

Univerzita Karlova v Praze

Lékařská fakulta v Plzni



Autoreferát disertační práce

Miniinvazivní stabilizace poranění zadního pánevního segmentu transiliakálním vnitřním fixátorem a dvěma iliosakrálními šrouby: srovnání funkčních výsledků a biomechaniky

Minimally invasive stabilization of posterior pelvic ring injuries with a transiliac internal fixator and two iliosacral screws: comparison of outcome and biomechanics

MUDr. Martin Salášek

Plzeň 2014

Disertační práce byla vypracována v rámci doktorského studijního programu
Ortopedie
na LF UK v Plzni
Uchazeč: MUDr. Martin Salášek
Pod Švábinami 49, 312 04 Plzeň

Školitel: Doc. MUDr. Tomáš Pavelka, Ph.D.

Školitelé pro biomechanickou studii: Prof. Ing. Jiří Křen, CSc.,

as. Ing. Magdalena Jansová, Ph.D.

Oponenti: Doc. MUDr. Valér Džupa, CSc.
Ortopedicko-traumatologická klinika 3. LF UK a FNKV
Šrobárova 50, 100 34 Praha 10,
Prof. MUDr. Ladislav Plánka, Ph.D.
Přednosta Kliniky dětské chirurgie, ortopedie a traumatologie
Lékařská fakulta MU a Fakultní nemocnice Brno
Černopolní 9, 613 00 Brno

Stanovisko k disertační práci vypracovalo vedení

LF UK a FN v Plzni

Autoreferát byl rozeslán dne:

Obhajoba disertační práce před komisí pro obhajobu disertačních prací
doktorského studijního programu v oboru Ortopedie se koná dne:
30.9.2014 vhod.

Místo obhajoby:

S disertační prací je možno se seznámit na děkanátě Lékařské fakulty
Univerzity Karlovy v Plzni, Husova 3, 306 05 Plzeň

Prof. MUDr. Karel Koudela, CSc.
Předseda komise pro obhajobu disertačních prací v oboru Ortopedie,
přednosta Kliniky ortopedie a traumatologie pohybového ústrojí
LF UK a FN Plzeň
Alej Svobody 80, 304 60 Plzeň

Východisko

Nestabilní poranění pánevního kruhu patří mezi závažná traumata v každém věku. V etiologii převládá vysokoenergetický mechanizmus úrazu. Akutní stabilizace zadního pánevního segmentu je nezbytná nejen pro dosažení hemodynamické stability, ale i pro umožnění intenzivní péče. Stabilizace transiliakálním vnitřním fixátorem (TIFI) nebo perkutánní implantace iliosakrálních šroubů (IS) umožňují miniinvasivní osteosyntézu v akutním období.

Cíle studie

Srovnání klinických a radiologických výsledků stabilizace poranění zadního pánevního segmentu TIFI, resp. 2 IS.

Srovnání biomechaniky při deformačně-napjatostní analýze, tj. porovnání tuhosti a napětí TIFI a IS při stabilizaci vertikálně nestabilních transforaminálních zlomenin.

Metodika klinické studie

Prospektivní studie v období 9/2008 až 1/2014. V souborech byla sledována základní epidemiologická data, výskyt polytraumat, doba do osteosyntézy. Vyhodnoceny byly peroperační a pooperační komplikace. Kategoriální data byla vyhodnocena Fisherovým exaktním testem, resp. χ^2 testem, spojitá data Studentovým t-testem a F-testem pro rozptyl, jako statisticky významné byly hodnoceny výsledky s hodnotou $p < 0,05$. Radiologické výsledky byly hodnoceny podle Matty, klinické výsledky dle Majeedova skóre, resp. Pelvic Outcome Score. Byly srovnávány jednak průměrné výsledky daných skórovacích systémů, jednak bylo provedeno vyhodnocení poměrného zastoupení jednotlivých kategorií výsledků. V případě Majeedova skóre bylo dále provedeno srovnání podle typu zlomeniny kosti křížové.

