

Christian von Rügen^{1,2,3}, Oliver Trapp^{1,2}, Peter Augat^{2,3}

Ursachen für das Versagen intramedullärer Osteosynthesen bei proximalen Femurfrakturen

Reasons for failure of intramedullary fracture fixation in proximal femoral fractures

Zusammenfassung: Das Versagen eines cephalomedullären Nagels zur Stabilisierung trochantärer und subtrochantärer Femurfrakturen stellt eine schwerwiegende Komplikation dar, die grundsätzlich immer auch ein Hinweis auf eine verzögerte Knochenheilung bzw. Pseudarthrose sein kann. Die Ergebnisse unseres eigenen Patientenguts zeigen, dass die Revision gute klinische und radiologische Resultate hervorbringt. Ursächlich für den Misserfolg der cephalomedullären Nagelsysteme ist häufig eine unzureichende chirurgische Technik. Daher sind die sorgfältige präoperative Planung, die umfangreiche Erfahrung des Operateurs, die korrekte Frakturklassifikation, die Auswahl des richtigen Patienten und Implantats sowie eine präzise Operationstechnik mit anatomischer Frakturposition und Konzentration auch auf Details entscheidend für den operativen Erfolg.

Schlüsselwörter: cephalomedullärer Nagel, Femur, trochantäre Femurfraktur, subtrochantäre Femurfraktur, Implantatversagen

Zitierweise

von Rügen C, Trapp O, Augat P: Ursachen für das Versagen intramedullärer Osteosynthesen bei proximalen Femurfrakturen. OUP 2016; 11: 628–632 DOI 10.3238/oup.2016.0628–0632

Summary: Failure of cephalomedullary nail fixation is a major complication in the treatment of trochanteric and subtrochanteric fractures. Nevertheless, the evaluation of our patient database demonstrates that revision surgery provides good functional and radiological outcome. Cephalomedullary nail failures often result from inadequate treatment including insufficient planning and imperfect surgical performance. Therefore, application of the nail requires precise preoperative planning, advanced surgical experience to evaluate the patient as well as the fracture classification, and accurate operative technique with attention to detail and anatomical reduction of the fracture components.

Keywords: cephalomedullary nail, femur, trochanteric femoral fracture, subtrochanteric femoral fracture, implant failure

Citation

von Rügen C, Trapp O, Augat P: Reasons for failure of intramedullary fracture fixation in proximal femoral fractures. OUP 2016; 11: 628–632 DOI 10.3238/oup.2016.0628–0632

Einleitung

Hüftgelenknahe Frakturen sind typische Frakturen des älteren Menschen. Die ältere Population nimmt deutlich zu und dieser Umstand macht die sorgfältige Behandlung dieser Frakturen außerordentlich wichtig. Diese älteren Patienten zu behandeln und sich um sie zu kümmern, ist für den Unfallchirurgen und das Krankenhaussteam sowie global gesehen für das gesamte Gesundheits-

system eine außerordentliche Herausforderung vor allem durch die Vielzahl der meist vorhandenen Nebenerkrankungen. In vielen Fällen ist eine erfolgreiche Knochenbruchbehandlung mit dem Ziel einer schnellen Rehabilitation entscheidend für das Überleben des Patienten. Die Wiedererlangung der Funktion und die knöchernen Heilung erfordern eine biomechanisch stabile interne Fixation. Der Operateur muss damit rechnen, dass der Patient keine Teilbe-

lastung einhalten kann, weshalb die Osteosynthese eine sofortige Vollbelastung aushalten muss. Obwohl die heute verfügbaren Osteosynthesematerialien so designt sind, dass sie eine direkte Vollbelastung erlauben, lässt der Knochen des älteren Patienten oft die notwendige mechanische Stabilität für eine sichere Verankerung von Platten, Schrauben und Nägeln vermissen. Der altersbedingte Verlust von Knochensubstanz infolge von Erkrankungen wie Osteopo-

¹ Abteilung Unfallchirurgie, BG Unfallklinik Murnau, Deutschland. ²Institut für Biomechanik, BG Unfallklinik Murnau, Deutschland

³ Universitätsinstitut für Biomechanik, Paracelsus Medizinische Privatuniversität, Salzburg, Österreich

rose verringert die Fähigkeit des Knochens, erhöhten Belastungen standzuhalten [1].

