



Le fratture diafisarie del femore

Michele Mazzi^{1,a} (✉), Andrea Micaglio², Roberto Schiavon¹

¹UOS Ortopedia e Traumatologia Pediatrica, Ospedale S. Bortolo, Vicenza, Italia

²UOS Ortopedia e Traumatologia, Policlinico Abano Terme, Abano Terme, PD, Italia

^amichele.mazzi@aulss8.veneto.it

ABSTRACT – FEMORAL SHAFT FRACTURE IN CHILDREN

Paediatric femoral shaft fractures account for less than 2% of all fractures in children. Modalities of treatment vary mostly according to age, with fracture pattern and site having a lesser impact. There appears to be some consensus in that the method we choose must lead to shortening the hospital stay, be comfortable for the patient, provide suitable stability to the fracture and have less complications. Trends in treatment have varied over time. Significant complications are relatively rare. Because of the limited rotational remodelling it is important to avoid malrotation.

Publicato online: 17 ottobre 2018

© Società Italiana Ortopedici Traumatologi Ospedalieri d'Italia 2018

Introduzione

Le fratture diafisarie di femore costituiscono l'1,4–1,7% delle fratture in età pediatrica [1, 2], con rapporto M:F = 2,6:1 [3]. Rappresentano il 69% delle fratture di femore [4]. È stata descritta una distribuzione bimodale con un primo picco nell'età 1–3 anni, generalmente per traumi a bassa energia, seguito da un secondo picco nell'adolescenza per traumi ad alta energia [4, 5]. Vengono riportati alti tassi di maltrattamento entro i 3 anni di vita (fino all'80% entro i 12 mesi di età), per cui è fondamentale un alto indice di sospetto [6, 7]. Fratture a seguito di trauma minore possono essere risultato di un processo patologico sottostante (malattie metaboliche dell'osso, osteopenia, neoplasie).

Classificazione

Per le fratture diafisarie di femore in età pediatrica non esiste ancora una classificazione universalmente accettata [8]. Generalmente ne viene utilizzata una di tipo descrittivo: tipo di rima (trasversa/spiroide/obliqua), grado di comminuzione, integrità dei tessuti molli (chiusa/esposta).

Secondo la Classificazione delle fratture in età pediatrica dell'AO (*Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen*) le diafisarie di femore (32-D) possono essere categorizzate in semplici, suddivise in 32-D 4.1 (trasversa con inclinazione della rima $\leq 30^\circ$) e 32-D 5.1 (obliqua o spirale con inclinazione $> 30^\circ$), o multiframmentarie, suddivise in 32-D 4.2 (con inclinazione della rima $\leq 30^\circ$) o 32-D 5.2 (con inclinazione $> 30^\circ$).

Trattamento

La diafisi del femore presenta un buon potenziale di rimodellamento. Ne deriva che deformità anche significative, dipendentemente dell'età, possono considerarsi accettabili (Tabella 1).

La decisione sul tipo di trattamento, chirurgico o conservativo, dipende principalmente dall'età del paziente e dal tipo di frattura. Fattori secondari nella scelta sono eventuali lesioni associate, peso del paziente e familiarità del chirurgo con le differenti tecniche [9, 10].

Nella Tabella 2 vengono riportati i moderni orientamenti per questo tipo di fratture, in accordo con le linee guida AAOS [10].

Gesso pelvipodalico

Il gesso pelvipodalico rappresenta il trattamento di scelta per le fratture diafisarie in bambini entro i 6 anni, esclusi i casi di accorciamento superiore ai 2 cm o sofferenza dei tessuti molli [11, 12]. Il gesso può essere confezionato fin da subito (*immediate SPICA*), oppure dopo qualche giorno (*early SPICA*). Cassinelli et al. [13], analizzando le radiografia a termine di 145 fratture diafisarie di femore, trattate in urgenza con gesso pelvipodalico, hanno riportato risultati entro il range di tolleranza nel 100% dei pazienti entro i 2 anni di età e dell'86,5% nei pazienti entro i 7 anni.

