgen für den Patienten haben (■ Abb. 11). Bei Analyse der geborgenen Implantate nach Komplikationen finden sich häufig Spuren einer nicht exakten Handhabung des Instrumentariums, die wiederum selbst Ausgangspunkt für weitere Komplikationen sein können (■ Abb. 12).

Bei Systemen mit einer Hüfttragschraube findet sich ferner das sog. Problem der linken Seite. Da standardmäßig die Hüftschrauben ein Rechtsgewinde besitzen, kann es auf der linken Seite zu einer Ventralrotation des Calcar-femo-

Abb. 11 ▲ a Präoperatives Röntgenbild. b–d Unzureichende Reposition, Schenkelhalsschraubenende medial der lateralen Kortikalis und distale Fehlverriegelung als Ursache für das Versagen der Osteosynthese

Abb. 12 ▲ Mögliche Ursachen für Komplikationen. a Beschädigte Schenkelhalsschraube bei falsch eingestelltem Zielgerät, b mehrere distale Fehlbohrungen, c beschädigtes Zielgerät

rale-Sporns kommen. Hier empfiehlt sich die Revision mit korrekter Reposition und rotationsstabiler Hüftkopfverankerung (■ Abb. 13). Einige Hersteller bieten dazu entsprechende Hilfsmittel und technische Lösungen an. Diese sind jeweils spezifisch auf das entsprechende Instrumentarium abgestimmt (■ Abb. 14). Die biomechanischen Aspekte der Hüftkopfverankerung wurden bereits beschrieben (s. oben).

Implantatbrüche

Bei Betrachtung der Implantatbrüche nach trochantären Osteosynthesen findet sich häufig eine unglückliche Trias aus subtrochantärer Frakturkomponente, verzögerter Frakturheilung und Beschä-

digung des Implantats [2, 10, 15]. Ein höheres Körpergewicht des Patienten wirkt sich ebenfalls nachteilig aus. Der Nagel bricht typischerweise an der Durchquerungsstelle der Tragschraube. Naturgemäß findet sich hier bei dem Implantat die schwächste Stelle, was durch die ungünstige Kerbwirkung verursacht wird. Einige Hersteller haben darauf mit entsprechender Designänderung reagiert (■ Abb. 15). Die Beschädigung des Nagels an dieser Stelle während der Operation erhöht das Risiko des Implantatbruchs deutlich (■ Abb. 16).

Liegt ein ausreichend großes Hüftfragment vor, kann eine entsprechende Reosteosynthese wiederum mit einem Nagelsystem erfolgen (■ Abb. 17). Jedoch soll-

te die Fraktur möglichst optimal reponiert sein. Als komplementäre wirkungsvolle Maßnahme kann eine zusätzliche laterale Zuggurtungsplatte empfohlen werden (s. hierzu [19]). Da mit einer Reosteosynthese die evtl. vorhandenen biologischen Probleme nicht behoben werden können, sind oft weitere Schwierigkeiten zu erwarten.

Sind die Voraussetzungen für eine Reosteosynthese nicht mehr gegeben bzw. kommt ein Infekt hinzu, ist i.d.R. nur noch ein Gelenkersatz, erforderlichenfalls nach Infektsanierung, möglich.

Verbliebene Fehlstellungen

In seltenen Fällen entwickeln sich sekundäre Fehlstellungen des proximalen Femurs, die häufig aus Anwendungsfehlern bei der Primärosteosynthese resultieren. Hier ist zwischen einem Gelenkersatz und einer Korrekturoperation abzuwägen. Die Indikationsstellung erfordert eine genaue Analyse des Versagensmusters einschließlich der daraus resultierenden Fehlstellung in Länge, Achse und Rotation. Die Computertomographie ist ein entscheidendes Hilfsmittel zur Planung des Eingriffs (■ Abb. 18).

In Abhängigkeit von der jeweiligen Situation können unterschiedliche Verfahren zum Einsatz kommen. Handelt es sich um einen reinen, nicht tolerierbaren Rotationsfehler, ist die Osteotomie mit Rotationskorrektur ausreichend. Hier kann auch die bereits von Küntscher konzipierte Innensäge zum Einsatz kommen, die die Traumatisierung durch Vermeidung unnötiger Osteotomiezugänge minimiert (■ Abb. 19, ■ Abb. 20).

