

Strokovni prispevek/Professional article

UČVRSTITEV PRELOMOV SREDNJEGA DELA KLJUČNICE S TITANIJEVIM ELASTIČNIM ŽEBLJEM PRI ODRASLIH – PRVI REZULTATI

FIXATION OF THE MIDCLAVICULAR FRACTURES WITH THE TITANIUM ELASTIC NAILS IN ADULTS – PRELIMINARY RESULTS

Matej Drobnič¹, Blaž Iskra², Primož Povhe², Franc Drobnič²

¹ Ortopedska klinika, Klinični center, Zaloška 9, 1525 Ljubljana

² Kirurški oddelek, Splošna bolnišnica Brežice, Černelčeva 15, 8250 Brežice

Prispelo 2005-01-06, sprejeto 2005-04-29; ZDRAV VESTN 2005; 74: 359-63

Ključne besede: ključnica; diafiza; prelom; intramedularno; elastična učvrstitev

Izvleček – Izhodišča. Elastična intramedularna učvrstitev je uveljavljena operativna metoda zdravljenja otroških prelomov, ki se pri odraslih redko uporablja. Prikazujemo prilagojeno intramedularno tehniko učvrstitve prelomov srednjega dela ključnice pri odraslih z uporabo titanijevih elastičnih žebeljev.

Metode. V letu dni smo z elastično intramedularno učvrstitvijo zdravili pet odraslih poškodovancev, ki so imeli prelom ključnice v srednjem delu s prikrajšavo. Trije so bili prej neuspešno zdravljeni konzervativno, pri ostalih dveh poškodovancih pa smo zaradi prikrajšave oz. nestabilnega preloma že v izhodišču pričakovali neustrezno preraščanje kosti. Titanijeve elastične žebelje smo uvedli intramedularno v distalni odlomek skozi prelom z minimalnim odprtim pristopom. Po poziciji smo proksimalni odlomek učvrstili retrogradno. Pooperativna rehabilitacija je vključevala nihajne vaje v miteli do zacelitve ran, nato pa aktivno razgibavanje v mejah bolečine.

Rezultati. Vsi prelomi so se zarasli v fiziološkem položaju. Poškodovanci so bili po šestih tednih sposobni aktivno gibati ramenski sklep na operirani strani brez bolečin v celotnem obsegu giba. Imeli smo en zaplet v obliki omejenega draženja kože in podkožja zaradi predolge konice žebelja brez vpliva na končni rezultat.

Zaključki. Prvi rezultati na omejenem številu poškodovancev so pokazali uspešno preraščanje prelomov, zdravljenih z intramedularno učvrstitvijo z elastičnimi titanijevimi žebelji. Dobri funkcionalni rezultati in majhna invazivnost operativne metode kažejo, da je takšno zdravljenje primerno pri prelomih srednjega dela ključnice, ki so konzervativno zdravljeni neuspešno ali pa se pričakuje preraščanje s slabim funkcionalnim in kozmetičnim rezultatom zaradi prikrajšave oz. nestabilnosti preloma.

Key words: clavicle; diaphysis; fracture; intramedullary; elastic fixation

Abstract – Background. Elastic intramedullary fixation is an established operative treatment for fractures in childhood, which is only exceptionally used in adults. A modified intramedullary fixation of midclavicular fractures in adults with titanium elastic nails is presented.

Methods. The group was comprised of five adult patients with shortened midclavicular fractures. The prior conservative treatment had been ineffective in three cases, whereas poor functional outcome was expected in the other two, as a result of fracture shortening or instability. According to the new technique titanium elastic nails were first placed into the intramedullary channel of the distal fragment through the fracture, using a mini-open exposure. The nails were advanced retrogradely into the proximal fragment to achieve a stable fixation. The initial post-operative rehabilitation included pendular exercises in a sling. Active exercises in the range of pain allowance were introduced after the operative wounds had been healed.