In letteratura non esiste chiaro consenso sulla posizione dell'anca e del ginocchio all'interno del gesso. La flessione del ginocchio oltre i 60° permette un miglior controllo della rotazione e della lunghezza [14]. Sono riportati ottimi risultati

in posizione 90/90 (90° di flessione con abduzione 30° delle anche e 90° di flessione del ginocchio) [15, 16]. Con queste caratteristiche, il gesso permette un facile trasporto e il facile mantenimento di una posizione seduta. Tuttavia, alcuni autori [17] hanno evidenziato per questi gradi di flessione il rischio di sindrome compartimentale e di lesioni da decubito. Come riportato in una recente revisione Cochrane, la posizione di sicurezza per l'anca è 30° di abduzione, 30–40° di flessione e rotazione esterna [18]. Esiste la possibilità di posizionare un filo di trazione da incorporare nel gesso. Va segnalato che, poiché la maggior parte delle fratture tendono a scomporsi in valgo, una deformità iniziale in varismo è più tollerabile [9].

Per i limiti di tolleranza in gesso si rimanda alla Tabella 1, segnalando che in una recente revisione di Tisherman et al. sono stati leggermente modificati con valori di accorciamento accettabili di 17–18 mm entro i 10 anni d'età e 12–14 mm in età puberale [19].

Dopo il confezionamento del gesso è consigliabile tenere il paziente in osservazione per circa 24 ore al fine di poter identificare tempestivamente sindrome compartimentale o deficit vascolo-nervosi periferici [9]. A seconda dell'età il periodo di immobilizzazione varia da 3 a 6 settimane [9].

Tabella 1 Vengono riportati i limiti di tolleranza delle deformità

Età	Accorciamento	P. sagittale	P. frontale	P. assiale
0–6 mesi	<1,5 cm	<30°	<30°	<10°
6 mesi – 5 anni	<2 cm	<20°	<15°	<10°
6–10 anni	<1,5 cm	<15°	<10°	<10°
>10 anni	<1 cm	<10°	<5°	<10°

Tabella 2 Trattamenti consigliati e trattamenti alternativi. FE, fissatore esterno; FIN, chiodi elastici endomidollari; *Vedi Tabella 1 per limiti di tolleranza

Età	Trattamento consigliato	Trattamento alternativo
0–6 mesi	Gesso pelvipodalico	Tutore Pavlik
6 mesi – 2 anni	Gesso pelvipodalico*	Trazione/Gesso pelvipodalico
2–5 anni	Gesso pelvipodalico*	Trazione/Gesso pelvipodalico FE FIN
5–11 anni	<45 kg FIN >45 kg chiodo endomidollare rigido (ingresso trocanterico)	Trazione/Gesso pelvipodalico FE Placca e viti
>12 anni	Chiodo endomidollare rigido (ingresso trocanterico)	FIN FE Placca e viti

Tutore Pavlik

Il tutore di Pavlik, applicato con anche moderatamente abdotte e flesse, rappresenta una possibile scelta entro i 12 mesi [20]. Podewza et al. [21] hanno riscontrato in questo gruppo di pazienti risultati radiografici al termine sovrapponibili al gesso pelvipodalico con un minor tasso di complicanze cutanee. Richiede un frequente controllo clinico. Non vi è certezza che il bambino, specialmente nei primi tempi, non senta dolore data la mobilità preservata.