In Fällen komplexerer Fehlstellungen mit varischer Abkipfung, Veränderung der Beinachse und Rotationskomponente kann eine subtrochantäre Osteotomie mit gleichzeitiger Achsausrichtung und Rotationskorrektur sowie nachfolgender Stabilisierung mithilfe eines intramedullären Implantats in Betracht gezogen werden. Der durch die Varisierung aufgeweitete mediale Osteotomiespalt heilt nach intramedullärer Osteosynthese i.d.R. komplikationslos knöchern aus (■ Abb. 21).

Diese Eingriffe sollten nur von Operateuren durchgeführt werden, die eine aus-

Abb. 13 ▲ a Präoperatives Röntgenbild. b,c Problem der linken Seite, Ventralrotation des Kopf-Hals-Fragments, d,e Reosteosynthese mit korrekter Reposition

Abb. 14 ▲ Temporäre Rotationssicherung des Hüftkopffragments

reichende Erfahrung im Umgang mit diesen Systemen haben.

Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieses Beitrags lassen sich nicht alle Komplikationsmöglichkeiten aufzeigen, insbesondere kann nicht auf spezifische Komplikationen einzelner Implantatsysteme eingegangen werden. Durch die Wahl des für die jeweilige biomechanische Situation am besten geeigneten Implantats lässt sich eine Reduktion der Komplikationsrate erreichen. Implantate mit rotationsstabiler Hüftkopfverankerung zeigen hier deutliche Vorteile.

Die möglichst exakte Frakturpositionierung verringert die Rate von Fehlheilungen [3, 13]. Bei mehreren Risikofaktoren (instabiler Frakturtyp, schlechte Knochenqualität, Übergewicht) sind erhöhte Fehlheilungsraten zu beobachten. Leider ist die Behandlung von Fehlheilungen oft langwierig und häufig komplikationsbehaftet.

Die Komplikationsrate nach Osteosynthesen von Schenkelhalsfrakturen insbesondere im hohen Lebensalter ist häufiger zu beobachten und sollte entsprechend in der Nachsorge beachtet werden.

Allerdings sind auch Komplikationen nach trochantären Osteosynthesen in einem Zeitraum von über 6 bis 12 Wochen nach operativer Behandlung möglich und

Abb. 15 ▲ a,c Reduktion des Kerbeffekts durch Abflachung der Schenkelhalsschraubendurchtrittsstelle nach b biologischem Vorbild. (a,c mit freundl. Genehmigung Fa. Stryker)

Abb. 16 ▲ Durch Instrumente beschädigter Nagel als Ausgangspunkt des Nagelbruchs

Abb. 17 ► **a** Nagelbruch. **b** Reosteosynthese mit stärkerem Implantat und distal dynamischer Verriegelung

Abb. 18 ◀ Korrekturplanung mithilfe der Computertomographie

sollten auch dem nachbehandelnden Kollegen bekannt sein.

Bei klinisch relevanten Fehlstellungen ist die Möglichkeit eines Korrektureingriffs zu prüfen. Eine exakte Planung ist dabei essenziell.

Korrespondenzadresse

Dr. B. Karich
Klinik für Unfallchirurgie und
physikalische Medizin
Heinrich-Braun-Klinikum
gGmbH Standort Zwickau
Karl-Keil-Straße 35
08060 Zwickau
bernhard.karich@hbk-
zwickau.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. B. Karich ist Mitinhaber des Patents für die U-Blade Schenkelhalsschraube der Firma Stryker. Diesbezüglich besteht ein Royalty-Vertrag.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Abb. 19 ▲ a,b Einsatz der Innensäge

Abb. 20 ▲ a Subtrochantäre Osteotomie, b-d Rotationskorrektur

Abb. 21 ▲ Mehrdimensionale Korrekturosteotomie: Korrektur von Torsion, Hüftachse und Beinlänge

