



Fratture peri-impianto al chiodo cefalomidollare di femore: risultati preliminari, valutazione dei fattori di rischio e analisi della letteratura

Peri-implant fractures at the cephalomedullary nail of femur: preliminar results, evaluation of risk factors and analysis of literature

Giorgio Mastromatteo (foto), Damiano Petaccia, Andrea Pantalone, Danilo Bruni, Roberto Buda

Clinica Ortopedica e Traumatologica, Ospedale Clinicizzato SS Annunziata Chieti, Dipartimento di Medicina e Scienze dell'Invecchiamento, Università "G. d'Annunzio", Chieti

Ricevuto: 30 novembre 2020
Accettato: 15 gennaio 2021

Corrispondenza

Giorgio Mastromatteo

Ospedale SS Annunziata, Clinica Ortopedica e Traumatologica, via dei Vestini 6, 66100 Chieti
E-mail: giorgiomastromatteo@gmail.com

Conflitto di interessi

Gli Autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

Come citare questo articolo: Mastromatteo G, Petaccia D, Pantalone A, et al. Fratture peri-impianto al chiodo cefalomidollare di femore: risultati preliminari, valutazione dei fattori di rischio e analisi della letteratura. *Giornale Italiano di Ortopedia e Traumatologia* 2021;47:43-48; <https://doi.org/10.32050/0390-0134-292>

© Copyright by Pacini Editore Srl



OPEN ACCESS

L'articolo è OPEN ACCESS e divulgato sulla base della licenza CC-BY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Riassunto

Introduzione. Scopo di questo studio retrospettivo è quello di valutare i fattori di rischio e le possibili cause di fratture peri-impianto al chiodo cefalomidollare di femore, attraverso un'analisi della letteratura. Inoltre, sono stati valutati gli outcomes clinici e radiografici a un follow-up di 12 mesi.

Materiali e metodi. Nel periodo tra Dicembre 2013 e Dicembre 2019, 820 pazienti con frattura petrocanterica sono stati trattati con chiodo cefalomidollare. In questo studio sono stati inclusi 16 pazienti con successiva frattura peri-impianto. Il tempo medio tra osteosintesi e rifrattura è stato di 107 giorni. Sono stati programmati controlli clinici e radiografici fino a 12 mesi.

Risultati. Nella nostra casistica il tasso di incidenza è stato del 2%. Quindici casi di fratture peri-impianto si sono verificati su chiodo corto (2,1%); 1 caso su chiodo lungo (0,9%). Sette casi si sono verificati su chiodo con bloccaggio distale dinamico (1,8%); 9 casi su chiodo con bloccaggio distale statico (2%). Tre-dici casi si sono verificati su chiodo Zimmer ZNN™ (2,1%); 3 casi su chiodo Stryker Gamma™ (1,9%). A un follow-up di 12 mesi, 8 pazienti hanno ripreso la condizione precedente al trauma; 6 pazienti hanno avuto riduzione accettabile delle capacità motorie; 2 pazienti hanno avuto una inabilità di grado elevato.

Discussione. Il nostro studio suggerisce un rischio maggiore di fratture peri-impianto su chiodo cefalomidollare corto rispetto al chiodo lungo. Il modello di chiodo e il tipo di configurazione non influenzano il rischio di frattura peri-impianto. Saranno necessari eventuali studi multicentrici per confermare questi dati preliminari.

Parole chiave: fratture peri-impianto, fratture petrocanteriche, chiodo cefalomidollare, fattori di rischio, chiodo endomidollare

Summary

Introduction. The purpose of this study is to evaluate the risk factors and possible causes of peri-implant fracture in the cephalomedullary nail of the femur, through the analysis of the literature. In addition, clinical and radiographic outcomes were assessed at a follow-up of 12 months.