Dieses Manuskript soll einen Überblick geben, wie durch Alter und Osteoporose bedingte Veränderungen, aber auch Anwenderfehler im gesunden, jüngeren Knochen die Stabilität von intramedullären Osteosynthesen bei hüftgelenknahen Frakturen aus biomechanischer und klinischer Sicht verändern.

Mechanische Eigenschaften des osteoporotischen Knochens

Die Fähigkeit des Knochens, alltäglichen Belastungen zu widerstehen, ohne eine Fraktur zu erleiden, hängt von der Menge an Knochenmasse, von seiner Raumverteilung und von den intrinsischen Materialeigenschaften des Knochengewebes ab [2]. Wenn man Grundsätze des Ingenieurwesens anlegt, können diese Faktoren genutzt werden, um mit relativ hoher Genauigkeit die Belastung voraussagen zu können, bei der ein Knochen bricht [3, 4]. Allerdings hängt die Belastung, bei der ein Knochen gewisser Stärke bricht, von der Art und Weise der Lasteinleitung ab. Am proximalen Femur tritt eine Fraktur bei deutlich niedrigeren Belastungen auf, wenn der Belastungsmechanismus in einem seitlichen Sturz auf den Trochanter major besteht, als bei der Belastung des Femurkopfs unter einer axialen Lasteinleitung [4]. Um das Frakturrisiko einzuschätzen, wurde das Konzept des sog. **Risikofaktors** eingeführt. Dieser Risikofaktor kann als das Verhältnis aus eingeleiteter Last und der Last, unter der der Knochen bricht, bezeichnet werden [5].

In einem osteoporotischen Knochen ist die Knochenmasse reduziert und die Mikroarchitektur des Knochens geschwächt, was zu einer erhöhten Knochenbrüchigkeit und zu einem deutlich erhöhten Frakturrisiko führt [6]. Die Verminderung der Knochenmasse resultiert hauptsächlich aus einer reduzierten Knochenresorption und ausbleibender Knochenneubildung, was zu einer negativen Balance des sog. **Remodellings** führt [7]. Intrinsische Veränderungen umfassen Veränderungen von Knochenbausteinen wie die Verteilung der Mineralisation, des Kollagengehalts und des Quervernetzungsprofils der inter-

und intrafibrillären Kollagenverbindungen [8, 9].

Alterung und Osteoporose beeinflussen die elastischen Eigenschaften genauso wie die Stärke des Knochens. Die elastischen Eigenschaften beschreiben die Deformierung, die unter Belastung auftritt, bevor der Knochen bricht (**Knochensteifigkeit**), während die **Knochenstärke** die Belastung zu dem Zeitpunkt ist, an dem der Knochen tatsächlich bricht (Kraft pro Flächeneinheit). Im kortikalen Knochen nimmt die Steifigkeit pro Lebensjahrzehnt um 1–2 % und die Knochenstärke um 2–5 % ab [10]. Noch wichtiger ist jedoch, dass die Energie, die zum Bruch eines Knochens notwendig ist, ab dem Alter von 35 Jahren um etwa 10 % pro Lebensdekade abnimmt [5, 11]. Im Alter von 80 Jahren ist die Knochenstärke des proximalen Femurs im Vergleich zum jugendlichen Alter um mehr als 50 % reduziert [12]. Weiter ist zu berücksichtigen, dass beim älteren Patienten die Elastizität des Weichteilgewebes und die Koordinationsfähigkeit abnehmen und zu einem erhöhten Sturzrisiko und zu einer verminderten Fähigkeit zur Sturzvermeidung führen [13].