Soubor pacientů

V souboru TIFI bylo 16 mužů a 16 žen, průměrného věku 37,9 let. V souboru IS bylo 22 mužů a 10 žen, průměrného věku 42,9 let. V obou souborech bylo nejvíce poranění C1.3 ($p = 1,00000$), v zastoupení jednotlivých typů poranění dle AO klasifikace nebyly významné rozdíly

($p = 0,16816$). U TIFI převažovaly transforaminální zlomeniny (50,0 % zlomenin), u IS transalární (63,6 % zlomenin). Polytraumatizovaných bylo 27 pacientů (84,4 %) u TIFI, resp. 25 (78,1 %) u IS ($p = 0,74996$).

Metodika biomechanické studie

Na podkladě CT skenů o tloušťce 0,8 mm byl vytvořen 3D model pánve, ze kterého byl získán ve speciálním softwaru konečnoprvkový (FE) model s tetraedrickými prvky. Byla simulována kompletní jednostranná transforaminální zlomenina, následně implantován TIFI, resp. 2 IS.

Na modelech s aplikovanou fixací byla testována v oblasti báze kosti křížové vertikální zátěž (500 N), přičemž se sledovaly dislokační pohyby v oblasti linie lomu. V případě dislokace byly na konečnoprvkovém modelu měřeny dislokační pohyby vybraných nodů ve směru os x , y a z a dále **velikost dislokace (magnitude) Δl** , která je v případě naměřených posunů

nodu A x_A , y_A , z_A určena vztahem: $\Delta l_A = \sqrt{x_A^2 + y_A^2 + z_A^2}$. Modely měly jednak grafický výstup ve formě barevného mapování, jednak data ve formě grafů závislosti velikosti zátěže na dislokaci, resp. zátěže na napětí, linearita závislosti dat byla ověřována pomocí **koefficientu spolehlivosti R^2** (počítaného v MS Excel© - v balíčku analýzy dat, regrese). Z grafu závislosti zátěže na dislokaci byly určeny velikosti tuhosti fixací TIFI a 2 IS, které byly porovnány s výsledky u modelu neporaněné pánve. Z dat byl určen poměr tuhosti v %, v případě TIFI bylo určeno vztahem:

poměr tuhostí(TIFI) = $\frac{k_{TIFI}}{k_0} \cdot 100$, kde k_{TIFI} je tuhost fixace vypočtená

při fixaci TIFI a k_0 je tuhost neporaněné pánve. Hodnoty tuhosti byly získány pomocí lineární regrese z dat závislosti působící zátěže a velikosti dislokace. Lineární regrese byla u všech modelů provedena v MS Excel. V případě modelování fixace TIFI a IS byly dislokace měřeny vždy ve dvou nodech, které přiléhaly k lomné linii, tj. **mediálně** (blíže k centrální části kosti křížové) a **laterálně umístěný nodus** (v linii blíže k SI kloubu). V případě neporaněné pánve jsou dané nody totožné, neboť zde chybí simulovaná linie lomu. Při lineárně regresní analýze byl kromě vypočtených středních hodnot tuhosti určován i 95% interval spolehlivosti (95% CI, tj. dolní a horní meze pro danou tuhost a spolehlivost 95 %). Lineární závislost dat byla ověřována koeficientem spolehlivosti R^2 , byla požadována hodnota alespoň 0,99.

Data byla měřena v prvcích, které byly lokalizovány v následujících oblastech: **centrální část báze (B)**, **kaudální okraj foramen S1** v oblasti transforaminální linie lomu (1), **kaudální okraj foramen S2** v oblasti linie lomu (2), dále **v kaudální oblasti foramen S3** (3) a také i **foramen S4** (4). V oblasti S1 až S4 byly analyzovány vždy 2 nody – na laterální ploše lomné linie a na mediální ploše lomné linie. V každém z uvedených nodů byl určen příslušný poměr tuhosti (včetně 95% CI). Ze získaných hodnot byl určen aritmetický průměr a skupiny dat pro TIFI a IS byly porovnány pomocí Studentova t-testu a F-testu pro rozptyl, významná byla $p < 0,05$.