Results. All fractures were consolidated in the physiological position. The patients were capable of painless movements with the shoulder on the operated side in the full range of motion after six weeks. One transitory complication in the form of skin and subcutaneous decubitus over the protruded nail tip was noted without an influence on the end result.

Conclusions. The preliminary results in a limited number of patients showed efficient consolidation of the midclavicular fractures in adults treated with intramedullary titanium elastic nails. The functional results and low invasivity of the procedure support its further use in treatment of midclavicular fractures, which fail to heal conservatively, or which are expected to result in poor functional or cosmetic outcome.

Uvod

Ključnica je tanka, dvojno ukrivljena kost, ki veže trup (prsni-co) z ramenskim obročem (lopatico) (1). Kot na vezni člen delujejo nanjo velike sile pri padcih na iztegnjeno roko. Zaradi lege in slabe pokritosti z mehkiimi tkivi je izpostavljena tudi neposrednemu delovanju čezmernih sil. Prvi, še pogosteje pa drugi mehanizem sta vzroka številnih poškodb (2). Prelomi ključnice spadajo med najpogostejše prelome pri odraslih, saj predstavljajo 5% do 10% vseh prelomov te dobe. Pri 70% do 80% poškodovancev je prizadeta srednja tretjina - diafiza (1). Po AO razdelitvi so ti prelomi označeni s šifro 06-XX (3). Prelome ključnice praviloma zdravimo konzervativno z oprtjo. Indikacije za primarno operativno zdravljenje po AO navodilih so naslednje: odprti prelomi, sočasna poškodba žil (podključnična arterija) ali živcev (brahialni pletež) ter sočasni prelom lopatice (t. i. plavajoča rama) (3). Dodatna indikacija za operativno oskrbo so premaknjeni in skrajšani prelomi, ki se slabo zaraščajo in povzročajo dolgotrajne bolečine ter moteno delovanje ramenskega obroča. Merila niso natančno pojasnjena, vendar prelomi s prikrajšavo 2 cm ali več zaraščajo pomembno slabše od tistih z manjšimi prikrajšavami (4, 5). Opisanih je več metod notranje učvrstitve prelomov srednjega dela ključnice. Najbolj uveljavljena je odprta repozicija in učvrstitev z dinamično-kompresijsko 3,5-ploščo oz. rekonstrukcijsko 3,5-ploščo (3, 6). Za dober operativni rezultat mora biti velikost same plošče sorazmerno velika, da zadosti velikosti in obliki kosti ter uravnoteži delovanje precejšnjih sil na tem mestu. Pri operativni oskrbi srednjega dela ključnice je navadno potreben širok kirurški pristop, kar dodatno poškoduje okolišna mehka tkiva. Osteosintetski material leži plitvo pod kožo, zato jo lahko sčasoma poškoduje. Pri operativnem zdravljenju s ploščo opisujejo naslednje zaplete: nezaraščanje (6), vnetje (7), omaganje plošče (7, 8), ponovitev preloma po odstranitvi materiala (6-8) ter slab kozmetični učinek hipertrofičnih kožnih brazgotin (9). Idejo o elastični intramedularni učvrstitvi (ECMES - fr. embrochage centro medullaire élastique stable) dolgih cevastih kosti pri otrocih je razvila skupina francoskih ortopedov iz Nantesa, ki sta jo vodila Metaizeau in Prevot (10, 11). Prva klinična uporaba sega v leto 1977. Zaradi dobrih rezultatov in neinvazivnosti so po letu 1984 (12) ECMES postopno sprejeli drugod po Evropi (13-15). V Sloveniji je tehniko elastične intramedularne učvrstitve prvi predstavil zadnji avtor prispevka leta 1993. Kmalu so titanijevi elastični žebliji (TEŽ) tudi pri

nas postali »zlati standard« operativnega zdravljenja otroških prelomov dolgih cevastih kosti (16, 17).