Trazione seguita da gesso pelvipodalico

Quando si verifica una frattura instabile con accorciamento e si decide per il trattamento conservativo, il risultato migliore si ottiene con la trazione a letto seguita da gesso, come descritto da Briant [22]. Bisogna esser comunque consapevoli dell'impegno assistenziale che comporta questo trattamento. Nella tecnica originale è descritta trazione verticale con anche a 90° e ginocchia estese. A causa del rischio di complicanze vascolari è stata proposta da Ferry et al. [23] una trazione con flessione delle ginocchia di 45°. La trazione può essere sia cutanea che transcheletrica; la seconda è preferibile quando eccede i 2,3 kg, al fine di evitare lesioni cutanee [24]. Nel caso di posizionamento di filo transcheletrico è consigliato il posizionamento al femore distale in direzione medio-laterale, sotto controllo scopico, circa un centimetro prossimamente alla fisi distale. La trazione va mantenuta a seconda dell'età da 2 a 3 settimane prima del confezionamento del gesso pelvipodalico [9]. Non esiste evidenza della superiorità del trattamento conservativo con gesso pelvipodalico dopo trazione rispetto al semplice gesso pelvipodalico eseguito fin da subito in caso di fratture diafisarie con accorciamento superiore ai 2 cm nella fascia d'età tra 6 mesi e 5 anni.

Fig. 1 - Caso di frattura al terzo medio-prossimale della diafisi di femore in paziente di 5 anni trattata con chiodi endomidollari elastici (per via retrograda). Le immagini mostrano la completa guarigione a 2 mesi dalla frattura. Controllo radiografico finale dopo rimozione



Chiodi endomidollari elastici

Sviluppati dal gruppo di Nancy [25], rappresentano ad oggi il mezzo di sintesi preferito per il trattamento delle fratture diafisarie nei bambini con età compresa tra 5 e 11 anni [9, 26, 27]. Biomeccanicamente consentono una stabilità relativa con conseguente guarigione del callo osseo di tipo indiretto. Il diametro del chiodo corrisponde idealmente ai 2/5 del diametro del canale midollare [9].

La tecnica usuale prevede un'introduzione retrograda tramite 2 piccole incisioni eseguite prossimalmente alla fisi distale. Prima dell'introduzione i 2 chiodi vengono pre-modellati con una curvatura (a "C") in modo che l'apice della stessa vada a cadere in corrispondenza della frattura una volta inseriti (Fig. 1) [28]. Frik e collaboratori hanno riportato che la configurazione a doppia C retrograda presenta stabilità torsionale maggiore rispetto all'anterograda a C o a quella a S [29]. Tuttavia, la protrusione dei fili in prossimità del ginocchio giustifica l'alto tasso di complicanze locali come rigidità, sofferenza dei tessuti molli o dolore [30, 31].

È stata trovata una correlazione sfavorevole tra peso oltre i 45 kg e comparsa di complicanze [32] e, come dimostrato da Canavese et al., il rischio di complicanze aumenta in maniera statisticamente significativa oltre i 55 kg.

Negli ultimi anni in Italia il titanio è stato preferito all'acciaio, per la maggior flessibilità e per la più facile reperibilità. Secondo alcuni autori presenta minor rischio di mobilitazione [33].

Fissatore esterno

L'utilizzo del fissatore esterno per le fratture diafisarie si è ridotto nel corso degli ultimi decenni a favore di altri mezzi di sintesi. Rappresenta comunque un valido mezzo di sintesi. Rimane il trattamento di scelta in caso di sofferenza dei tessuti molli, fratture esposte e come prima linea di trattamento nei politraumi (*Damage Control Orthopaedics*). Rappresenta inoltre una possibile scelta in caso di fratture che interessino le estremità della diafisi [9]. Bar-On et al., confrontando questo trattamento con i chiodi endomidollari elastici, hanno riscontrato maggior tempo di convalescenza e minor forza muscolare a 14 mesi [34].

La sofferenza cutanea dei tramiti delle fiches si verifica fino al 72% dei casi [35], anche se esiste molta discrepanza negli studi in letteratura. Infezioni profonde con interessamento dell'osso hanno un'incidenza del 4%. Altre complicanze sono la rigidità e il rischio di rifrattura [36, 37]. La durata del trattamento varia tra i 3 e i 4 mesi e dipende dalla formazione del callo osseo; in generale non deve esser rimosso fin-

ché non è visibile callo osseo su 3 corticali in 2 proiezioni radiografiche ortogonali [38].