Prinzipien der Osteosynthese am proximalen Femur

Verschiedene Techniken der geschlossenen oder offenen Reposition und internen Fixation sind für Frakturen des gesunden Knochens entwickelt worden. Die gleichen Techniken finden auch im osteoporotischen Knochen – zum Teil mit einigen notwendigen Modifizierungen – Anwendung. Diese können erforderlich sein, um ein Osteosyntheseversagen zu vermeiden und eine zufriedenstellende Heilung zu erzielen. Die Frakturbehandlung durch geschlossene bzw. offene Reposition und interne Fixierung zielt ab auf:

1. die Primärstabilität der Fraktur, um die Frakturheilung unter einer frühzeitigen funktionellen Beweglichkeit zu ermöglichen,
2. die Sekundärstabilität der Fraktur, um die knöcherne Konsolidation zu ermöglichen und die Entwicklung einer verzögerten Knochenheilung oder Pseudarthrose zu verhindern [14],
3. die achsgerechte Frakturposition, um Achsabweichungen oder Dreh-

fehler und dadurch auch eine inadäquate Belastung angrenzender Gelenke zu vermeiden.

Ursachen für Osteosyntheseversagen am proximalen Femur

Hüftgelenknahe Frakturen haben eine Morbidität und Mortalität in der älteren Bevölkerung von bis zu 30 % innerhalb des ersten Jahres nach Operation [15]. Das Versagen einer Osteosynthese in osteoporotischem Knochen basiert typischerweise auf dem Versagen der knöchernen Strukturen und nicht auf einem Implantatversagen [16]. Der Abbau kortikaler und trabekulärer Strukturen mit zunehmendem Alter und Ausprägung der Osteoporose geht mit einer bemerkenswerten Verminderung der Stabilität eines Implantats einher, was am proximalen Femur sowohl für die Dynamische Hüftschraube (DHS) als auch für den cephalomedullären Nagel nachgewiesen werden konnte [17, 18]. Frühere Untersuchungen haben außerdem ergeben, dass im Vergleich zu einer dicken, knochengesunden Kortikalis die Haltekraft um 1000 Newton (oder 50 %) pro 1 mm Verlust an Kortikalisbreite abnimmt, was Unterschiede in der Haltekraft von Kortikalischrauben von bis zu 2000 Newton hervorruft. Dies belegt, wie wichtig es ist, dass Kortikalischrauben im Knochen möglichst dort platziert werden, wo die Kortikalis dick ist [19, 20].

Intrakapsuläre undislozierte oder impaktierte Frakturen werden normalerweise durch geschlossene Reposition und interne Fixation mit modernen, winkelstabilen Schrauben-Platten-Systemen oder mit einer DHS behandelt [21]. Obwohl ein großes technisches Problem in der sekundären Frakturimpaktierung besteht, erlaubt die DHS genau dies entlang der Achse der Schenkelhalschraube. Die korrekte Ausrichtung der Schenkelhalschraube in der sog. **Center-Center-Position** zentral subkortikal im Femurkopf ermöglicht die optimale Wirkung dieses Implantats.

Das operative Management von dislozierten extrakapsulären Frakturen ist dagegen deutlich umstrittener. Frakturen des AO-Typs 31-A1 und 31-A2 können sowohl durch eine extramedulläre als auch durch eine intramedulläre Osteosynthese ohne einen generellen Vorteil für eines der Implantate stabilisiert

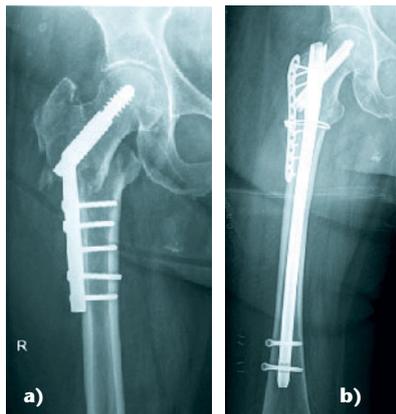


Abbildung 1a–b Fixierung einer trochantären Femurfraktur AO-Typ 31-A3 mit DHS **a**). Nach sekundärer Dislokation erfolgt die Revision nach offener Reposition mit cephalomedullärem Nagel (hier: TRIGEN INTER-TAN, Smith&Nephew, Tuttlingen) und zusätzlicher Sicherung mit einer Cerclage und einer auxiliären Platte **b**).