Materials and methods. In the period between December 2013 and December 2019, 820 patients with petrochanteric fracture were treated with a cephalomedullary nail. 16 patients with peri-implant fracture were included in this retrospective study. The mean time between osteosynthesis and refracture was 107 days. Clinical and radiographic checkups were scheduled for up to 12 months.

Results. In our series, the incidence rate was 2%. Fifteen cases of peri-implant fractures occurred on short nails (2.1%); 1 case on long nail (0.9%). Seven cases occurred on a nail with dynamic distal locking (1.8%); 9 cases on nail with static distal locking (2%). Thirteen cases occurred on Zimmer ZNN™ nail (2.1%); 3 cases on Stryker Gamma™ nail (1.9%). At a follow-up of 12 months, 8 patients recovered the condition prior to the trauma; 6 patients had acceptable reduction in motor skills; 2 patients had a high degree of disability.

Discussion. Our study suggests that there is a higher risk of peri-implant fractures on the short cephalomedullary nail than on the long nail. The nail model and the type of configuration do not influence the risk of peri-implant fracture. Any multicenter studies will be needed to confirm our data.

Key words: peri-implant fractures, pertrochanteric fractures, cephalomedullary nail, risk factors, intramedullary nail

Introduzione

L'aumentato utilizzo dell'inchiodamento endomidollare per la gestione chirurgica delle fratture laterali del femore prossimale è legato all'introduzione dei chiodi Stryker Gamma™ nella pratica clinica¹. A partire dagli anni '60 la vite-placca a scivolamento (DHS) era considerato l'impianto standard per il trattamento delle fratture pertrocanteriche². Negli ultimi decenni, visti alcuni insuccessi delle DHS nel trattare le fratture instabili, ha preso sempre più piede l'uso di impianti endomidollari^{3,4}. I vantaggi del chiodo endomidollare rispetto all'osteosintesi extra-midollare con placca sono sia di natura biomeccanica (braccio di leva minore del chiodo rispetto alle placche) ma sono anche legati alle minori perdite ematiche, minori tempi chirurgici, minore invasività^{5,6}. Inoltre si ha una più rapida ripresa del carico e una migliore mobilità articolare nei primi mesi dall'intervento rispetto alle placche. L'incremento globale della diffusione dei chiodi è stato accompagnato da un aumento delle complicanze ad esso associato⁷. Tra queste una complicanza considerata nuova ed emergente è rappresentata dalle fratture peri-impianto. Le fratture peri-impianto sono fratture che si verificano in un segmento osseo in cui è presente un mezzo di sintesi utilizzato per trattare una precedente frattura. In letteratura è riportata una incidenza del 1,7% di fratture femorali peri-impianto⁸. Le fratture peri-impianto sono la conseguenza di una combinazione di fattori: fattori di rischio generali, design del mezzo di sintesi e qualità della sintesi. I fattori di rischio generali che aumentano il rischio di frattura peri-impianto sono l'obesità, il fumo di sigaretta, l'osteoporosi, l'ipertiroidismo e l'utilizzo di bifosfonati⁹. La presenza del mezzo di sintesi, sia esso chiodo o placca, causa cambiamenti nell'elasticità dell'osso e crea aree di maggiore stress che aumentano il rischio di frattura peri-impianto. Interessante, come evidenziato in letteratura, è l'impatto del tipo di mezzo di sintesi nell'incidenza di queste fratture; il rischio di fratture peri-impianto è maggiore di 3 volte nelle fratture trattate con chiodo rispetto a quelle trattate con placca DHS¹⁰; la ragione non è chiara ma può essere attribuita alle dimensioni del chiodo e allo stress biomec-

