

Srovnávací analýza šroubů Socon CS a Socon v ošetření osteoporotických zlomenin torakolumbální páteře – biomechanická studie

A Comparative Analysis of Socon CS and Socon Pedicle Screws in View of their Use for Treatment of Osteoporotic Fractures of the Thoracolumbal Spine. A Biomechanical Study

I. JANŮ¹, J. KOČIŠ¹, T. NÁVRAT^{2,3}, Z. FLORIAN³, P. WENDSCHE¹

¹ Klinika traumatologie LF MU v Úrazové nemocnici v Brně

² Centrum mechatroniky – Ústav termomechaniky Akademie věd ČR

³ Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické, Brno

ABSTRACT

PURPOSE OF THE STUDY

To compare the anchorage strength of Socon CS cannulated pedicle screws (B. Braun, Aesculap) with that of Socon screws in human cadaver vertebrae, using pull-out strength testing.

MATERIAL

Twelve samples involving T12 to L3 vertebrae were prepared and a total of 20 pedicle screws, 10 Socon CS and 10 Socon screws, were inserted in them. All screws were 55 mm in length and 6 mm in diameter. After placement, Socon CS pedicle screws were augmented with bone cement (Cimplant cement application kit, B. Braun, Aesculap).

METHODS

Both Socon CS and Socon screws were subjected to monotonous loading in the testing device ZWICK Z 020-TND with tensile stress applied in the screw axis. We evaluated the magnitude of strength resulting in screw loosening and the relationship between this strength and bone density of the sample.

RESULTS

Bone density of measured samples corresponded either to osteopenia, i.e. T-score range of –1 to –2.5 SD (standard deviation) or osteoporosis, i.e. T-score –2.5 SD. The average bone density of all samples corresponded to a T-score of –3.1 SD. Bone-screw linkage was found to be associated with both bone-cement and screw-cement interface. Pull-out strength was significantly higher for the Socon CS than the Socon screws (t-test, $p < 0.0005$).

In the Socon screws, the linear correlation between pull-out strength and bone density was significant at a 5% level of statistical significance ($p = 0.008$) while, in the Socon CS screws, it was not significant ($p = 0.065$).

DISCUSSION

The poor quality of osteoporotic bone is responsible for a higher frequency of implant failure due to loosening, particularly when implants developed for healthy bone are used. In this biomechanical study, we tested one of the possibilities of how to reduce the risk of implant failure by pedicle screw augmentation with bone cement.

CONCLUSIONS

The results of this study confirm the hypothesis that the anchorage of Socon CS cannulated pedicle screws with bone cement augmentation is disrupted by significantly higher pull-out strength than that of Socon screws, when subjected to monotonous loading. However, more clinical studies are needed to evaluate clinical outcomes

Key words: osteoporosis, vertebral fracture, bone cement, screw anchorage, biomechanical study.