Podatkov o elastični intramedularni učvrstitvi prelomov pri odraslih je v literaturi malo. Zasledili smo skupino, ki se ukvarja s prelomi ključnice (18, 19), ter skupino, ki je opisala uporabo TEŽ pri prelomih dlančnic (20). V prispevku bomo predstavili prilagojeno metodo elastične intramedularne učvrstitve prelomov srednjega dela ključnice pri skeletno odraslih poškodovancih.

Metode

Poškodovanci

Leta 2004 smo po spodaj opisanem postopku zdravili pet odraslih poškodovancev (razpr. 1). Vsi so imeli premaknjeni prelom ključnice v njenem srednjem delu s prikrajšavo kosti 2 cm ali več. En poškodovanec je imel pridružen prelom vratu lopatice (plavajoča rama), eden pa serijski prelom reber na isti strani. Poškodovanka je utrpela sočasni prelom prsnice. Za operativno zdravljenje smo se pri poškodovancih 1, 3 in 5 odločili zaradi neuspešnega konzervativnega zdravljenja. Pri bolniku 2 je bila prikrajšava preloma tolikšna, da je bila kasnejša funkcionalna motnja verjetna, pri bolniku 4 je šlo za nestabilni prelom ob plavajočem ramenu.

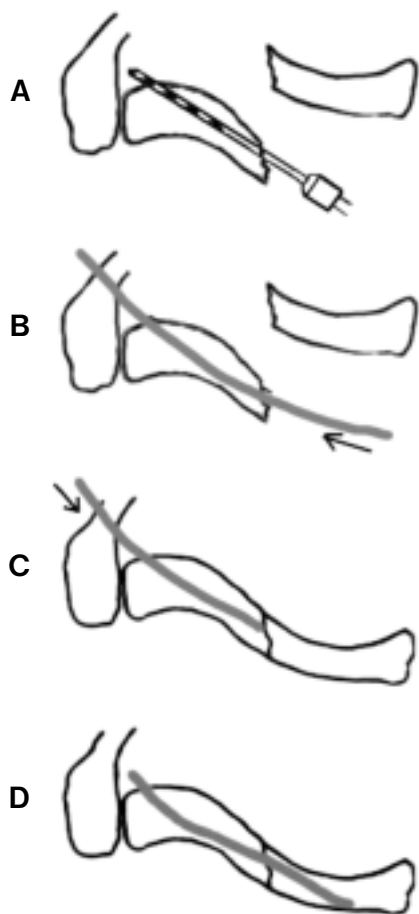
Operativni postopek in rehabilitacija

Vsi poškodovanci so prejeli oboperativno zaščito z enkratnim, intravenskim odmerkom antibiotika (cefazolin 2 g). Operacije so potekale v splošni anesteziji v polsedečem položaju. Naredili smo kratek, sagitalni rez nad mestom preloma. Odmaknili smo mehka tkiva, očistili mesto preloma in si prikazali intramedularni kanal. V distalni odlomek smo intramedularno zavrtali s svedrom debeline 2,7 oz. 3,2 mm. Zaradi ukrivljenosti ključnice smo z ravnim svedrom predrli kortikalno kost na dorzalni strani. TEŽ debeline 2,5 oz. 3,0 mm smo uvedli intramedularno po zavrtanem kanalu in ga preko mehkih delov izvlekli iz kože navzd. Prelom smo reponirali ter TEŽ zabili v retrogradni smeri intramedularno še v proksimalni odlomek do takšne dolžine, da je bil prelom čvrst (sl. 1). Del TEŽ, ki je še gledal iz kože na zadnji strani ramena, smo skrajšali in ga poglobili v podkožje. Če je bilo potrebno, smo morebitne proste kostne odlomke pred zaprtjem operativne rane pritrčili ob glavnino kosti z resorbilnim šivom.

Razpr. 1. Seznam bolnikov, zdravljenih z elastičnim titanijevim žeblijem zaradi preloma srednje tretjine ključnice.

Table 1. List of patients treated with the elastic titanium nail for the midclavicular fracture.