Placca e viti

Le placche permettono una sintesi rigida. La loro indicazione è molto limitata in età pediatrica e va riservata a casi nei quali non può essere applicata nessuna delle altre tecniche. Risultano utili principalmente quando la frattura interessa le estremità della diafisi. Ad esempio, le placche sviluppate da qualche anno per il femore prossimale risultano molto utili per stabilizzare eventuali fratture associate del collo/testa femore. Svantaggi sono le difficoltà tecniche di posizionamento, quelle legate alla rimozione dei mezzi di sintesi e il rischio di sanguinamento [39–42].

Chiodo endomidollare rigido

L'inchiodamento endomidollare rigido rappresenta il trattamento di scelta nelle fratture al di sopra dei 12 anni [10]. Fino ad alcuni anni fa questa metodica era stata criticata e da molti abbandonata a causa del rischio di necrosi della testa femorale (NTF) legato alla tecnica di introduzione attraverso la fossetta del piriforme e del rischio di danneggiamento delle fisi [43]. Una revisione sistematica che ha compreso 19 studi con 458 fratture di femore in soggetti in accrescimento trattati con chiodo endomidollare ha riportato che l'incidenza di NTF era 2,0% con accesso alla fossetta del piriforme, 1,4% con accesso all'apice del gran trocantere e 0,0% con accesso laterale al gran trocantere [44]. Pertanto, grazie allo sviluppo di chiodi endomidollari con ingresso trocanterico, di diametro inferiore rispetto a quelli per l'adulto, si è osservato un netto incremento del loro utilizzo nei pazienti adolescenti.

Complicanze

La dismetria rappresenta la complicanza più frequente. Mediamente si osserva un iperaccrescimento di 0,9 (0,4–2,5) cm. Questo valore giustifica i limiti di tolleranza delle scomposizioni riportati nella Tabella 1. Sebbene non sia stata ancora identificata con esattezza la causa, esistono fattori predisponenti quali la giovane età, rima obliqua e comminuta e localizzazione prossimale della frattura [9]. L'iperaccrescimento tende a manifestarsi principalmente entro i primi 18 mesi dopo la frattura [45].

Le deformità angolari rappresentano una possibile complicanza. Il rimodellamento della diafisi femorale avviene più velocemente per deformità sul piano sagittale rispetto a quelle sul piano frontale. Questo giustifica i maggiori limiti di tolleranza che si osservano in letteratura (Tabella 1) [19]. Si segnala che anche la tibia può presentare vizioso accrescimento, tipicamente un genu recurvatum, come conseguenza di una trazione eccessiva o a causa di un danneggiamento della porzione anteriore della cartilagine di accrescimento

per un posizionamento del filo di Kirschner troppo vicino alla fisi. Le deformità torsionali si verificano circa in un terzo dei pazienti trattati conservativamente, generalmente con antiversione del frammento prossimale [46]. Non è chiaro il potenziale di rimodellamento delle malrotazioni. Va comunque segnalato che non esistono studi prospettici che abbiano correlato specificatamente tali deformità con l'effettivo allineamento/dismetria a fine accrescimento [19].

Pseudoartrosi e ritardo di consolidazione rappresentano un evento raro. La velocità di guarigione varia con età, sofferenza dei tessuti molli e tipo di trattamento adottato. Nel neonato generalmente si forma un callo solido in circa 2–3 settimane, mentre oltre i 15 anni sono necessari 3 mesi. Il tasso maggiore di pseudoartrosi si verifica nelle fratture esposte. Nel caso di esposizione tipo 3, vengono inoltre riportati tassi di osteomielite vicini al 50%.