canico alla punta del chiodo. Anche la qualità della sintesi, intesa come qualità della riduzione ottenuta o eventuali errori di posizionamento del mezzo di sintesi possono causare una frattura peri-impianto. La classificazione più utilizzata è una modificazione della classificazione di Vancouver per le fratture peri-protesi (Fig. 1)¹¹. Suddivide le fratture peri-impianto in un tipo 1 quando la frattura interessa la porzione prossimale del femore; un tipo 2 quando la frattura si verifica attorno alla punta del chiodo (IIA trasverse; IIB spiroidi); un tipo 3 quando la frattura interessa le metaepifisi distale del femore. Classificazioni più recenti sono state proposte nel 2019 da Videla-Cès e nel 2018 da Chan^{12,13}. Quest'ultima propone anche un interessante algoritmo terapeutico, prendendo in considerazione non solo il tipo di mezzo di sintesi utilizzato e la posizione della frattura, ma anche lo stato di guarigione della frattura originaria. Scopo del seguente studio è stato analizzare i fattori di rischio e le possibili cause di fratture peri-impianto, attraverso l'analisi della letteratura, nonché valutare gli *outcomes* clinici e radiografici. I risultati ottenuti sono da ritenersi tuttavia preliminari, data l'esiguità della casistica e il follow-up breve.

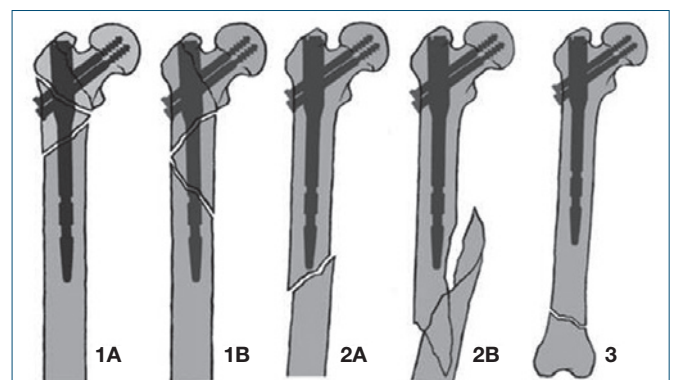


Figura 1. Classificazione di Vancouver “modificata” per le fratture peri-impianto (da Skala-Rosebaum, et al., 2016)¹¹.

Materiali e metodi

Nel periodo compreso tra Dicembre 2013 e Dicembre 2019, 820 pazienti affetti da frattura pertrocanterica di femore sono stati trattati chirurgicamente presso la stessa struttura ospedaliera dalla stessa equipe ortopedica. Le fratture sono state classificate secondo il sistema di classificazione AO: 380 sono state classificate come 31A1, 355 come 31A2, 85 come 31A3¹⁴. In tutti i casi presi in considerazione è stato eseguito un intervento chirurgico di riduzione e osteosintesi con chiodo cefalomidollare. Degli 820 pazienti con frattura pertrocanterica, 708 sono stati trattati con chiodo cefalomidollare corto. In 609 pazienti (86%) è stato impiantato un chiodo cefalomidollare Zimmer ZNN™ (lunghezza 21,5 cm, diametro prossimale 15,5 mm; diametro distale 10 o 11,5 mm; diametro della vita di bloccaggio distale 5 mm; angolo cervico-diafisario 125 o 130°). Nei restanti 99 pazienti (14%) è stato impiantato un chiodo cefalomidollare Stryker Gamma3™ (lunghezza 180 mm; diametro prossimale 15,5 mm; diametro distale 11 mm; diametro della vita di bloccaggio distale 5 mm; angolo cervico-diafisario 125 o 130°). Centododici pazienti per ragioni legate al pattern di frattura, all'estensione sottotrocanterica e alla classificazione, sono stati trattati con chiodo cefalomidollare lungo. In 73 (65%) pazienti è stato impiantato un chiodo cefalomidollare Zimmer ZNN™ lungo (diametro prossimale 15,5 mm; diametro distale 11 mm; diametro della vita di bloccaggio distale 5 mm). In 39 (35%) pazienti è stato impiantato un chiodo cefalomidollare Stryker Gamma3™ long (diametro prossimale 15,5 mm; diametro distale 11 mm; diametro della vita di bloccaggio distale 5 mm). In entrambi i casi la lunghezza del chiodo è stata decisa intraoperatoriamente dopo misurazione con apposito strumentario. In tutti i casi è stato eseguito un bloccaggio distale del chiodo cefalomidollare. In 430 pazienti è stato eseguito un bloccaggio distale in configurazione dinamica. In 390 pazienti è stato eseguito un bloccaggio distale in configurazione statica. La scelta di utilizzare un bloccaggio statico o dinamico è stata presa in considerazione della stabilità della frattura e del tipo di chiodo utilizzato. In tutti i chiodi lunghi è stato eseguito un bloccaggio statico. Inoltre, in tutte le fratture considerate "instabili" si è optato per un bloccaggio in configurazione statica anche con chiodo cefalomidollare corto. Le restanti fratture trattate con chiodo cefalomidollare corto sono state bloccate distalmente in configurazione dinamica perché considerate "stabili". In questo studio retrospettivo sono stati inclusi 16 pazienti, affetti da frattura peri-impianto, classificati come tipo IIA o tipo II B secondo una rivisitazione della classificazione di Vancouver. Tutte le fratture peri-impianto si sono verificate a seguito di un trauma bassa energia (caduta accidentale). Tredici pazienti sono stati sottoposti a intervento di riduzione e osteosintesi con