Napětí σ bylo vyhodnoceno také jednak pomocí barevného mapování, jednak pomocí Von Mises stress ratio. Napětí obou fixací bylo posuzováno v prvcích, ve kterých dosáhlo maximální hodnoty v oblasti kosti. Ze získaných dat bylo určeno Von Mises stress ratio v %, v případě

TIFI tak platil vztah: Von Mises stress ratio(TIF) = $\frac{\sigma_{TIFI}}{\sigma_0} \cdot 100$,

kde σ_{TIFI} je napětí vypočtené v modelu TIFI a σ_0 je napětí u modelu neporaněné pánve. V případě IS je analogicky daný vztah

Von Mises stress ratio(IS) = $\frac{\sigma_{IS}}{\sigma_0} \cdot 100$, kde σ_{IS} je mechanické napětí

v modelu IS. Dané poměry byly určeny pro všechna data od 250 do 500 N zátěže a byla určena průměrná hodnota pro toto rozmezí zátěže. Průměrné hodnoty byly porovnány pomocí Studentova t-testu a F-testu pro rozptyl (jako významný rozdíl byla posuzována hodnota pravděpodobnosti $p < 0,05$).

Výsledky klinické studie

Při stabilizaci TIFI byla průměrná dislokace zadního segmentu 2,2 mm (0,0-11,6), v souboru IS 1,9 mm (0,0-7,0, $p = 0,58542$), průměrná dislokace symfýzy u TIFI 2,1 mm (0,0-11,0), u IS 3,8 mm (0,0-13,3), $p = 0,03183$. V oblasti pubických ramének byl při TIFI průměrný posun 5,5 mm (0,0-20,8), u IS 4,6 mm (4,6-19,6, $p = 0,43012$).

Při hodnocení klinických výsledků dle Pelvic Outcome Score bylo u TIFI následující zastoupení: výborné 28,0 %, dobré 12,0 %, uspokojivé 48,0 % a neuspokojivé 4,0 %, zatímco u IS výborné v 11,1 %, dobré 22,2 %, uspokojivé 66,7 %, neuspokojivé 0,0 % ($p = 0,51731$).

Dle Majeedova skóre byly výborné výsledky v celém souboru TIFI u 56,0 % pacientů, dobré u 16,0 %, uspokojivé u 20,0 % a neuspokojivé u 8,0 %, v celém souboru IS výborné u 50,0 %, dobré u 27,8 %, uspokojivé u 11,1 % a neuspokojivé u 11,1 % ($p = 0,70187$). V souboru TIFI bylo průměrné Majeedovo skóre 80,64 bodů, zatímco v souboru IS 80,67 bodů ($p = 0,99654$).