Abbildung 2 Beschädigung eines cephalomedullären Nagels durch inkorrekte Bohrung des Lochs für die Schenkelhalsschraube

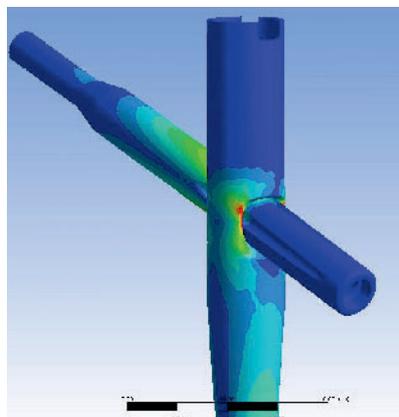


Abbildung 3 Sog. Rote Zone eines Gammannagels am Loch für die Schenkelhalsschraube: Schwachpunkt des Implantats bei Stresskonzentrationen

werden. Instabile trochantäre und subtrochantäre Frakturen, speziell Frakturen des AO-Typs 31-A3, erfordern eine präzise anatomische Reposition und stabile interne Fixation. Obwohl eine überzeugende klinische Evidenz nach wie vor fehlt [22], erscheinen cephalomedulläre Nägel für diese instabilen Frakturtypen gegenüber den extramedullären Implantaten überlegen (Abb. 1 a–b) [23, 24]. Cephalomedulläre Nagelsysteme kombinieren die biomechanischen Vorteile der DHS mit denen der intramedullären Nagelung. Die Schenkelhalschraube ermöglicht eine kontrollierte Stauchung der Fraktur, die zu einer erhöhten Frakturstabilität, einer verminderten Neigung zum Kollabieren des Hüftkopfs und zu einer verkürzten Zeitspanne bis zur Knochenheilung führt [25]. Die biomechanische Überlegenheit des intramedullären Kraftträgers gegenüber der extramedullär angebrachten DHS für die Stabilisierung instabiler proximaler Femurfrakturen wurde in zahlreichen Studien nachgewiesen [26–28]. In der klinischen Literatur wurden bislang nur wenige Fälle des Versagens cephalomedullärer Nagelsysteme beschrieben [29]. Das Implantatversagen trat durchschnittlich 6 Monate postoperativ auf. Dies implizierte als Ursache für das Implantatversagen eine verzögerte Knochenbruchheilung bzw. eine Pseudarthrosebildung.

Eigene Datenlage 2005–2015

Die Analyse der Jahre 2005–2015 aus unserem eigenen Kollektiv trochantärer und subtrochantärer Femurfrakturen erbrachte 13 mit einem cephalomedullären Nagel behandelte Patienten mit sekundärem Implantatversagen (Nagelbruch oder Dislokation der Schenkelhalschraube). Dies entsprach einer Versagensrate von 3 %. Die klinische und radiologische Nachuntersuchung erfolgte 4 Wochen, 3 und 6 Monate nach der Revisionsoperation. Zur Messung des Outcomes diente der Harris Hip Score 6 Monate nach operativer Revision bei 11 von 13 Patienten, die für eine Nachuntersuchung verfügbar waren [30].

Das Implantatversagen trat durchschnittlich 6 (1–19) Monate postoperativ auf. In 10 Fällen war dafür eine verzögerte Knochenbruchheilung bzw. eine Pseudarthrose ursächlich. In 2 Fällen wurde eine sekundäre Dislokation der Schenkelhalschraube beobachtet. Die