La sindrome compartimentale, seppur rara, non va dimenticata data la drammaticità del quadro clinico e l'entità delle possibili sequele. Tumefazione della coscia e comparsa di segni di sospetto dovrebbero esser sempre valutati con attenzione. Alcuni autori hanno imputato l'insorgenza di sindrome compartimentale a eccessiva trazione transcheletrica [47] e, in caso di trazione, al cerotto [48].

Danni alle strutture vascolari si verificano raramente, in meno dell'1,5% dei casi. Le fratture del terzo distale di femore sono quelle che in caso di scomposizione possono determinare lesioni arteriose [49, 50]. La valutazione del polso periferico è importante sia alla presentazione che durante il trattamento. Le lesioni neurologiche possono verificarsi a causa del trauma o su base iatrogena nelle manovre di riduzione. In caso di danno neurologico l'utilizzo di ortesi e la mobilizzazione passiva sono fondamentali fin da subito per ridurre il rischio di contratture. Talvolta rappresentano l'unico trattamento, dato che maggior parte delle lesioni minori hanno buona prognosi, con ottimi potenziali di recupero [51].

Conclusioni

Nel corso degli ultimi decenni si è osservato un rapido cambiamento del trattamento di queste fratture: la soluzione chirurgica è diventata un'opzione valida anche in età infantile precoce dopo l'introduzione dei chiodi elastici endomidollari; grazie a mezzi di sintesi dedicati, l'età adolescenziale non preclude all'utilizzo del chiodo endomidollare rigido. Le complicanze sono poco frequenti: un'eterometria finale oltre i 2 cm è rara; le deformità torsionali solitamente non regrediscono a fine crescita e questo va tenuto presente nel momento della riduzione e contenzone/osteosintesi.

È necessario rimarcare che in età evolutiva si modificano le caratteristiche morfopatologiche di queste fratture: l'ortopedico deve essere in grado di utilizzare il trattamento adatto “per quel femore in quell'età”, senza affezionarsi solo a una tecnica forzandone le indicazioni.

CONFLITTO DI INTERESSE Gli autori Michele Mazzi, Andrea Micaglio e Roberto Schiavon dichiarano di non avere alcun conflitto di interesse.

CONSENSO INFORMATO E CONFORMITÀ AGLI STANDARD ETICI Tutte le procedure descritte nello studio e che hanno coinvolto esseri umani sono state attuate in conformità alle norme etiche stabilite dalla dichiarazione di Helsinki del 1975 e successive modifiche. Il consenso informato è stato ottenuto da tutti i pazienti inclusi nello studio.

HUMAN AND ANIMAL RIGHTS L'articolo non contiene alcuno studio eseguito su esseri umani e su animali da parte degli autori.