placca e viti; mentre negli altri 3 pazienti il chiodo corto è stato sostituito con chiodo lungo. Dei 16 pazienti, 10 sono di sesso femminile, 6 di sesso maschile. L'età media è di 81,6 anni (minimo 76; massimo 89). Il tempo medio tra l'osteosintesi primaria e la successiva frattura peri-impianto è stata di 107 giorni (intervallo 1-289 giorni). Ciascun paziente è stato sottoposto nel preoperatorio a una valutazione anamnestica, a un esame obiettivo, a una valutazione clinica e ad esami strumentali. Nella fase successiva alla degenza ospedaliera, sono stati programmati controlli clinici e radiografici a 1, 3, 6 e 12 mesi. Nella casistica non sono stati inseriti 2 casi di fratture peri-impianto, ricoverate e trattate presso la nostra struttura, la cui frattura originaria era stata trattata presso altro nosocomio. Entrambi i casi si riferiscono a fratture peri-impianto verificatesi su chiodo con design biassiale.

Risultati

Di tutte le 820 fratture pertrocanteriche, ci sono stati 16 casi di frattura peri-impianto, con un tasso di incidenza del 2%. Quindici casi di fratture peri-impianto si sono verificate su chiodo corto, di cui 12 su chiodo Zimmer ZNN™ e 3 su chiodo Stryker Gamma3™, evidenziando una prevalenza del 2,1%. Un solo caso di frattura peri-impianto si è verificato su chiodo lungo, di tipo Zimmer ZNN™, evidenziando una prevalenza dello 0,9% (Tab. I). Sette casi di frattura peri-impianto si sono verificati su chiodo con bloccaggio distale in configurazione statica (1,8%); 9 casi di frattura peri-impianto si sono verificati su chiodo con bloccaggio distale in configurazione dinamica (2%) (Tab. II). Tredici casi di frattura peri-impianto si sono verificati su chiodo Zimmer ZNN™ (2,1%). Tre casi su chiodo Stryker Gamma3™

Tabella I. Prevalenza di fratture peri-impianto in relazione alla lunghezza del chiodo.

	Numero di pazienti	Numero di fratture peri-impianto
Chiodo corto	708	15 (2,1%)
Chiodo lungo	112	1 (0,9%)

Tabella II. Prevalenza di fratture peri-impianto in relazione al tipo di bloccaggio distale.