operative Revision wurde bei 9 von 13 Patienten mit einem langen Gammannagel durchgeführt. Dabei erhielten 3 dieser Patienten einen langen Gammannagel allein, ein Patient einen langen Gammannagel mit zusätzlicher Applikation von rekombinantem humanem Bone Morphogenetic Protein-7 (OP1, Stryker Biotech, Kalamazoo, MI, USA) sowie autologer Beckenkammspongiosa und ein Patient wurde mit einem langen cephalomedullären Nagel mit einer auxiliären Plattenosteosynthese versorgt. Bei einem weiteren Patienten wurde ein langer Nagel mit zusätzlicher Applikation von rhBMP-7 verwendet und die verbliebenen 3 Patienten wurden mit zusätzlicher Applikation von rhBMP-7 und außerdem einer auxiliären Platte behandelt, 2 dieser 3 Patienten erhielten zudem autologe Beckenkammspongiosa. Eine sekundäre Endoprothetik erhielten 3 der 13 Patienten. In einem Fall war der Nagelbruch erst bei der elektiven Metallentfernung sichtbar, die Fraktur war ausgeheilt. Die vollständige radiologische Knochenheilung wurde innerhalb von 6 Monaten nach Revision bei 10 Patienten ermittelt. Der durchschnittliche klinische Outcome gemäß Harris Hip Score lag bei 84 % (sehr gut bei 5 Patienten, gut bei 3 Patienten, mittelmäßig bei 2 Patienten und schlecht bei 1 Patienten). Es verstarben 2 Patienten innerhalb des ersten Monats nach Revisionsoperation infolge einer fulminanten Pneumonie.

Diskussion

Die operative Therapie hüftgelenknaher Frakturen erfordert eine korrekte Indikationsstellung und operative Therapie. Insbesondere die Frakturbehandlung des älteren Patienten mit osteoporotischem Knochen erfordert ein interdisziplinäres Akutkonzept, das die Therapie von Nebenerkrankungen beinhaltet. Biologische Faktoren wie die Durchblutung der Frakturfragmente und biomechanische Faktoren wie die Knochenqualität, die Frakturkonfiguration und die Analyse der Möglichkeit einer anatomischen Reposition müssen beachtet werden. Die Identifizierung des individuell geeigneten Implantats für den jeweiligen Patienten muss unter Berücksichtigung der Frage erfolgen, ob der Patient postoperativ auch in der Lage sein wird, das vorgesehene Nachbehandlungsschema durchzuführen.

ren. Somit sollte das vordringliche Ziel der operativen Behandlung insbesondere beim älteren Patienten die Vermeidung einer längeren Immobilisierung sein. Beim jüngeren Patienten geht die Zielsetzung dagegen in Richtung der Wiedererlangung der Sportfähigkeit und der damit verbundenen Bewältigung eines zum Teil sehr anspruchsvollen Anforderungsprofils an das Implantat hinsichtlich Funktion und Belastbarkeit.

Als biomechanisch überlegen gegenüber dem extramedullären Kraftträger DHS zur Stabilisierung instabiler proximaler Femurfrakturen hat sich die cephalomedulläre Marknagelung erwiesen [31–33]. Wenngleich die Versagensrate dieses Implantats sehr gering ist, so lohnt sich dennoch eine genaue Analyse der wenigen dokumentierten Fälle mit dem Ziel der weiteren Verbesserung der operativen Therapie mit diesem Osteosyntheseverfahren [34].

Die Analyse unserer vorhandenen Daten ergab ein Implantatversagen durchschnittlich 6 Monate postoperativ; dies deckt sich mit den verfügbaren Angaben in der Literatur. Alle bisher dokumentierten Fälle traten nach einem Intervall von mehreren Monaten durchgeführter Vollbelastung auf. Das impliziert, dass die Ursache für das Implantatversagen eine verzögerte Knochenbruchheilung oder eine Pseudarthrose war. Diese kann durch verschiedene Faktoren verursacht worden sein:

1. die initiale inkorrekte Reposition mit Varusabweichung des proximalen Fragments als Hauptursache für den Nagelbruch [35],
2. die Auswahl eines kurzen cephalomedullären Nagels für instabile trochantäre Frakturen mit subtrochantärem Ausläufer, subtrochantäre Frakturen oder reverse intertrochantäre Frakturen,
3. die offene Reposition mit ausgedehnter Devaskularisation der Fragmente oder die vollständige Entfernung des osteoinduktiv wirksamen Frakturhämatoms [34–36],
4. die Nutzung von Cerclagen, welche die Durchblutung des Periosts lageabhängig möglicherweise stören [36–38],
5. ein inkorrekt er Eintrittspunkt des Nagels: Die Auswahl des korrekten Eintrittspunkts an der Spitze des Trochanter major vermeidet eine Varusabweichung genauso wie Scherkräfte. Wenn diese neutralisiert werden können, ist eine sekundäre Dislokation im Grunde

ausgeschlossen. Daher ist die Auswahl des korrekten Eintrittspunkts eine eminent wichtige Voraussetzung, um ein Implantatversagen zu vermeiden [38, 39].

6. Die Beschädigung des Nagels durch inkorrektes Bohren des Lochs für die Schenkelhalschraube (Abb. 2) mit Schwächung des Implantats im Bereich der kritischen sog. Roten Zone, die als Schwachpunkt des Implantats bei Stresskonzentrationen mit Kräften über 1800 Newton identifiziert wurde (Abb. 3) [40].
7. Die Wahl einer zu kurzen Schenkelhalschraube, die sich nicht an der lateralen Kortikalis abstützt und so zu einem Schwingen mit nachfolgender Auslockerung des Konstrukts führen kann (Abb. 4).
8. Die inkorrekte Insertion der Madenschraube zur Verblockung der Schenkelhalschraube, die zu einer Dislokation der Schenkelhalschraube führen kann (Abb. 5).
9. Die Zerstörung des Implantats durch Anwenderfehler als Folge der vorgenannten Punkte [29].

Fazit

Das Versagen intramedullärer Osteosynthesen bei trochantären und subtrochantären Frakturen des Femurs stellt eine schwere Komplikation dar. Im Falle einer verzögerten Frakturheilung oder Pseudarthrose sind zusätzliche operative Maßnahmen wie die Dynamisierung des einliegenden Implantats oder die konsequente operative Revision mit Nagelwechsel und/oder auxiliärer Plattenosteosynthese erforderlich. Die Analyse unserer Patientendaten der letzten 10 Jahre ergab, dass die operative Revision grundsätzlich gute klinische und radiologische Kurzzeitergebnisse zeigt.

Der Nagelbruch ist meist ein Zeichen für ausbleibende knöcherne Konsolidierung und kann in der Regel auf einen Anwenderfehler und fehlende operative Sorgfalt im Detail zurückgeführt werden. Daher erfordert das Einsetzen dieses Implantats eine akkurate präoperative Planung, chirurgische Erfahrung und eine präzise Technik mit anatomischer Reposition der Fragmente, um ein Versagen des Implantats zu vermeiden. 

Interessenkonflikte: Keine angegeben



Abbildung 4 Beispiel eines gebrochenen Gammanagels der 3. Generation (Stryker, Mahwah, NJ, USA): Die Auswahl einer zu kurzen Schenkelhalschraube führt bei fehlender Abstützung an der lateralen Kortikalis zu Schwingungen und damit Auslockerung des gesamten Konstrukts.



Abbildung 5 Wegen der fehlenden Verblockung der Schenkelhalschraube durch die intramedulläre Verriegelungsschraube kommt es zur vollständigen Dislokation der Schenkelhalschraube.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Peter Augat
Institut für Biomechanik
BG Unfallklinik Murnau
Professor-Küntschers-Str. 8
82418 Murnau
biomechanik@bgu-murnau.de