U Majeedova skóre bylo dále určeno zastoupení výsledků dle typu zlomenin kosti křížové (podle Pohlemannovy klasifikace). Pro statistické srovnání byly vhodné jen typy I a II, u ostatních typů nebylo možné pro nízké zastoupení provedení validního srovnání. U souboru TIFI bylo v případě zlomenin **Pohlemann I** průměrné Majeedovo skóre 97,3 bodů, zatímco u IS jen 82,4 bodů, nicméně dané rozdíly **nebyly při Studentově t-testu statisticky významné** ($p = 0,11794$). **V případě zlomenin Pohlemann II bylo také zaznamenáno vyšší průměrné Majeedovo skóre u souboru TIFI** (82,8 bodů) než v případě IS (53,5 bodů), nicméně v tomto případě rozdíly dosáhly statistické významnosti ($p = 0,04517$). Pro ověření dosažené statistické významnosti byl dále použit Anova test, při kterém se srovnávaly rozdíly mezi všemi 4 skupinami (TIFI Pohlemann I, TIFI Pohlemann II, IS Pohlemann I a IS Pohlemann II). Dle Anova testu byly **opět prokázány statisticky významné rozdíly mezi těmito skupinami** ($p = 0,04830$). Post hoc srovnáním dat v rámci souboru TIFI a IS mezi oběma typy zlomenin Studentovým t-testem **nebyly v případě TIFI významné rozdíly** ($p = 0,20113$), zatímco **u IS byly rozdíly výsledků Majeedova skóre mezi zlomeninami Pohlemann I a II statisticky významné** ($p = 0,02707$). Dané výsledky tak **ukazují superioritu TIFI v případě fixace jednostranných transforaminálních zlomenin kosti křížové** (Pohlemann II).

V souboru **TIFI nebyly neurovaskulární peroperační komplikace**, v souboru **IS se vyskytlo jednu poranění a. glutea superior**

(3,1 %), **dvakrát iatrogenní neurologické poranění** (kořene S1 (3,1 %), L5 (3,1 %)), $p = 0,23810$.

V obou souborech se vyskytla jednou infekční komplikace v oblasti vstupu ($p = 1,00000$), dehiscence rány se nevyskytla ani v jednom souboru. Všechna poranění v obou souborech byla zhojena do 6 měsíců od poranění, takže se nevyskytl žádný pakloub v oblasti zadního pánevního segmentu.

V souboru TIFI se při extrakci implantátů nevyskytlo ponechání části osteosyntetického materiálu v oblasti zadního segmentu, tj. úspěšnost extrakce byla 100,0 %. V souboru IS se kompletní extrakce šroubů včetně podložek podařila u 7 pacientů (46,7 % ze všech pokusů o extrakci), u 6 pacientů byla podložka významně přerostlá kostí zadní části lopaty kosti kyčelní, podložky tak byly ponechány in situ (40,0 %). Rozdíly v ponechání části implantátů byly statisticky významné ($p = 0,01686$). Ponechání podložky bylo provázeno **jednou pooperačním hematodem**, jednou sanguinolentní sekrecí z rány a **jednou infekční komplikací** v oblasti vstupu. **Nemožnost vynětí IS se vyskytla u 2 pacientů** (13,3 % ze všech pokusů o vynětí), nicméně neúspěšné pokusy o vynětí IS nebyly doprovázeny pooperačními komplikacemi.

V soubodu TIFI se tak nevyskytly po extrakci implantátů žádné komplikace (0,0 %), v souboru IS byly komplikace celkem u 9 pacientů (64,3 %). Při srovnání zastoupení komplikovaného a nekomplikovaného průběhu při extrakci implantátů ze zadního segmentu Fisherovým exaktním testem 2x2 **byly statisticky vysoce významné rozdíly** ($p = 0,00070$).

Výsledky biomechanické studie

TIFI měl na laterální ploše zlomeniny **průměrný poměr tuhosti 75,22 %**, u **IS** byl jen **46,54 %** ($p = 0,00005$), na mediální ploše **TIFI** byl **57,88 %**, u **IS** **poté 44,74 %** ($p = 0,03996$). Při hodnocení grafů parciálních dislokací **ve směru osy x** (mediolaterální posun) nedosáhly rozdíly při Fisherově exaktním testu statistické významnosti ($p = 0,34694$). Naopak v případě **parciálních dislokací ve směru osy y** (anterioposteriorní translace) byla ve všech 9 vyhodnocovaných grafech **nižší parciální dislokace u TIFI**, což potvrdila **velmi vysoká statistická významnost** ($p = 0,00004$). U parciální dislokace ve směru osy z (kaudokraniální posun) byly rozdíly statisticky nevýznamné ($p = 1,00000$).