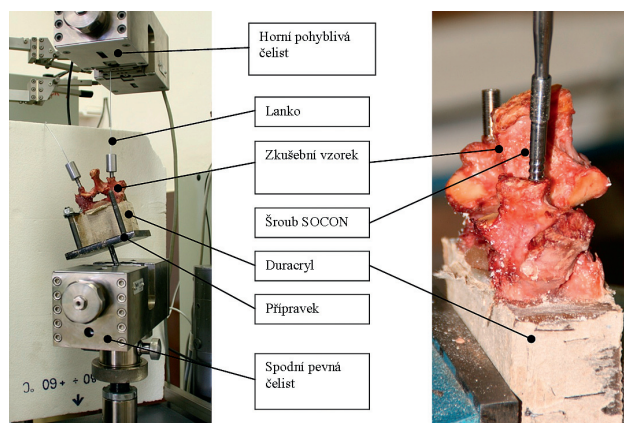
ÚVOD

Stárnutí populace a prodlužování délky života jsou příčinou narůstajícího významu výzkumů týkajících se osteoporózy (21). Osteoporotické zlomeniny snižují kvalitu života pacienta (7) a představují enormní sociální a ekonomickou zátěž (8, 15). Osteoporóza může vést k časnému selhání implantátu (7) a je i příčinou porušeného kostního hojení (1, 6, 8), což vede k signifikantnímu zvýšení četnosti pozdního selhání implantátů přetížením spojení kost – implantát (7, 8). U pacientů vyššího věku (cca nad 65 let) je vhodné při výskytu zlomeniny provést zhodnocení kvality kostní tkáně (denzitometrické vyšetření) a zahájit adekvátní léčbu v případě potřeby (14). Teprve nedávno začala být věnována pozornost diagnostice a léčbě osteoporózy u pacientů s osteoporotickou zlomeninou, čímž lze snížit incidence dalších zlomenin u rizikových pacientů a efektivně tak snížit náklady na jejich léčení (13, 21).

Osteoporóza přispívá nejen k vyšší četnosti zlomenin, ale i jejich závažnosti a negativně ovlivňuje jejich léčbu (8). Snížená kvalita osteoporotické kosti je příčinou vyšší četnosti selhání implantátů uvolněním – zejména při použití implantátů vyvinutých pro pacienty se zdravou kostí (21). V biomechanické studii jsme hodnotili jednu z možností snížení rizika selhání implantátu augmentací transpedikulárních šroubů kostním cementem. Cílem bylo testovat hypotézu, zda má použití augmentovaných šroubů Socon CS nebo šroubů Socon vliv na pevnost spojení kost – šroub. Problém byl řešen experimentálním modelováním na kadaverózních obratlích s využitím standardního zkušebního stroje. Hodnotili jsme také vztah mezi kostní denzitou změřených obratlů a velikostí síly potřebné k uvolnění šroubů.

MATERIÁL A METODA

Bylo vytvořeno 12 vzorků s kadaverózními obratli Th12–L3 (věk zemřelých byl 68–86 let). Odběr obratlů za účelem použití v experimentální studii byl proveden v Ústavu patologie FN Brno se souhlasem multicentrické etické komise FN Brno. U všech vzorků obratlů byla změřena kostní denzita metodou DXA (Dual X-ray Absorptiometry) na přístroji Hologic Discovery W (S/N 82000). Obratle byly zalaty do bloku z durakrylu, který tak mohl být upnut do přípravku a do upínacích čelistí zkušebního stroje (obr. 1). Do obratlů bylo transpedikulárně zavedeno 20 titanových šroubů, z nich 10 kanylovaných šroubů Socon CS a 10 šroubů Socon, všechny o délce 55 mm a průměru 6 mm. Kanylované šrouby Socon CS jsou novým typem šroubů indikovaných k užití při zhoršené kvalitě kosti, v terénu osteoporózy nebo kostních nádorů. Kanylované šrouby s otvory v oblasti hrotu šroubu umožňují augmentaci, tj. vyplnění dutiny šroubu a spongiózní kosti v okolí hrotu šroubu nízkoviskózním kostním cementem ke zlepšení ukotvení šroubů v obratlovém těle. Šrouby jsou k dispozici v délkách 35–55 mm a průměru 6 mm. Tvar šroubu i výstupních otvorů pro cement na konci šroubu jsou patrné na rtg snímku (obr. 2a, b). Šrouby Socon CS



Obr.1. Upnutí vzorku ve zkušebním stroji s detailem transpedikulárně zavedených šroubů vpravo.

byly po zavedení augmentovány nízkoviskózním kostním cementem. Užili jsme cementovací kit Cimplant (B. Braun, Aesculap) určený originálně k augmentaci šroubů Socon CS nebo MACS XL (B. Braun, Aesculap). Cement jsme připravovali podle instrukcí výrobce a v doporučeném časovém intervalu jsme cement aplikovali do šroubů Socon CS originálním aplikátorem v množství 2–3 ml.

Šrouby Socon i Socon CS – po zatuhnutí cementu – byly zatěžovány tahovou silou v ose šroubu. Zkoušky byly provedeny na zkušebním stroji ZWICK Z 020-TND. Zatížení z pohyblivé čelisti zkušebního stroje bylo na šroub přenášeno přes ocelové lanko. Zatěžování bylo voleno monotónní (kontinuálně se zvyšující zatížení od zvolené počáteční hodnoty zatížení).