	Numero di pazienti	Numero di fratture peri-impianto
Bloccaggio statico	390	7 (1,8%)
Bloccaggio dinamico	430	9 (2%)

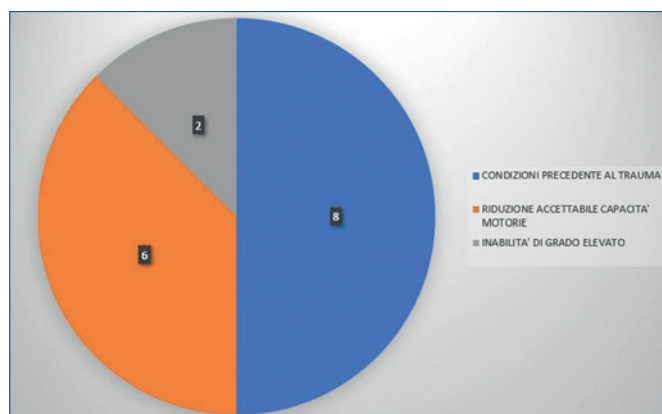
Tabella III. Prevalenza di fratture peri-impianto in relazione al modello di chiodo.

	Numero di pazienti	Numero di fratture peri-impianto
ZNN	682	13 (2,1%)
Gamma	138	3 (1,9%)

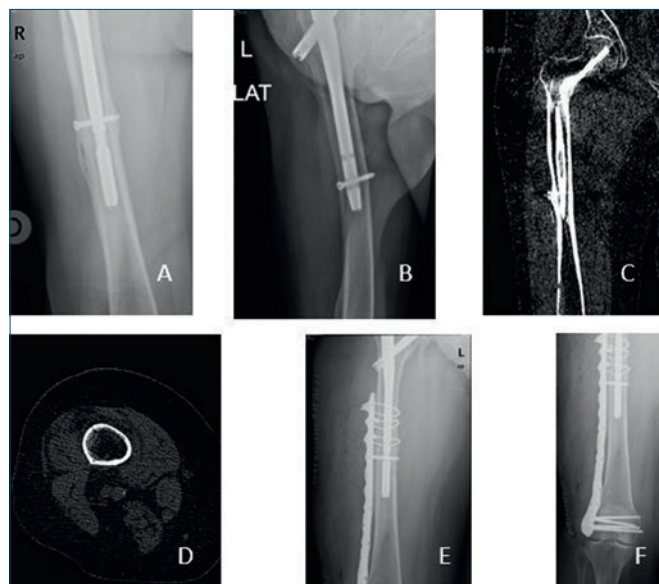
(1,9%) (Tab. III). Tutte le fratture sono andate incontro a consolidazione. Non si sono verificate complicanze come infezioni, pseudoartrosi o perdite ematiche significative. A un follow-up medio di 12 mesi, 8 pazienti hanno ripreso la condizione precedente al trauma; 6 pazienti hanno avuto riduzione accettabile delle capacità motorie; 2 pazienti hanno avuto una inabilità di grado elevato (Fig. 2).

Discussione e conclusioni

La letteratura è ancora controversa sulle cause e i fattori che predispongono a questa tipologia di fratture. I vecchi design dei chiodi cefalomidollari erano associati a un rischio inaccettabile di fratture peri-impianto¹⁵. Questo era legato a un impianto troppo rigido e ingombrante, a un posizionamento troppo periferico della vite di bloccaggio distale e ad una non coincidenza del raggio di curvatura del chiodo con quello del femore. Per questo motivo negli anni sono state apportate una serie di modifiche ai design dei chiodi che hanno comportato una significativa riduzione del rischio di frattura peri-impianto. Queste modifiche consistevano nell'utilizzo di materiali più flessibili, modifiche del raggio di curvatura, posizionamento più prossimale della vite di bloccaggio distale, steli conici, viti di bloccaggio di diametro minore. Dalla letteratura si evince come queste caratteristiche, oggetto di