Literatur

1. Augat P, Bühren V (2010) Modernes Implantatdesign für Osteosynthesen bei vorbestehender Osteoporose. *Orthopäde* 39:397–406. doi:10.1007/s00132-009-1572-x
2. Bojan A, Taglang G, Beigel C, Jönsson A, Schnettler RA (2004) Retrospective analysis of cut out complications in 3066 patients treated with gamma nails. *J Orthop Trauma* 18(9 Suppl):21
3. Bonnaire F, Müller B (2001) Mediale Schenkelhalsfraktur im Erwachsenenalter und Osteosynthese mit der dynamischen Hüftschraube (DHS). *Operat Orthop Traumatol* 13:121–134. doi:10.1007/s00064-001-1011-6
4. Born CT, Karich B, Bauer C, von Oldenburg G, Augat P (2010) Hip screw migration testing: first results for hip screws and helical blades utilizing a new oscillating test method. *J Orthop Res*. doi:10.1002/jor.21236
5. Bosch U, Schreiber T, Skutek M, Cserhádi R, Károly P, Fekete K, Krettek C (2003) Minimalinvasive Schraubenosteosynthese der medialen Schenkelhalsfraktur bei betagten Patienten. *Trauma Berufskrankh* 5(1 Suppl):35–41. doi:10.1007/s10039-002-0628-5
6. Eberle S, Gerber C, von Oldenburg G, Hungerer S, Augat P (2009) Type of hip fracture determines load share in intramedullary osteosynthesis. *Clin Orthop Relat Res*. doi:10.1007/s11999-009-0800-3
7. Fekete K, Kazar G, Manninger J (1989) Significance of the fracture type for treatment of femoral neck fractures. *Unfallchirurg* 92:229
8. Friedl W, Clausen J (2001) Experimentelle Untersuchungen zur Optimierung der Belastungsstabilität von Implantaten für proximale Femurfrakturen. *Chirurg* 72:1344–1352
9. Karich B (2003) Probleme mit dem γ-Nagel – Optimierungsmöglichkeiten. *Trauma Berufskrankh* 5(2 Suppl):175–183
10. Karich B, Simon B, Vater S, Sommerschuh S (2004) Dynamical movement load testing of higher instable trochanteric fracture models – comparison of the anchorage stability of various lag screws of the gamma nail system. *Osteosynthese International 2004 Abstract Book (Jahrestagung des Gerhard-Küntschers-Kreises)*. S 63
11. Kreusch-Brinker R (1998) Komplikationen bei der gelenknahen Osteosynthese im Bereich des Hüftgelenkes – unter Betonung der per- und subtrochantären Frakturen. In: Egbers HJ, Roth W, Schroeder L (Hrsg) *Komplikationen bei der operativen Knochenbruchbehandlung*. Wachholtz, Neumünster, S 194–208
12. Kummer B (2005) Biomechanik, Form und Funktion des Bewegungsapparates. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
13. Kutscha-Lissberg F, Hopf KF (2003) Warum versagen Osteosynthesen?. *Unfallchirurg* 106:708–721
14. Kutscha-Lissberg F, Schildhauer TA, Kollig E, Muhr G (2001) Die Osteosynthese der medialen Schenkelhalsfraktur. *Chirurg* 72:1253–1265
15. Maes M, Deboer Y, Brabant K (2012) Failure of the titanium trochanteric gamma nail in ununited metastatic fractures. *Acta Orthop Belg* 78:552–557
16. Pauwels F (1973) *Atlas zur Biomechanik der gesunden und kranken Hüfte*. Springer, Berlin, Heidelberg New York
17. Penzkofer J, Mendel T, Bauer C, Brehme K (2009) Ergebnisse bei der Versorgung per- und subtrochantärer Femurfrakturen, Ein retrospektiver Vergleich zwischen PFN und PFNA. *Unfallchirurg* 112:699–705. doi:10.1007/s00113-009-1642-x

18. Raaymakers ELFB, Schaafroth M (2002) Die mediale Schenkelhalsfraktur. Kontroversen in der Behandlung. Unfallchirurg 105:178–186
19. von Rüden C, Hungerer S, Augat P, Trapp O, Bühren V, Hierholzer C (2014) Breakage of cephalomedullary nailing in operative treatment of trochanteric and subtrochanteric femoral fractures. Arch Orthop Trauma Surg. doi:10.1007/s00402-014-2121-6
20. Strehl A, Ganz R (2005) Ventrales femoroacetabuläres Impingement nach geheimer Schenkelhalsfraktur. Unfallchirurg 108:263–273. doi:10.1007/s00113-004-0886-8