VÝSLEDKY

Kostní denzita všech změřených obratlů odpovídala buď pásmu osteopenie, tj. hodnotám T-skóre v rozmezí -1 až $-2,5$ SD (směrodatné odchylky), nebo pásmu osteoporózy, tj. hodnotám T-skóre $-2,5$ SD. Průměrná kostní denzita změřených obratlů odpovídala hodnotě $-3,1$ T-skóre. Hodnoty kostní denzity změřených vzorků, typ užitého šroubu (Socon, Socon CS) a hodnoty maximálních sil, při kterých došlo k porušení spojení kost – šroub jsou shrnuty v tab. 1. Porušení spojení kost – šroub se u jednotlivých vzorků objevilo jak ve vazbě kost – cement (obr. 3), tak ve vazbě cement – šroub.

Pro statistické zpracování byly naměřené hodnoty rozděleny do dvou tříd podle metody ukotvení v kosti.

Statistické vyhodnocení:

Cílem bylo testovat hypotézu, zda má použití šroubů Socon CS nebo Socon vliv na pevnost spojení kost – šroub. Testování statistických hypotéz bylo provedeno ve statistickém softwaru MINITAB 15.

Pro odhad střední hodnoty a směrodatné odchylky malých souborů bylo využito Hornova postupu. U vzorků se šrouby Socon jsme zjistili, že střední hodnota síly se se spolehlivostí 95 % pohybuje v intervalu od 259 do 428 N. (Parametr polohy je 344 N, parametr rozptýle-



a | b

Obr. 2a. Rtg snímek zavedených Socon CS šroubů, bez kostního cementu. Na snímku jsou patrné otvory na koncích šroubů Socon CS pro vyústění kostního cementu, který se aplikuje dutinou v ose šroubu.

Obr. 2b. Rtg snímek Socon CS šroubů po aplikaci kostního cementu

Tab. 1. Tabulka uvádí typ užitého šroubu (Socon/ Socon CS), hodnoty kostní denzity změřených vzorků a hodnoty maximálních sil, při kterých došlo k porušení spojení kost – šroub

Č. vzorku	Typ šroubu	Hodnota síly, při které dojde k porušení – F_{max} [N]	Kostní denzita	
			[g/cm ²]	T – skóre
1	Socon CS	794	0,573	-3,2
2	Socon CS	661	0,788	-1,2
3	Socon CS	500	0,573	-3,2
4	Socon CS	750	0,788	-1,2
5	Socon CS	380	0,564	-4,0
6	Socon CS	436	0,564	-4,0
7	Socon CS	674	0,723	-2,8
8	Socon CS	628	0,723	-2,8
9	Socon CS	584	0,597	-3,8
10	Socon CS	723	0,729	-2,7
11	Socon	307	0,558	-4,1
12	Socon	147	0,558	-4,1
13	Socon	407	0,746	-2,6
14	Socon	450	0,746	-2,6
15	Socon	464	0,796	-2,1
16	Socon	398	0,822	-2,4
17	Socon	400	0,822	-2,4
18	Socon	354	0,635	-3,5
19	Socon	166	0,635	-3,5
20	Socon	280	0,605	-3,7

ní je 127 N.) Pro vzorky se šrouby Socon CS platí pro velikost střední hodnoty síly interval od 463 do 760 N. (Parametr polohy je 612 N, parametr rozptýlení je 223 N.)

Parametrickým t-testem ($p < 0,0005$) a neparametrickým Kruskal-Wallis testem ($p = 0,001$) bylo zjištěno, že na hladině významnosti 5 % existuje statisticky významný rozdíl mezi oběma testovanými soubory. To znamená, že vzorky se šrouby Socon CS vykazovaly statisticky významně větší hodnoty vytrhávacích sil než vzorky se šrouby Socon. Průměrná hodnota vytrhávací síly pro vzorky se šrouby Socon CS byla 1,8krát větší než pro vzorky se šrouby Socon.