**Figura 2.** Recupero capacità motorie a 12 mesi.

successive modifiche, in associazione ai micromovimenti del chiodo dentro il canale midollare, creino delle concentrazioni di stress che portano all'erosione della corticale femorale, che di conseguenza aumenta il rischio di frattura peri-impianto anche a seguito di traumi di lieve entità⁷. Altri Autori hanno descritto un'ipertrofia della corticale come risultato della concentrazione di stress che porta al rischio di fratture femorali^{16,17} (Fig. 3). Anche se la maggior parte della letteratura sostiene che non ci sia una differenza significativa tra chiodo corto e chiodo lungo nel provocare una frattura peri-impianto^{18,19}, nella nostra casistica è emersa una maggiore prevalenza di fratture peri-impianto in seguito all'uso di chiodo corto; questo dato è linea con un lavoro di Touseonudis et al. pubblicato nel 2015 in cui è stato evidenziato un rischio maggiore di fratture peri-impianto dopo l'utilizzo di chiodi corti⁷. Tuttavia, sono necessarie ulteriori conferme per giustificare un eventuale maggiore utilizzo del chiodo lungo, anche a causa dei suoi svantaggi (tempi chirurgici più lunghi; chirurgia di revisione più complessa; costo maggiore; maggiore sanguinamento). Per questo motivo resta limitata l'indicazione del chiodo lungo alle fratture prossimali instabili con estensione sottotrocanterica o a obliquità inversa²⁰. Relativamente al modello di chiodo e al tipo di configurazione del bloccaggio distale dalla nostra casistica non si evidenziano differenze significative.

**Figura 3.** Descrizione di un caso incluso nella casistica. (A, B) Radiografia dopo trauma da caduta, refertata come "aspetto slamiato della corticale". (B, C) TC: frattura spiroide composta. (D, E) Trattamento della frattura con placca e stabilità angolare, viti e cerchiaggi.

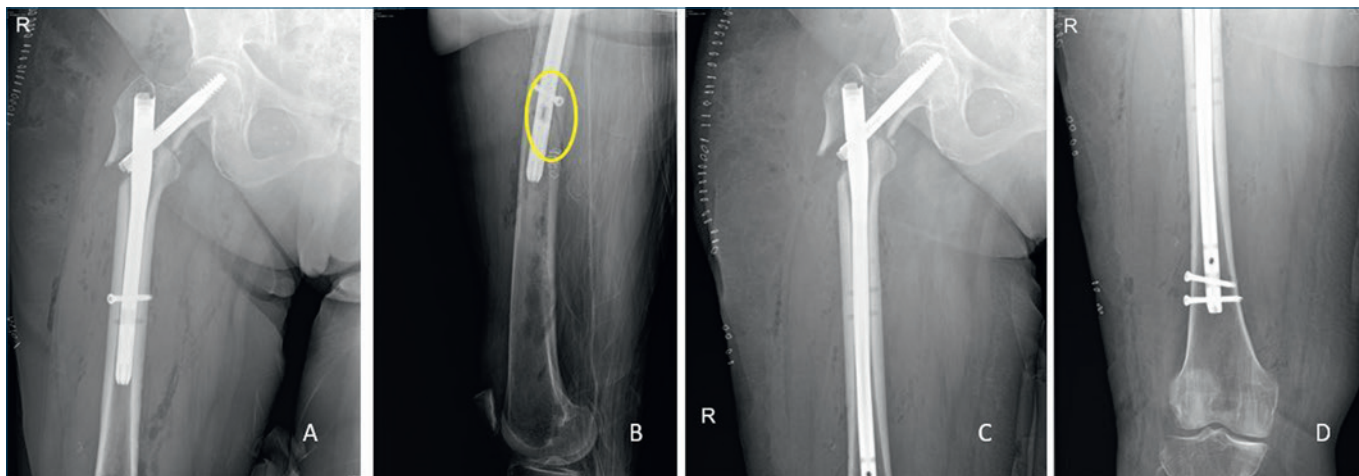


Figura 4. Descrizione di un caso incluso nella casistica. (A, B) Frattura peri-impianto verificatasi su foro per vite di bloccaggio distale non utilizzato. (C, D) Trattamento della frattura mediante sostituzione del chiodo corto con chiodo lungo.