Von Mises stress ratio bylo **v oblasti kosti u TIFI průměrně 139,27 %**, zatímco u **IS 565,35 %** ($p < 0,00001$).

Při hodnocení barevného mapování byl u TIFI patrný nevýznamný vertikální posun, zatímco u iliosakrálních šroubů docházelo ke kompresi

v oblasti kraniální části linie a zároveň k distrakci v kaudální oblasti transforaminální linie, docházelo tak ke kompresi zejména v oblasti foramen S1. Maximum dislokace leželo parakokygeálně při kaudálním konci transforaminální linie u obou typů fixace. Maximální napětí bylo u TIFI lokalizováno ve ventrální části segmentu S1 při bázi kosti křížové, na mediální ploše lomné linie, zatímco v případě IS bylo maximální napětí dosaženo v centrální části segmentu S1, v těsném okolí obou šroubů na laterální ploše lomné linie (v oblasti kaudálněji umístěného šroubu). Maximální napětí v extraoseální části TIFI bylo naopak dosaženo mediálně od hlavičky polyaxiálního šroubu, kontralaterálně od linie lomu.

Závěr

Transiliakální vnitřní fixátor (TIFI) představuje jednu z možností fixace poranění zadního pánevního segmentu typu C. Mezi jeho **výhody patří miniinvazivní zavedení, krátká operační doba, velmi nízké riziko iatrogenního neurovaskulárního poranění, malé krevní ztráty, nízké riziko infekčních komplikací.**

Jednoznačnou **nevýhodou TIFI je nutnost implantace v pronáční poloze**, což omezuje využití u polytraumatizovaných pacientů s poraněním hrudníku a břicha v akutním období ošetření. K nevýhodám lze dále zařadit nemožnost ošetření neurovaskulárních struktur při miniinvazivním přístupu, **nutnost doplnění fixace při bilaterálních poraněních zadního segmentu.**

Výhodná je implantace TIFI zejména u transforaminálních a centrálních zlomenin kosti křížové (Denis II, III, resp. Pohlemann II, III), kde na rozdíl od IS je TIFI spojen s nízkým rizikem nadměrné komprese foramin a následného rozvoje iatrogenního neurologického poranění. Navíc je možná implantace TIFI i při mírné reziduální dislokaci, kdy je snížena velikost bezpečné zóny pro implantaci IS. Rozdíly klinických a radiologických výsledků TIFI a IS byly při hodnocení celých souborů nevýznamné, TIFI vykazoval superioritu pro fixaci jednostranných transforaminálních zlomenin (Pohlemann II) v hodnocení dle Majeedova skóre. IS byly provázeny vyšším procentem komplikací nejen při primární implantaci, ale i při jejich extrakci, kdy bylo významně vyšší ponechání části implantátů (podložek šroubů).

Jak fixace TIFI, tak 2 IS poskytují dostatečnou stabilitu pro miniinvazivní stabilizaci transforaminálních zlomenin. Nicméně z dat biomechanické deformačně-napjatostní analýzy na konečnoprvkovém modelu vyplývá **významně vyšší tuhost fixace TIFI a zároveň nižší**

velikost napětí (vyjádřeného jako Von Mises stress) v oblasti segmentu S1, takže je nižší riziko nadměrné komprese v oblasti lomné linie ve srovnání s 2 IS. Zejména se to týká těch zlomenin, u nichž je přítomná **kominutivní zóna**. Nadměrná komprese transforaminální linie může být spojena s dislokací intraforaminálních fragmentů, což vede ke snížení objemu foramin. Díky zmenšenému prostoru foramin dochází k útlaku nervových kořenů, který může být příčinou iatrogenního neurologického poškození.

TIFI vykazuje jak klinickou, tak biomechanickou **superioritu pro fixaci jednostranných transforaminálních zlomenin**.

Podpora: This work was supported by the European Regional Development Fund (ERDF), project European Centre of Excellence, NTIS - New Technologies for Information Society, CZ.1.05/1.1.00/02.0090.