Primer	Spol	Starost	Vzrok preloma	Konzervativno zdravljenje	Pridružene poškodbe	Indikacija za OP poseg
Case	Gender	Age	Cause of fracture	Conservative treatment	Concomitant injuries	Operative indication
1.	moški male	22	padec z motorjem motorcycle fall	opr 15 dni figure-of-eight harness 15 days	brez none	neuspešno konzervativno zdravljenje failed conservative treatment
2.	moški male	38	sopotnik v avtomobilu car passenger	mitela 9 dni sling 9 days	prelom 2. do 7. rebra iste strani ipsilateral rib fractures 2 to 7	prikrajšava odlomkov več kot 3 cm shortening of the clavicle more than 3 cm
3.	moški male	16	padec pri nogometu fall at football	opr 14 dni figure-of-eight harness 14 days	brez none	neuspešno konzervativno zdravljenje failed conservative treatment
4.	moški male	28	sopotnik v avtomobilu car passenger	mitela 4 dni sling 4 days	prelom vratu lopatice iste strani ipsilateral fracture of scapular neck	nestabilen prelom ob plavajočem ramenu unstable fracture with floating shoulder
5.	ženski female	22	voznica avtomobila car driver	opr 38 dni figure-of-eight harness 38 days	prelom prsnice fracture of sternum	neuspešno konzervativno zdravljenje failed conservative treatment



Sl. 1. Shematski prikaz elastične intramedularne učvrstitve preloma srednjega dela desne ključnice. S svedrom smo zavrtili intramedularno v distalni odlomek (A). V isti smeri smo vstavili titanijev elastični žebelj (B). Po repoziciji smo žebelj zabili retrogradno v proksimalni odlomek (C) in s tem učvrstili prelom (D).

Figure 1. Schematic illustration of the intramedullary elastic fixation of the right midclavicular fracture. After intramedullary drilling of the distal fracture fragment (A), a titanium elastic nail was inserted (B). The fracture was repositioned and the nail advanced retrogradely into the proximal fragment (C) to achieve a stable fracture fixation (D).

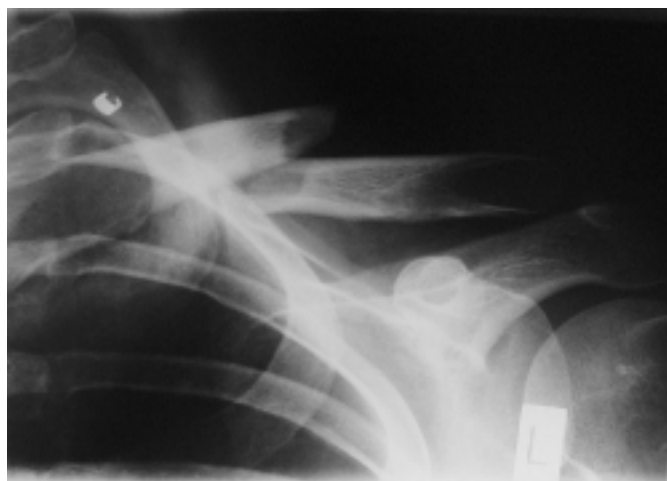
Dan po operaciji so pričeli poškodovanci izvajati nihajne vaje v miteli. Domov so bili odpuščeni najkasneje drugi pooperativni dan. Po sedmih do desetih dneh, ko so se operativne rane zacelile, so pričeli aktivno razgibavati ramenski sklep v mejah bolečine nad abdukcijo 90°. Po dveh tednih smo jim dovoljevali obremenitve do 10 kg. Po kontrolnem pregledu in rentgenskem slikanju mesec dni po posegu smo svetovali polne obremenitve. Odstranitev TEŽ smo skozi vbodni rez ob konici TEŽ na zadnji strani ramena opravili po treh do štirih mesecih.