In letteratura non sono presenti studi che valutano questi aspetti. Accertato in letteratura è il ruolo della vite cefalica nel rischio di insorgenza di fratture peri-impianto; un posizionamento troppo craniale aumenta lo stress sulla porzione prossimale del femore aumentando il rischio di frattura peri-impianto^{21,22}. Inoltre, è stata evidenziata una maggiore incidenza di fratture peri-impianto nei chiodi corti con fissazione monoassiale rispetto alla fissazione biassiale, in quanto nella fissazione biassiale una delle due viti mantiene inevitabilmente una posizione più caudale riducendo lo stress al femore prossimale. Controverso è il ruolo del bloccaggio distale²³. Sembra che non bloccare un chiodo aumenta il rischio di frattura peri-impianto, a causa dei micromovimenti alla punta del chiodo che indeboliscono la corticale femorale esponendola a rischio maggiore di fratture²⁴. Tuttavia, Simmermacher et al. hanno sottolineato il rischio associato a un impreciso dispositivo di puntamento, che può portare a un indebolimento del femore e ad un aumentato stress alla testa della vite di bloccaggio²⁵. Il foro creato e non utilizzato si comporta come un luogo di minore resistenza nella diafisi femorale, provocandone la frattura (Fig. 4). In conclusione, le fratture peri-impianto sono provocate dagli effetti del chiodo cefalomidollare sull'osso e/o dagli errori tecnici nell'impianto del mezzo di sintesi. Il nostro studio suggerisce che si ha un rischio maggiore di fratture peri-impianto su chiodo cefalomidollare corto rispetto al chiodo lungo.

Il modello di chiodo e il tipo di configurazione non influenzano il rischio di frattura peri-impianto. La nostra casistica è omogenea, ma non ampia e dai risultati a breve termine; pertanto saranno necessari ulteriori studi multicentrici per confermare l'esperienza acquisita.

Bibliografia

- 1 Bridle SH, Patel AD, Calvert PT, et al. Fixation of intertrochanteric fractures of the femur. A randomized prospective comparison of the Gamma nail and the Dynamic hip screw. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73:330-4. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.73B2.2005167>
- 2 Evans EM. The treatment of trochanteric fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Br* 1949;31B:190-203.
- 3 Simpson AH, Varty K, Dodd CA. Sliding hip screws: modes of failure. *Injury* 1989;20:227-31. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(89\)90120-4](https://doi.org/10.1016/0020-1383(89)90120-4)
- 4 Radford PJ, Needorf M, Webb JK. A prospective randomised comparison of the dynamic hip screw and the Gamma locking nail. *J Bone Joint Surg Br* 1993;75:789-93. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.75B5.8376441>
- 5 Cavenago C, Prestianni C. Decision making for early weight bearing in pertrochanteric fractures. *Giornale Italiano di Ortopedia e Traumatologia* 2010;36:25-35.
- 6 Rosenblum SF, Zuckerman JD, Kummer FJ, et al. A biomechanical evaluation of the Gamma nail. *J Bone Joint Surg Br* 1992;74:352-7. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.74B3.1587875>
- 7 Tosounidis TH, Castillo R, Kanakaris NK, et al. Common complications in hip fracture surgery: Tip/tricks and solutions to avoid them. *Injury* 2015;46 Suppl 5:S3-11. Epub 2015 Aug 19. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.08.006>
- 8 Norris R, Bhattacharjee D, Parker MJ. Occurrence of secondary fracture around intramedullary nails used for trochanteric hip fractures: a systematic review of 13,568 patients. *Injury*. 2012;43:706-11. Epub 2011 Dec 3. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.10.027>
- 9 Shamma A, Abd-Elghany T, Barakat M. Risk factors for peri-implant fractures. *Nat Sci* 2017;15:79-82J. <https://doi.org/10.7537/marsnsj150117.09>