Seznam publikací v časopisech (ke dni 2. 6. 2014), IF 2013 dle JCR ISI Web of Knowledge

1. SALÁŠEK, M., JANSOVÁ, M., KŘEN, J., PAVELKA, T., WEISOVÁ, D. Biomechanical comparison of a transiliac internal fixator and two iliosacral screws in transforaminal sacral fractures, a finite element analysis. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. ABB-00054-2014-02, in press. **IF 0,979**, ISSN 1509-409X.
2. SALÁŠEK, M., PAVELKA, T. [Minimally invasive fixation of the pelvic ring with a transiliacal internal fixator]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2012,**79**(4),335-40. Czech. ISSN 0001-5415.
3. SALÁŠEK, M., PAVELKA, T. [Pelvic ring injuries: current concepts of management]. *Cas Lek Cesk*. 2011,**150**(8),433-7. Review. Czech. ISSN 0139-889X.
4. WEISOVÁ D, SALÁŠEK M, PAVELKA T. [Hip fractures]. *Cas Lek Cesk*. 2013,**152**(5),219-25. Czech. ISSN 0139-889X.
5. PAVELKA, T., SALÁŠEK, M., WEISOVÁ, D. [Complications associated with surgical treatment of pelvic ring fractures]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2013,**80**(3),208-15. Czech. **IF 0,415**, ISSN 0001-5415.
6. ZEMAN, J., MATĚJKA, J., MATĚJKA, T., SALÁŠEK, M., ZEMAN, P., NEPRAŠ, P. [Open reduction and plate fixation (ORIF LCP) for treatment of bilateral calcaneal fractures]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2013,**80**(2),142-7. Czech. **IF 0,415**, ISSN 0001-5415.

Seznam použité literatury pro disertační práci

1. AKAGI, M., IKEDA, N., FUKIAGE, K. a NAKAMURA, T. A modification of the retrograde medullary screw for the treatment of bilateral pubic ramus nonunions, a case report. *J Orthop Trauma*. 2002 Jul, **16**(6), 431-3. ISSN 0890-5339.
2. ALTMAN, D.T., JONES, C.B. a ROUTT ML JR. Superior gluteal artery *Injury* during iliosacral screw placement. *J Orthop Trauma*. 1999 Mar-Apr, **13**(3), 220-7. ISSN 0890-5339.
3. ANTEKEIER, S.B., ANTEKEIER, D.P., CRAWFORD, C.H. a MALKANI, A.L. Accuracy of computer assisted percutaneous placement of iliosacral screws, a cadaveric study. *Comput Aided Surg*. 2003, **8**(4), 198-203. ISSN 1097-0150.
4. ATLÍHAN, D., BOZKURT, M., TURANLÍ, S., DOĞAN, M., TEKDEMIR, I. a ELHAN, A. Anatomy of the posterior iliac crest as a reference to sacral bar insertion. *Clin Orthop Relat Res*. 2004 Jan, (418), 141-5. ISSN 1528-1132.
5. BÁČA, V., BÁČOVÁ, T., GRILL, R., OTČENÁŠEK, M., KACHLÍK, D., BARTOŠKA, R. a DŽUPA, V. Pudendal nerve in pelvic bone fractures. *Injury*. 2013 Feb 2. doi:pii, S0020-1383(12)00537-2. 10.1016/j.Injury.2012.12.004. ISSN 0020-1383.
6. BARRICK, E.F., O'MARA, J.W., LANE, H.E. Iliosacral screw insertion using computer-assisted CT image guidance, a laboratory study. *Comput Aided Surg*. 1998, **3**(6), 289-96. ISSN 1097-0150.
7. BECK, M., KRÖBER, M. a MITTLMEIER, T. Intraoperative three-dimensional fluoroscopy assessment of iliosacral screws and lumbopelvic implants stabilizing fractures of the os sacrum. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010 Nov, **130**(11), 1363-9. ISSN 0936-8051.
8. BELLABARBA, C., STEWART, J.D., RICCI, W.M., DIPASQUALE, T.G. a BOLHOFNER, B.R. Midline sagittal sacral fractures in anterior-posterior compression pelvic ring injuries. *J Orthop Trauma*. 2003 Jan, **17**(1), 32-7. ISSN 0890-5339.
9. BODZAY, T., FLÓRIS, I. a VÁRADI, K. Comparison of stability in the operative treatment of pelvic injuries in a finite element model. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2011 Oct, **131**(10), 1427-33. ISSN 0936-8051.
10. BODZAY, T., SZITA, J., MANÓ, S., KISS, L., JÓNÁS, Z., FRENYÓ, S. a CSERNÁTONY, Z. Biomechanical comparison of two stabilization techniques for unstable sacral fractures. *J Orthop Sci*. 2012 Sep, **17**(5), 574-9. doi: 10.1007/s00776-012-0246-4. ISSN 0949-2658.