Dále jsme se také zabývali určením vztahu mezi maximální hodnotou síly potřebné k uvolnění šroubů a kostní denzitou (BMD, bone mineral density) u šroubů Socon CS a Socon. Pro šrouby Socon byla zjištěna statisticky významná ($p = 0,008$) lineární závislost, matematicky vyjádřitelná vztahem: síla = $-231 + 821 \text{ BMD}$. Znalostí kostní denzity jsme schopni vysvětlit 60,8 % celkové variability velikosti maximální hodnoty síly. Naopak u šroubů Socon CS se na hladině významnosti 5 % neprokázal lineární vztah mezi velikostí síly a kostní denzitou ($p = 0,065$).

DISKUSE

Zkoumání možností jak zvýšit sílu potřebnou k uvolnění šroubu bylo cílem mnoha in vitro i in vivo studií (4, 5, 6, 9, 11, 12, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24). Zvýšení pevnosti ukotvení lze dosáhnout užitím šroubů o větším průměru a délce, což je v praxi omezeno anatomickými podmínkami pediklů a obratlových těl (5). Další možností zvýšení pevnosti ukotvení je užití alternativních implantátů s rozhraním implantát – kost optimalizovaným na přenos zátěže, kde zvětšení periferní plochy implantátu může zlepšit ukotvení implantátu v osteoporotické kosti. Design implantátu má podstatný vliv na jeho primární i sekundární stabilitu a ovlivňuje dlouhodobé klinické výsledky (5, 12, 22). Zásadní vliv na zvýšení primární stability implantátů mají různé metody augmentace šroubů (2, 4, 5, 9, 18, 19, 20, 24). Adekvátní léčba osteoporotických zlomenin tedy vyžaduje adapta-



Obr. 3. Vytržený šroub ze vzorku s kostní denzitou 0,573 g/cm². Šroub se z kostní hmoty vytrhnul i s kostním cementem stabilizujícím šroub v osteoporotické spongiózní kosti.

ci implantátů na osteoporotickou kost (8, 16), současně je žádoucí podpořit i mechanismy kostního hojení – v zájmu snížení četnosti komplikací a následně i redukce nákladů na zdravotní péči (8).

V experimentu jsme vzhledem k významné závislosti výsledků na biomechanických vlastnostech vzorků, resp. kostní denzitě, zvolili užití čerstvých kadaverózních vzorků obratlů. Kostní denzita obratlů byla změřena v současnosti nejrozsáhlejší a doporučenou metodou dvouenergetické rentgenové absorpciometrie – DXA. Alternativní metoda měření – QCT, kvantitativní výpočetní tomografie, umožňuje rozlišení kortikální a spongiózní kosti a je specifitější pro měření kostní denzity spongiózy obratlových těl, avšak vzhledem k nákladnosti, omezené dostupnosti a vysoké radiační expozici není rutinní metodou (25).

Pro měření byly připraveny vzorky s 10 šrouby Socon CS augmentovanými kostním cementem a 10 šrouby Socon. Způsob zatěžování byl volen monotónní. Pro výsledné posouzení jsme hodnotili jen maximální dosaženou hodnotu síly, kdy došlo k uvolnění šroubu. Síla potřebná k uvolnění augmentovaných šroubů Socon CS byla signifikantně vyšší než u šroubů Socon. Tento výsledek je v souladu s následujícími experimentálními studiemi na kadaverózních vzorcích (2, 6, 9, 18, 19, 20, 24), které prokazují velmi dobrý efekt na primární stabilitu implantátu užitím různých metod augmentace šroubů.

Kostní cement, polymethylmetakrylát (PMMA), je považovaný za zlatý standard v možnostech zvýšení pevnosti ukotvení implantátů, s vědomím rizika při úniku mimo obratlové tělo ve spinální chirurgii (3, 12, 19). K augmentaci kanylovaného šroubu však je dostačující malé množství kostního cementu do okolí hrotu šroubu. Aplikací většího množství kostního cementu jako při vertebroplastice nedojde k dalšímu významnému zvýšení pevnosti ukotvení implantátu (9, 24), a současně se zvyšuje riziko závažných komplikací únikem kostního cementu mimo obratlové tělo (26). Frankel et al. neprokázal rozdíl v pevnosti ukotvení šroubů ve skupině s augmentací do 2,8 ml a nad 5,5 ml kostního cementu (9).