Rezultati

Vsi prelomi so se klinično in rentgensko po času normalno celili (sl. 2-4). Nezarasčenih prelomov ni bilo. Na primerjalnih rentgenskih posnetkih operirane in zdrave ključnice ni bilo razlik v dolžini, prav tako se ni čezmerno tvoril kalus. Vsi poškodovanci so bili sposobni po šestih tednih z operiranim ramenskim obročem gibati v popolnem obsegu brez izrazi-

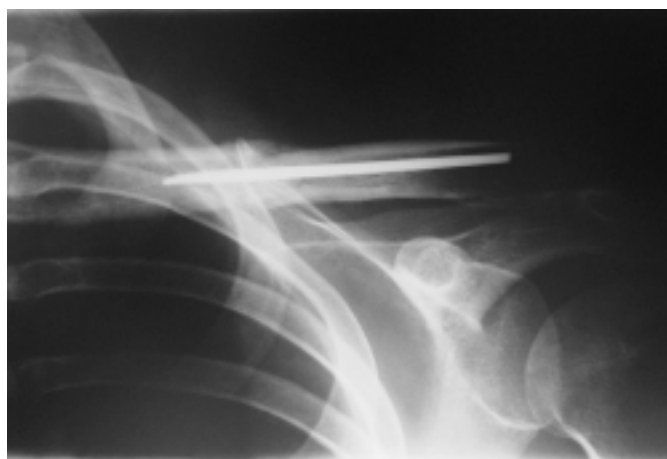
tih bolečin. Dolžina operativne brazgotine na koži je znašala med 1,5 do 3,5 cm (sl. 5). Štirim poškodovancem smo zdravljenje zaključili z odstranitvijo TEŽ med 12. in 15. tednom, pri enem pa po 8 tednih. Za odstranitev smo dvakrat uporabili splošno, trikrat pa lokalno anestezijo.

Pri poškodovancu s sočasnimi prelomi vratu lopatice je prišlo do prehodnega zapleta. Ob učvrstitvi preloma ključnice je imel okoli ramena obsežno popoškodbeno oteklino. Ko je uplahnela, je TEŽ postal predolg in njegova konica je pričela pritiskati na podkožje. Zaradi pritiska se je pojavil omejen dekubitus kože in podkožja. TEŽ smo še dodatno skrajšali. Ker se vnetje ni umirilo, smo ga po osmih tednih predčasno odstranili. S tem ukrepom se je draženje umirilo v tednu dni. Celjenje preloma ključnice je bilo kljub temu popolno. Tudi lopatica se je zarasla v fiziološkem položaju.



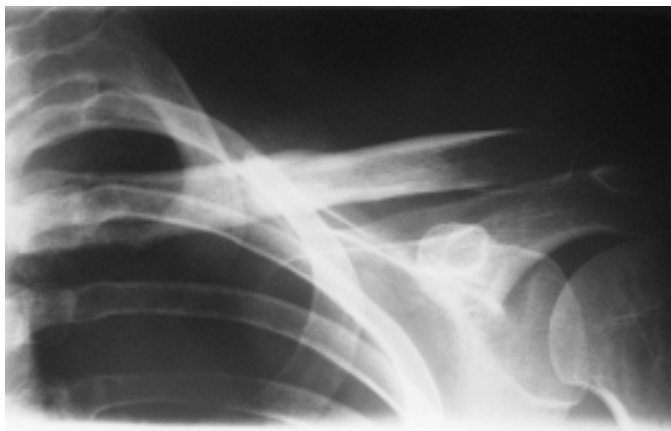
Sl. 2. Predoperativni rentgenski posnetek preloma srednjega dela leve ključnice s prikrajšavo pri 22 let stari poškodovanki. Pet tednov trajajoče konzervativno zdravljenje z oprtjo je bilo neuspešno.

Figure 2. Pre-operative x-ray image of the shortened left midclavicular fracture in a 22-year old female patient. The initial conservative treatment with the figure-of-eight harness of five-week duration was ineffective.



Sl. 3. Rentgenski posnetek istega preloma po repoziciji in učvrstitvi s titanijevim elastičnim žebeljem.