Bibliografia

- Sahlin Y (1990) Occurrence of fractures in a defined population: a 1-year study. *Injury* 21(3):158–160
- McCartney D, Hinton A, Heinrich SD (1994) Operative stabilization of pediatric femur fractures. *Orthop Clin N Am* 25(4):635–650
- Rewers A, Hedegaard H, Lezotte D et al (2005) Childhood femur fractures, associated injuries, and sociodemographic risk factors: a population-based study. *Pediatrics* 115(5):e543–e552
- Joeris A, Lutz N, Blumenthal A et al (2016) The AO Pediatric Comprehensive Classification of long bone Fractures (PCCF), part II. *Acta Orthop*. <https://doi.org/10.1080/17453674.2016.1258533>
- Daly KE, Calvert PT (1991) Accidental femoral fracture in infants. *Injury* 22(4):337–338
- Blakemore LC, Loder RT, Hensinger RN (1996) Role of intentional abuse in children 1 to 5 years old with isolated femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 16(5):585–588
- Coffey C, Haley K, Hayes J, Groner JI (2005) The risk of child abuse in infants and toddlers with lower extremity injuries. *J Pediatr Surg* 40(1):120–123
- John R, Sharma S, Raj GN et al (2017) Current concepts in paediatric femoral shaft fractures. *Open Orthop J* 11(Suppl 2):353–364
- Flynn JM, Skaggs D (2014) Femoral shaft fractures. In: Flynn JM, Skaggs D, Waters P (eds) *Rockwood & Wilkins' fractures in children*. Wolters Kluwer, Philadelphia, pp 987–1026
- Kocher MS, Sink EL, Blasier RD (2010) American Academy of Orthopaedic Surgeons clinical practice guideline on treatment of pediatric diaphyseal femur fracture. *J Bone Jt Surg, Am* 92(8):1790–1792
- Irani RN, Nicholson JT, Chung SM (1976) Long-term results in the treatment of femoral-shaft fractures in young children by immediate SPICA immobilization. *J Bone Jt Surg, Am* 58(7):945–951
- Staheli LT (1967) Femoral and tibial growth following femoral shaft fracture in childhood. *Clin Orthop Relat Res* 55(55):159–163
- Cassinelli EH, Young B, Vogt M et al (2005) Spica cast application in the emergency room for select pediatric femur fractures. *J Orthop Trauma* 19(10):709–716
- Illgen R II, Rodgers WB, Hresko MT et al (1998) Femur fractures in children: treatment with early sitting SPICA casting. *J Pediatr Orthop* 18(4):481–487
- Miller ME, Bramlett KW, Kissell EU, Niemann KM (1987) Improved treatment of femoral shaft fractures in children. The "pontoon" 90–90 SPICA cast. *Clin Orthop Relat Res* 219:140–146
- McCarthy RE (1986) A method for early SPICA cast application in treatment of pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 6(1):89–91
- Large TM, Frick SL (2003) Compartment syndrome of the leg after treatment of a femoral fracture with an early sitting SPICA cast. A report of two cases. *J Bone Jt Surg, Am* 85-A(11):2207–2210
- Madhuri V, Dutt V, Gahukamble AD, Tharyan P (2014) Interventions for treating femoral shaft fractures in children and adolescents. *Evid-Based Child Health* 9(4):753–826
- Tisherman RT, Hoellwarth JS, Mendelson SA (2018) Systematic review of SPICA casting for the treatment of paediatric diaphyseal femur fractures. *J Child Orthop* 12(2):136–144
- Stannard JP, Christensen KP, Wilkins KE (1995) Femur fractures in infants: a new therapeutic approach. *J Pediatr Orthop* 15(4):461–466
- Podeszwa DA, Mooney JF III, Cramer KE, Mendelow MJ (2004) Comparison of Pavlik harness application and immediate SPICA casting for femur fractures in infants. *J Pediatr Orthop* 24(5):460–462
- Bryant T (1873) *The practice of surgery*. American Publishing Co, Philadelphia
- Ferry AM, Edgar MS Jr (1966) Modified Bryant traction. *J Bone Jt Surg, Am* 48(3):533–536
- Aronson DD, Singer RM, Higgins RF (1987) Skeletal traction for fractures of the femoral shaft in children. A long-term study. *J Bone Jt Surg, Am* 69(9):1435–1439
- Ligier JN, Metaizeau JP, Prévot J, Lascombes P (1988) Elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children. *Bone Jt J* 70(1):74–77
- Kocher MS, Sink EL, Blasier DR et al (2009) Treatment of pediatric diaphyseal femur fractures. *JAAOS* 17(11):718–725
- Marengo L (2017) Le fratture diafisarie del femore. In: Canavese F, Andreacchio A, Holveck J (eds) *Manuale pratico di traumatologia pediatrica*. Griffin, Carimate, pp 132–136
- Dietz HG, Schmittenbecher P, Slongo T, Wilkins K (2006) Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) in children. *AO manual of fracture management*. Thieme, New York
- Fricka KB, Mahar AT, Lee SS, Newton PO (2004) Biomechanical analysis of antegrade and retrograde flexible intramedullary nail fixation of pediatric femoral fractures using a synthetic bone model. *J Pediatr Orthop* 24(2):167–171
- Lascombes P, Haumont T, Journeau P (2006) Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 26(6):827–834
- Luhmann SJ, Schootman M, Schoenecker PL et al (2003) Complications of titanium elastic nails for pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 23(4):443–447
- Moroz LA, Launay F, Kocher MS (2006) Titanium elastic nailing of fractures of the femur in children. Predictors of complications and poor outcome. *J Bone Jt Surg, Br* 88(10):1361–1366
- Canavese F, Marengo L, Andreacchio A et al (2016) Complications of elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children weighing fifty kilograms (one hundred and ten pounds) and more. *Int Orthop* 40(12):2627–2634
- Bar-On E, Sagiv S, Porat S (1997) External fixation or flexible intramedullary nailing for femoral shaft fractures in children: a prospective, randomised study. *J Bone Jt Surg, Br* 79(6):975–978
- Miner T, Carroll KL (2000) Outcomes of external fixation of pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 20(3):405–410
- Mooney JF (2012) The use of "damage control orthopaedics" techniques in children with segmental open femur fractures. *J Pediatr Orthop* 21(5):400–403
- Gregory P, Pevny T, Teague D (1996) Early complications with external fixation of pediatric femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma* 10(3):191–198