Jako alternativu kostního cementu – PMMA lze k augmentaci použít kalciumfosfátový nebo kalciumsulfátový cement. Experimentální studie při hodnocení pevnosti ukotvení prokazují ve srovnání s PMMA cementem menší efekt při užití kalciumfosfátového cementu (18), resp. srovnatelný efekt při použití kalciumsulfátového cementu (19). V obou případech se jednalo o aplikaci cementu do obratlového těla před zavedením šroubů. Jako výhody kalciumsulfátu a kalciumfosfátu autoři uváděli podstatně menší exotermický efekt, delší pracovní čas do ztuhnutí, potenciální osteokonduktivitu a biodegradabilitu během 30–60 dnů (18, 19). Pippan pak uvedl výhody augmentace speciálních kanylovaných šroubů ve srovnání s konvenční technikou cementování standardních šroubů – nižší riziko úniku kostního cementu mimo obratlové tělo, menší nároky na čas, nižší riziko kontaminace operačního pole kostním cementem (17).

Cook et al. prokázal zvýšení pevnosti ukotvení šroubů expandovaných rozpínacím šroubem, srovnatelné jako u nekanylovaných cementovaných šroubů. U PMMA cementem augmentovaných a následně expandovaných šroubů byl prokázán až 250procentní nárůst síly potřebné k uvolnění šroubu (6).

Burval v experimentální studii uvedl větší pevnost ukotvení transpedikulárních šroubů zavedených po provedení kyfoplastiky PMMA cementem než u cementovaných nekanylovaných šroubů (2). Sarzier et al. v podobné studii prokázal přibližně dvojnásobné zvýšení pevnosti ukotvení šroubů aplikovaných do obratle po provedení vertebroplastiky s užitím PMMA ve srovnání s necementovanými šrouby (20).

Stankewich et al. na kadaverózních vzorcích proximálního femuru s iatrogení frakturou, stabilizovanou 3 kanylovanými spongiózními šrouby prokázal významné zvýšení síly potřebné k uvolnění šroubů (170 %) u poloviny vzorků, kde byly šrouby augmentovány kalciumfosfátovým cementem. Zvýšení pevnosti ukotvení nevykazovalo inverzní korelaci s kostní denzitou vzorků. Byla prokázána jen slabá korelace s množstvím aplikovaného cementu a inverzní korelace s velikostí síly potřebné k uvolnění šroubů u kontrolních vzorků bez augmentace kostním cementem (24). Tyto výsledky jsou v souladu s výsledky naší studie, kde naměřené hodnoty kostní denzity vzorků a velikostí sil potřebných k uvolnění šroubů Socon svědčily pro určitou korelaci. Naopak u šroubů Socon CS se po zpevnění jejich ukotvení v osteoporotické kosti augmentací kostním cementem korelace již neprokázala.

Podle dosavadních experimentálních studií nelze provést dostatečně přesnou předpověď maximálního možného zatížení šroubů jako funkce lokální kostní morfologie. Síla potřebná k uvolnění šroubů závisí na hodnotách BMD měřených metodou QCT nebo DXA, ovšem byla prokázána jen slabá korelace. Studie zjišťující velikost síly potřebné k vytržení šroubů z tibie ve vztahu ke tloušťce kortikální kosti a kostní denzitě spongiózní kosti podle hodnot QCT vyšetření prokázala, že v oblastech s tloušťkou kortikalis pod 1,5 mm je velikost síly potřebná k uvolnění implantátu určována kostní denzitou spongiózní kosti. Hodnocení tloušťky kortikalis a kostní denzity spongiózy přitom odhalilo velké variace mezi vzorky i v různých segmentech stejných vzorků (23). Mechanické vlastnosti kosti dále závisely nejen na kostní denzitě, ale i na struktuře spongiózní kosti (21).