Figure 3. X-ray image of the same fracture that was shown in Figure 2 after repositioning and internal fixation with titanium elastic nail.



Sl. 4. Rentgenski posnetek iste poškodovanke po odstranitvi osteosintetskega materiala 14 tednov po operaciji kaže preraščen prelom s fiziološko osjo ključnice brez prikrajšave ali čezmerne tvorbe kalusa.

Figure 4. X-ray image of the same patient after removal of the titanium hardware 14 weeks post-operation, showing the physiologic clavicle axis without shortening or callus hypertrophy.



Sl. 5. Poškodovanec s prelomom srednjega dela leve ključnice, zdravljen s titanijevim elastičnim žebeljem. Prikaz pooperativne brazgotine (puščica na sliki a) in obsega gibanja v ramenu (sliki b in c) pred odstranitvijo osteosintetskega materiala tri mesece po operativnem posegu.

Figure 5. A patient treated with the elastic titanium nail for the left midclavicular fracture. The post-operative cicatrice (arrow in the figure a) and the shoulder range of motion (figures b and c) before removal of the titanium hardware three months after the operation.

Razpravljanje

Prispevek prikazuje prilagojeno operativno metodo zdravljenja prelomov srednjega dela ključnice s TEŽ, ki smo jo uporabili pri petih skeletno odraslih poškodovancih. Tako pri enostavnih prelomih kakor tudi pri poškodovancu s plavajočo ramo smo zagotovili ustrezno preraščanje kosti brez spremembe v dolžini ali osi.

Trenutno najbolj razširjena operativna metoda zdravljenja prelomov srednjega dela ključnice pri odraslih je nedvomno odprta repozicija in učvrstitev s ploščo in vijaki, ki ima dobre (stabilna osteosinteza, ohranjanje dolžine, repozicija pod kontrolo očesa) in slabe lastnosti (nezarščanje, širok operativni pristop, slab kozmetični učinek) (3, 6–9). Naš namen je bil peljati manj invazivno metodo, da bi dosegli enak ali boljši končni rezultat. Glede na potek celjenja prelomov, polno funkcionalnost ramenskega sklepa po operaciji ter majhno število zapletov menimo, da je metoda obetavna. V primerjavi s ploščo je invazivnost intramedularne učvrstitve s TEŽ nedvo-

mno manjša, kar manj okvarja mehke dele in prehrano kosti. Nenazadnje je pomemben tudi kozmetični učinek zaradi manjših kožnih brazgotin. Odstranitev TEŽ smo lahko opravili v lokalni anesteziji skozi vbodno rano, medtem ko je za odstranitev plošče in vijakov operativni poseg večji.

Intramedularna učvrstitev prelomov ključnice ima več kot petdesetletno zgodovino (21). Med največkrat uporabljene metode takšne učvrstitve sodijo rigidni žebelji ali vijaki (22–24) ter učvrstitev s K-žicami (25). Okužbe in premikanje tovrstnih osteosintetskih materialov so bili poglavitni razlogi, da so vodilno mesto pri operativnem zdravljenju prelomov srednjega dela ključnice prevzele plošče z vijaki (26, 27). Pri elastični intramedularni učvrstitvi se pri naših poškodovancih niso pokazali prej opisani zapleti. Menimo, da je ključna prednost naše metode pred zgoraj opisanimi ravno elastičnost TEŽ, saj lahko takšen žebelj sledi fiziološkimi premikom kosti pri gibanju sosednjih sklepov. Po prenehanju gibanja se ponovno vzpostavi izhodiščno stanje; elastični žebelj se ob tem ne premika po intramedularnem kanalu (12, 18).