Literatur

1. Augat P, Simon U, Liedert A, Claes L: Mechanics and mechano-biology of fracture healing in normal and osteoporotic bone. *Osteoporos Int* 2005; 16 Suppl 2: S36–43
2. Boussein ML, Seeman E: Quantifying the material and structural determinants of bone strength. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2009; 23: 741–753
3. Trabelsi N, Yosibash Z, Wutte C, Augat P, Eberle S: Patient-specific finite element analysis of the human femur – a double-blinded biomechanical validation. *J Biomech* 2011; 44: 1666–1672
4. Lang TF, Keyak JH, Heitz MW, Augat P, Lu Y, Mathur A, Genant HK: Volumetric quantitative computed tomography of the proximal femur: precision and relation to bone strength. *Bone* 1997; 21: 101–108
5. Silva MJ: Biomechanics of osteoporotic fractures. *Injury* 2007; 38 Suppl 3: S69–76
6. Consensus development conference: prophylaxis and treatment of osteoporosis. *Am J Med* 1991; 90: 107–110
7. Raisz LG: Pathogenesis of osteoporosis: concepts, conflicts, and prospects. *J Clin Invest* 2005; 115: 3318–3325
8. Nyman JS, Roy A, Tyler JH, Acuna RL, Gayle HJ, Wang X: Age-related factors affecting the postyield energy dissipation of human cortical bone. *J Orthop Res* 2007; 25: 646–655
9. Zimmermann EA, Busse B, Ritchie RO: The fracture mechanics of human bone: influence of disease and treatment. *Bonekey Rep* 2015; 4: 743
10. Burstein AH, Reilly DT, Martens M: Aging of bone tissue: mechanical properties. *J Bone Joint Surg Am* 1976; 58: 82–86
11. Zioupos P, Currey JD: Changes in the stiffness, strength, and toughness of human cortical bone with age. *Bone* 1998; 22: 57–66
12. McCalden RW, McGeough JA, Court-Brown CM: Age-related changes in the compressive strength of cancellous bone. The relative importance of changes in density and trabecular architecture. *J Bone Joint Surg Am* 1997; 79: 421–427
13. van den Kroonenberg AJ, Hayes WC, McMahon TA: Hip impact velocities and body configurations for voluntary falls from standing height. *J Biomech* 1996; 29: 807–811
14. von Rden C, Augat P: Failure of fracture fixation in osteoporotic bone. *Injury* 2016; 47 Suppl 2: S3–S10
15. Cummings SR, Melton LJ: Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures. *Lancet* 2002; 359: 1761–1767
16. Cornell CN, Ayalon O: Evidence for success with locking plates for fragility fractures. *HSS J* 2011; 7: 164–169
17. Augat P, Rapp S, Claes L: A modified hip screw incorporating injected cement for the fixation of osteoporotic trochanteric fractures. *J Orthop Trauma* 2002; 16: 311–316
18. Konstantinidis L, Papaioannou C, Blanke P, Hirschmuller A, Sudkamp NP, Helwig P: Failure after osteosynthesis of trochanteric fractures. Where is the limit of osteoporosis? *Osteoporos Int* 2013; 24: 2701–2706
19. Seebeck J, Goldhahn J, Stadel H, Messmer P, Morlock MM, Schneider E: Effect of cortical thickness and cancellous bone density on the holding strength of internal fixator screws. *J Orthop Res* 2004; 22: 1237–1242
20. Seebeck J, Goldhahn J, Morlock MM, Schneider E: Mechanical behavior of screws in normal and osteoporotic bone. *Osteoporos Int* 2005; 16 Suppl 2: S107–111
21. Eschler A, Brandt S, Gierer P, Mittlmeier T, Gradl G: Angular stable multiple screw fixation (Targon FN) versus standard SHS for the fixation of femoral neck fractures. *Injury* 2014; 45 Suppl 1: S76–80
22. Nyholm AM, Palm H, Malchau H, Troelsen A, Gromov K: Lacking evidence for performance of implants used for proximal femoral fractures – a systematic review. *Injury* 2016; 47(3): 586–594