Zkušenosti s užitím augmentace kanylovaných šroubů kostním cementem jsou ověřovány v klinických studiích (10, 11). Fransen nezaznamenal komplikace a jako výhodu metody uvedl efekt obdobný jako při vertebroplastice (zpevnění obratlového těla a event. analgetický efekt). Zajištění primární stability šroubu má jednak umožnit užití kratší montáže se zachováním mobilních segmentů a jednak snížit riziko selhání implantátu (11). Frankel et al. ze specifických komplikací zaznamenal případy asymptomatického úniku kostního cementu mimo obratlové tělo (10).

ZÁVĚR

Statistické zpracování naměřených dat potvrzuje, že u šroubů Socon CS dochází k porušení ukotvení při signifikantně vyšší hodnotě síly než u šroubů Socon. Lze tedy konstatovat, že efekt byl prokázán – v souladu s mechanickou podstatou zvýšení pevnosti ukotvení kanylovaných šroubů přídavným materiálem, který vyplní chybějící kostní hmotu. Z výsledků analýzy závislosti mezi hodnotou síly potřebné k uvolnění šroubů a kostní densitou vyplývá, že u šroubů Socon naměřené hodnoty svědčí pro určitou korelaci. U šroubů Socon CS augmentovaných kostním cementem se korelace mezi velikostí síly a kostní densitou neprokázala.

Augmentace šroubů kostním cementem se jeví jako vhodná metoda zvýšení pevnosti ukotvení šroubů v indikovaných případech u pacientů se sníženou kvalitou kosti. K ověření metody jsou vhodné další zkušenosti s užitím šroubů Socon CS.

Děkujeme MUDr. MVDr. Janu Šlesingrovi a pracovníkům Osteologického centra Brno za laskavé zajištění densitometrického vyšetření vzorků pro biomechanickou studii.

Děkujeme pracovníkům Ústavu patologie FN Brno pod vedením přednosty Prof. MUDr. Jirky Mačáka, CSc. za umožnění odběru vzorků obratlů k užití v biomechanické studii.