38. Skaggs DL, Leet AI, Money MD et al (1999) Secondary fractures associated with external fixation in pediatric femur fractures. *J Pediatr Orthop* 19(5):582–586
39. Hedequist DJ, Sink E (2005) Technical aspects of bridge plating for pediatric femur fractures. *J Orthop Trauma* 19(4):276–279
40. Sink EL, Hedequist D, Morgan SJ, Hresko T (2006) Results and technique of unstable pediatric femoral fractures treated with submuscular bridge plating. *J Pediatr Orthop* 26(2):177–181
41. Kanlic EM, Anglen JO, Smith DG et al (2004) Advantages of submuscular bridge plating for complex pediatric femur fractures. *Clin Orthop Relat Res* 426:244–251
42. Abdelgawad AA, Sieg RN, Laughlin MD et al (2013) Submuscular bridge plating for complex pediatric femur fractures is reliable. *Clin Orthop Relat Res* 471(9):2797–2807
43. Beaty JH, Austin SM, Warner WC et al (1994) Interlocking intramedullary nailing of femoral-shaft fractures in adolescents: preliminary results and complications. *J Pediatr Orthop* 14(2):178–183
44. MacNeil JA, Francis A, El-Hawary R (2011) A systematic review of rigid, locked, intramedullary nail insertion sites and avascular necrosis of the femoral head in the skeletally immature. *J Pediatr Orthop* 31(4):377–380
45. Shapiro F (1981) Fractures of the femoral shaft in children: the overgrowth phenomenon. *Acta Orthop Scand* 52(6):649–655
46. Verbeek HO (1979) Does rotation deformity, following femur shaft fracture, correct during growth? *Reconstr Surg Traumatol* 17:75–81
47. Clark MW, D'Ambrosia RD, Roberts JM (1978) Equinus contracture following Bryant's traction. *Orthopedics* 1(4):311–312
48. Janzing H, Broos P, Rommens P (1996) Compartment syndrome as a complication of skin traction in children with femoral fractures. *J Trauma* 41(1):156–158
49. Dehne E, Kriz FK Jr (1967) Slow arterial leak consequent to unrecognized arterial laceration. Report of five cases. *J Bone Jt Surg, Am* 49(2):372–376
50. Staheli LT (1967) Fever following trauma in childhood. *JAMA* 199(7):503–504
51. Perez A, Mahar A, Negus C et al (2008) A computational evaluation of the effect of intramedullary nail material properties on the stabilization of simulated femoral shaft fractures. *Med Eng Phys* 30(6):755