V literaturi smo zasledili eno skupino kirurgov (Jubel in sod.), ki intramedularno učvrstitev s TEŽ pri prelomih ključnice odraslih poškodovancev uporabljajo od leta 1996 (19). V njihovi zadnji publikaciji prikazujejo 58 tako zdravljenih prelomov. Ugotovili so, da je elastična učvrstitev ključnice varna, minimalno invazivna metoda, z odličnimi funkcionalnimi in estetskimi rezultati. Med zapleti navajajo eno nezarščanje preloma, dekubitus kože pri treh primerih ter nepravilno zarščanje preloma v dveh in keloidno brazgotino prav tako v dveh primerih. Pri svojem delu vedno uporabljajo rentgenski ojačevalce, saj TEŽ uvajajo iz prsničnega dela ključnice proti distalnemu odlomku. Prelom poskušajo reponirati zaprto, kljub temu so si morali pri polovici primerov, posebno pri starejših prelomih ter pri prelomih z več odlomki, pomagati z dodatnim rezom nad prelomom zaradi odprte repozicije (18).

Naša operativna tehnika se razlikuje od opisane, saj TEŽ uvajamo intramedularno neposredno skozi prelom, pri čemer je potreben le majhen pristopni rez. Podobno tehniko z rigidnim Steinmanovim vijakom je opisal McKeever leta 1953 (21). Za retrogradno učvrstitev preloma je potreben le še en vbodni rez na hrbtne strani ključnice. Pri naši metodi rentgenskega ojačevalca ne potrebujemo. Minimalno odprte predela preloma na ventralni strani ne prizadene mehkih tkiv toliko, da bi to lahko oviralo potek celjenja kosti. Menimo, da povzročajo kožni rez v srednjem delu ključnice manjše brazgotine kakor rez ob sternoklavikularnem sklepu, ki ga za uvajanje TEŽ uporabljajo prej navedeni avtorji. Prednost minimalno odprte metode je tudi v tem, da lahko proste kostne odlomke z resorbilnim šivom preko pokostnice pritrdimo ob sosednje dele kosti ter čvrstost preloma po uvajanju TEŽ neposredno preverimo.

Elastično intramedularno učvrstitev prelomov srednjega dela ključnice pri odraslih ocenjujemo kot uspešno. Po dosedanjih izkušnjah so bili rezultati na sicer majhnem številu poškodovancev povsem primerljivi s trenutno uveljavljenimi operativnimi metodami. Vsekakor daje majhna invazivnost in enostavnost prikazanega operativnega posega prednost elastični intramedularni učvrstitvi pred ploščo. Po dosedanjih izkušnjah je prikazana metoda primerna za nadaljnjo oskrbo konzervativno zdravljenih prelomov srednjega dela ključnice, ki se ne celijo. Prav tako je primerna za začetno oskrbo

prelomov tega predela, pri katerih bodisi zaradi prikrajšave v prelomu bodisi zaradi nestabilnosti preloma pričakujemo slab funkcionalni ali kozmetični učinek konzervativnega zdravljenja.