23. Matre K, Vinje T, Havelin LI, Gjertsen JE, Furnes O, Espehaug B, Kjellevoid SH et al.: TRIGEN INTERTIAN intramedullary nail versus sliding hip screw: a prospective, randomized multicenter study on pain, function, and complications in 684 patients with an intertrochanteric or subtrochanteric fracture and one year of follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 2013; 95: 200–208
24. Ruecker AH, Rupperecht M, Gruber M, Gebauer M, Barvencik F, Briem D, Rueger JM: The treatment of intertrochanteric fractures: results using an intramedullary nail with integrated cephalocervical screws and linear compression. *J Orthop Trauma* 2009; 23: 22–30
25. Valverde JA, Alonso MG, Porro JG, Rueda D, Larrauri PM, Soler JJ: Use of the gamma nail in the treatment of fractures of the proximal femur. *Clin Orthop Relat Res* 1998; 350: 56–61
26. Yeganeh A, Taghavi R, Moghtadaei M: Comparing the Intramedullary Nailing Method Versus Dynamic Hip Screw in Treatment of Unstable Intertrochanteric Fractures. *Med Arch* 2016; 70(1): 53–56
27. Weiser L, Ruppel AA, Nchtern JV, Sellschloh K, Zeichen J, Pschel K, Morlock MM et al.: Extra- vs. intramedullary treatment of pertrochanteric fractures: a biomechanical in vitro study comparing dynamic hip screw and intramedullary nail. *Arch Orthop Trauma Surg* 2015; 135(8): 1101–1106
28. Zehir S, Zehir R, Zehir S, Azboy I, Haykir N: Proximal femoral nail antirotation against dynamic hip screw for unstable trochanteric fractures; a prospective randomized comparison. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2015; 41(4): 393–400
29. von Rden C, Hungerer S, Augat P, Trapp O, Bhren V, Hierholzer C: Breakage of cephalomedullary nailing in operative treatment of trochanteric and subtrochanteric femoral fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2015; 135: 179–185
30. Harris WH: Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 1969; 51(4): 737–755
31. Verettas DA, Ifantidis P, Chatzipapas CN, Drosos GI, Xarchas KC, Chloropoulou P, Kazakos KI et al.: Systematic effects of surgical treatment of hip fractures: gliding screw-plating vs intramedullary nailing. *Injury* 2010; 41(3): 279–284
32. Queally JM, Harris E, Handoll HH, Parker MJ: Intramedullary nails for extracapsular hip fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2014; Sept 12; (9): CD004961
33. Aktseis I, Kokoroghiannis C, Fragkomi-chalos E, Koundis G, Deligeorgis A, Daskalakis E, Vlamis J et al.: Prospective randomised controlled trial of an intramedullary nail versus a sliding hip screw for intertrochanteric fractures of the femur. *Int Orthop* 2014; 38(1): 155–161
34. Alvarez DB, Aparicio JP, Fernandez EL, Mgica IG, Batalla DN, Jimnez JP: Implant breakage, a rare complication with the gamma nail. A review of 843 fractures of the proximal femur treated with a gamma nail. *Acta Orthop Belg* 2004; 70(5): 435–443
35. Zafiroopoulos G, Pratt DJ: Fractured Gamma nail. *Injury* 1994; 25(5): 331–336
36. Wozasek G, Radler C, Vecsei V: Multiple gamma nail failure. *Orthopedics* 2002; 25(2): 183–184
37. Yoshino N, Watanabe Y, Tanekaka N, Watanabe N, Fukuda Y, Fujita N, Maruyama N et al.: Implant failure of long Gamma nail in a patient with intertrochanteric-subtrochanteric fracture. *J Orthop Sci* 2006; 11: 638–643
38. Gaebler C, Stanzl-Tschegg S, Tschegg E, Kukla C, Menth-Chiari WA, Wozasek GE, Heinz T: Implant failure of the gamma nail. *Injury* 1999; 30: 91–99
39. Schffel N, Mller M, Pross M, Reuther F: Mediale Dislokation der Schenkelhalschraube bei Gammanagelung ins kleine Becken. *Unfallchirurg* 2012; 115(8): 750–753
40. Eberle S, Gabel J, Hungerer S, Hoffmann S, Ptzold R, Augat P, Bhren V: Auxiliary locking plate improves fracture stability and healing in intertrochanteric fractures fixed by intramedullary nail. *Clin Biomech* 2012; 27(10): 1006–1010