- ¹⁰ Muller F, Galler M, Zellner M, et al. Peri-implant femoral fractures: the risk is more than three times higher within PFN compared with DHS. *Injury* 2016;47:2189-94. Epub 2016 May 7. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.04.042>
- ¹¹ Skala-Rosebaum J, Dzupa V, Bartoska R, et al. Distal locking in short hip nails: cause or prevention of peri-implant fractures? *Injury* 2016;47:887-92. Epub 2016 Feb 23. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.02.009>
- ¹² Videla-Ces M, Sales-Perez JM, Sanchez-Naves R, et al. Proposal for the classification of peri-implant femoral fractures: retrospective cohort study. *Injury* 2019;50:758-63. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.10.042>
- ¹³ Chan LWN, Gardner AW, Wong MK, et al. Non prosthetic peri-implant fractures: classification, management and outcomes. *Arch Orthop Trauma Surg* 2018;138:791-802. Epub 2018 Mar 12. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-2905-1>
- ¹⁴ Association Committee for Coding and Classification. Fracture and dislocation compendium. *J Orthop Trauma* 1996;10 Suppl 1:v-ix, 1-154.
- ¹⁵ Bhandari M, Schemitsch E, Jonsson A, et al. Gamma nail revisited: gamma nails versus compression hip screws in the management of intertrochanteric fractures of the hip: a meta analysis. *J Orthop Trauma* 2009;23:460-4. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318162f67f>
- ¹⁶ Robinson CM, Adams CI, Doward W, et al. Implant-related fracture of the femur following hip fracture surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84:1116-22. <https://doi.org/10.2106/00004623-200207000-00004>
- ¹⁷ Lorich DG, Geller DS, Nielson JH. Osteoporotic pertrochanteric hip fractures. Management and current controversies. *Instr Course Lect* 2004;53:441-54.
- ¹⁸ Kleweno C, Morgan J, Redshaw J, et al. Short versus long cephalomedullary nails for the treatment of intertrochanteric hip fractures in patients older than 65 years. *J Orthop Trauma* 2014;28:391-7. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000036>
- ¹⁹ Hou Z, Bowen TR, Irgit KS, et al. Treatment of pertrochanteric fractures (OTA 31-A1 and A2): long versus short cephalomedullary nailing. *J Orthop Trauma* 2013;27:318-24. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e31826fc11f>
- ²⁰ Kanakaris NK, Tosounidis TH, Giannoudis PV. Nailing intertrochanteric hip fractures: short versus long; locked versus nonlocked. *J Orthop Trauma* 2015;29 Suppl 4:S10-6. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000286>
- ²¹ Loch DA, Kyle RF, Bechtold JE, et al. Forces required to initiate sliding in second generation intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:1626-31. <https://doi.org/10.2106/00004623-199811000-00009>
- ²² Helwig P, Faust G, Hindenlang U, et al. Finite element analysis of four different implants inserted in different positions to stabilize an idealized trochanteric femoral fracture. *Injury* 2009;40:288-95. Epub 2009 Feb 25. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.08.016>
- ²³ Saarenpää I, Heikkinen T, Ristiniemi J, et al. Functional comparison of the dynamic hip screw and the Gamma locking nail in trochanteric hip fractures: a matched-pair study of 268 patients. *Int Orthop* 2009;33:255-60. <https://doi.org/10.1007/s00264-007-0458-y>
- ²⁴ Simmermacher RK, Bosch AM, Van der Werken C. The AO/ASIF proximal femoral nail (PFN): a new device for the treatment of unstable proximal femoral fractures. *Injury* 1999;30:327-32. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(99\)00091-1](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(99)00091-1)