Literatura

- Rowe CR. An atlas of anatomy and treatment of midclavicular fractures. *Clin Orthop* 1968; 58: 29–42.
- Stanley D, Trowbridge EA, Norris SH. The mechanism of clavicular fracture. A clinical and biomechanical analysis. *J Bone Joint Surg Br* 1988; 70(3): 461–4.
- Geel CW. Scapula and clavicle. In: Ruedi TP, Murphy WM, eds. *AO principles of fracture management*. Stuttgart: Thieme, 2000: 255–68.
- Hill JM, McGuire MH, Crosby LA. Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results. *J Bone Joint Surg Br* 1997; 79(4): 537–9.
- Matis N, Kwasny O, Gaebler C, Vecsei V. Effects of clavicle shortening after clavicle fracture. *Hefte Unfallchirurg* 1999; 275: 314–5.
- Poigenfurst J, Rappold G, Fischer W. Plating of fresh clavicular fractures: results of 122 operations. *Injury* 1992; 23(4): 237–41.
- Bostman O, Manninen M, Pihlajamaki H. Complications of plate fixation in fresh displaced midclavicular fractures. *J Trauma* 1997; 43(5): 778–83.
- Bronz G, Heim D, Pusterla C, Heim U. Die stabile Clavicula-Osteosynthese. *Unfallheilkunde* 1981; 84(8): 319–25.
- Kuner EH, Schlickewei W, Mydla F. Operative Therapie der Clavicularfrakturen, Indikation, Technik, Ergebnisse. *Hefte Unfallheilkd* 1982; 160: 76–83.
- Metaizeau JP. Osteosynthese chez l'enfant. Montpellier: Sauramps medical, 1988.
- Prevot J, Lascombes P, Ligier JN. L'ECMES comme procede d'osteosynthese des fractures des membres chez l'enfant. Principe, application sur le femur. A propos de 250 fractures suivies depuis 1979. *Chirurgie* 1993; 119(9): 473–6.
- Slongo TF. History of intramedullary nailing in childhood and adolescence. *AO Dialogue* 2001; 2: 21–2.
- Christinaz D. Embrochage elastique stable pour les fractures de l'enfant. *Rev Med Suisse Romande* 1994; 114(4): 319–26.
- Rehli V, Slongo T. Die elastisch-stabile endomedullare Schienung (EES) nach Prevot – Eine ideale Methode zur Versorgung kindlicher Schafffrakturen. *Z Unfallchir Versicherungsmed* 1991; 84(3): 177–81.
- Toussaint D, Vanderlinden C, Bremen J. L'enclouage elastique stable applique aux fractures diaphysaires de l'avant-bras chez l'enfant. *Acta Orthop Belg* 1991; 57(2): 147–53.
- Herman S ed. *Lecture book of the International symposium with workshop Elastic stable intramedullary nailing of long bone fractures in children with titanium rods*. Ljubljana: Travmatološka klinika, 1999.
- Aleš A, Kastelec M, Gadžijev A, Štupnik T. Treatment of children femur fractures with intramedullary semiflexible titanium rods after Prevot – our experience. In: EFORT 2003. 6th congress of the European federation of national associations of orthopaedics and traumatology. Helsinki: Marathon international, 2003: 163.
- Jubel A, Andermahr J, Schiffer G, Tsironis K, Rehm KE. Elastic stable intramedullary nailing of midclavicular fractures with a titanium nail. *Clin Orthop* 2003; 408: 279–85.
- Jubel A, Andermahr J, Bergmann H, Prokop A, Rehm KE. Elastic stable intramedullary nailing of midclavicular fractures in athletes. *Br J Sports Med* 2003; 37(6): 480–3.
- Lallemant S, de Jesse Levas A. Embrochage centromedullaire elastique stable des os de la main. ECMES au niveau de la main. *Chir Main* 2002; 21(3): 176–81.
- McKeever DC. Principles and ideals of intramedullary internal fixation. *Clin Orthop* 1953; 2: 12–9.
- Neviaser RJ, Neviaser JS, Neviaser TJ. A simple technique for internal fixation of the clavicle. A long term evaluation. *Clin Orthop* 1975; 109: 103–7.
- Niemeier U, Zimmermann HG. Die offene Marknagelung der Clavicula nach Kuntscher. Eine Alternative in der Behandlung alter Schlüsselbeinbrüche. *Chirurg* 1990; 61(6): 464–6.
- Siebenmann RP, Spieler U, Arquint A. Die Rush-Pin-Osteosynthese der Klavikula als Alternative zur konservativen Behandlung. *Unfallchirurgie* 1987; 13(6): 303–7.
- Ngarmukos C, Parkpian V, Patradul A. Fixation of fractures of the midshaft of the clavicle with Kirschner wires. Results in 108 patients. *J Bone Joint Surg Br* 1998; 80(1): 106–8.
- Leppilahti J, Jalovaara P. Migration of Kirschner wires following fixation of the clavicle – a report of 2 cases. *Acta Orthop Scand* 1999; 70(5): 517–9.
- Lindenmaier HL, Kuner EH, Becker B. Die Osteosynthese der Clavicula. Indikation, Operationstechnik, Ergebnisse. *Chirurg* 1991; 62(5): 409–13.