Literatura

1. AUGAT, P., SIMON, U., LIEDERT, A., CLAES, L.: Mechanics and mechano-biology of fracture healing in normal and osteoporotic bone. *Osteoporos. Int.*, 16: S36–S43, 2005.
2. BURVAL, D. J., MCLAIN, R. F., MILKS, R., INCEOGLU S.: Primary pedicle screw augmentation in osteoporotic lumbar vertebrae: biomechanical analysis of pedicle fixation strength. *Spine*, 32: 1077–1083, 2007.
3. CHANG, M. C., LIU, C. L., CHEN, T. H.: Polymethylmethacrylate augmentation of pedicle screw for osteoporotic spinal surgery: a novel technique. *Spine*, 33: E317–E324, 2008.
4. CHEN, L., TAI, C., LAI, P., LEE, D., TSAI, T., FU, T., NIN, C., CHEN, W.: Pullout strength for cannulated pedicle screws with bone cement augmentation in severely osteoporotic bone. Influence of radial hole and pilot hole tapping. *Clin. Biomech.*, 24: 613–618, 2009.
5. COOK, S. D., BARBERA, J., RUBI, M., SALKELD, S. L., WHYTECLOUD, T. S. 3rd: Lumbosacral fixation using expandable pedicle screws. an alternative in reoperation and osteoporosis. *Spine J.*, 1: 109–114, 2001.
6. COOK, S. D., SALKELD, S. L., STANLEY, T., FACIENE, A., MILLER, S. D.: Biomechanical study of pedicle screw fixation in severely osteoporotic bone. *Spine J.*, 4: 402 – 408, 2004.
7. EGERMANN, M., GOLDHAHN, J., SCHNEIDER, E.: Animal models for fracture treatment in osteoporosis. *Osteoporos. Int.*, 16: 129–138, 2005.
8. EGERMANN, M., SCHNEIDER, E., EVANS, C. H., BALTZER, A. W.: The potential of gene therapy for fracture healing in osteoporosis. *Osteoporos. Int.*, 16: 120–128, 2005.
9. FRANKEL, B. M., D AGOSTINO, S., WANG, C.: A biomechanical cadaveric analysis of polymethylmethacrylate-augmented pedicle screw fixation. *J. Neurosurg. Spine*, 7: 47–53, 2007.
10. FRANKEL, B. M., JONES, T., WANG, C.: Segmental polymethylmethacrylate-augmented pedicle screw fixation in patients with bone softening caused osteoporosis and metastatic tumor involvement: a clinical evaluation. *Neurosurgery*, 61: 531–537, 2007.
11. FRANSEN, P.: Increasing pedicle screw anchoring in the osteoporotic spine by cement injection through the implant. Technical note and report of three cases. *J. Neurosurg. Spine*, 7: 366–369, 2007.
12. GOLDHAHN, J., SEEBECK, J., FREI, R., FRENZ, M., ANTONIADIS, I., SCHNEIDER, E.: New Implant design for fracture fixation in osteoporotic bone. *Osteoporos. Int.*, 16: 112–119, 2005.
13. JOHNNELL, O., KANIS, J.: Epidemiology of osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*, 16: S3–S7, 2005.
14. KOUDELA, K., KASAL, E., MATĚJKA, J., VYSKOČIL, V.: Geriatrická traumatologie – vize nebo skutečnost? *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 76: 338–343, 2009.
15. LIPPUNER, K., GOLDER, M., GREINER, R.: Epidemiology and direct medical costs of osteoporotic fractures in men and women in Switzerland. *Osteoporos. Int.*, 16: S8–S17, 2005.
16. PERREN, S. M., LINKE, K., SCHWIEGER, K., WAHL, D., SCHNEIDER, E.: Aspects of internal fixation of fractures in porotic bone – principles, technologies and procedures using locked plate screws. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 72: 84–97, 2005.
17. PIPPAN, M. C., RICHTER, M.: Spinal body reconstruction in osteoporosis. *Eur. J. Trauma*, 32: 238–243, 2006.
18. RENNER, S. M., LIM, T. H., KIM, W. J., KATOLIK, L., AN, H. S., ANDERSSON, G. B.: Augmentation of pedicle screw fixation strength using an injectable calcium phosphate cement as a function of injection timing and method. *Spine*, 29: E212–E216, 2004.
19. ROHMILLER, M. T., SCHWALM, D., GLATTES, R. C., ELA-LAYLI, T. G., SPENGLER D. M.: Evaluation of calcium sulfate paste for augmentation of lumbar pedicle screw pullout strength. *Spine J.*, 2: 255–260 2002.
20. SARZIER, J. S., EVANS, A. J., CAHILL, D. W.: Increased pedicle screw pullout strength with vertebroplasty augmentation in osteoporotic spines. *J. Neurosurg.*, 96: 309–312, 2002.
21. SCHNEIDER, E., GOLDHAHN, J., BURCKHARDT, P.: The challenge: fracture treatment in osteoporotic bone. *Osteoporos. Int.*, 16: 1–2, 2005.
22. SCHULTHEISS, M., HARTWIG, E., CLAES, L., KINZL, L., WILKE, H. J.: Influence of screw-cement enhancement on the stability of anterior thoracolumbar fracture stabilization with circumferential instability. *Eur. Spine J.*, 13: 598–604, 2004.
23. SEEDBECK, J., GOLDHAHN, J., MORLOCK, M. M., SCHNEIDER, E.: Mechanical behavior of screws in normal and osteoporotic bone. *Osteoporos. Int.*, 16: 107–111, 2005.
24. STANKEWICH, C. J., SWIONTKOWSKI, M. F., TENCER, A. F., YETKINLER, D. N., POSER, R. D.: Augmentation of femoral neck fracture fixation with an injectable calcium – phosphate bone mineral cement. *J. Orthop. Res.*, 14:786 – 793, 1996.
25. ŠTĚPÁN, J.: Osteoporóza v praxi. Praha, Triton 1997.
26. VČELÁK, J., TÓTH, L., ŠLÉGL, M., ŠUMAN, R., MAJERNÍČEK, M.: Vertebroplastika a kyfoplastika – metoda léčby osteoporotických zlomenin páteře. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 76: 54–59, 2009.

Korespondující autor:
MUDr. Iva Janů, Ph.D.
Úrazová nemocnice v Brně
Ponávka 6, 662 50 Brno
E-mail: iva.janu@seznam.cz