11. BODZAY, T., SZTRINKAI, G., GÁL, T., SIMONOVICS, J. a VÁRADI, K. How bilateral iliolumbar fusion increases the stability of horizontal osteosynthesis in unstable pelvic ring injuries? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013 Jul, **133**(7), 947-52. doi: 10.1007/s00402-013-1762-1. ISSN 0936-8051.
12. BÖHME, J., SHIM, V., HÖCH, A., MÜTZE, M., MÜLLER, C. a JOSTEN, C. Clinical implementation of finite element models in pelvic ring surgery for prediction of implant behavior, A case report. *Clin Biomech* (Bristol, Avon). 2012, **27**(9), 872-8. doi:10.1016/j.clinbiomech.2012.06.009. ISSN 0268-0033.
13. BÖHME, J., STEINKE, H., HUELSE, R., HAMMER, N., KLINK, T., SLOWIK, V. a JOSTEN, C. [Complex ligament instabilities after "open book"-fractures of the pelvic ring – finite element computer simulation and crack simulation]. *Z Orthop Unfall.* 2011 Jan, **149**(1), 83-9. ISSN 1864-6743.
14. BRIEM, D., RUEGER, J.M., BEGEMANN, P.G., HALATA, Z., BOCK, T., LINHART, W. a WINDOLF, J.[Computer-assisted screw placement into the posterior pelvic ring, assessment of different navigated procedures in a cadaver trial]. *Unfallchirurg.* 2006 Aug, **109**(8), 640-6. German. ISSN1433-044X.
15. BUMBASIREVIĆ, M., LESIĆ, A., ZAGORAC, S. a COBELJIĆ, G. [Martin Kirschner (1879-1942), the founder of modern trauma clinics and emergency medicine]. *Srp Arh Celok Lek.* 2009 Jul-Aug, **137**(7-8), 449-53. Serbian. ISSN 0370-8179.
16. CASEY, D., MIRRA, J. a STAPLE, T.W. Parasympyseal insufficiency fractures of the os pubis. *AJR Am J Roentgenol.* 1984 Mar, **142**(3), 581-6. ISSN 0361-803X.
17. CLEMENTS, J.P., MORIATY, N., CHESSER, T.J., WARD, A.J. a CUNNINGHAM, J.L. Determination of pelvic ring stability, a new technique using a composite hemi-pelvis. *Proc Inst Mech Eng H.* 2008 Jul, **222**(5), 611-6. ISSN 2041-3033
18. COSKER, T.D., GHANDOUR, A., GUPTA, S.K. a TAYTON, K.J. Pelvic ramus fractures in the elderly, 50 patients studied with MRI. *Acta Orthop.* 2005 Aug, **76**(4), 513-6. ISSN 1745-3674.
19. CULEMANN, U., OESTERN, H.J. a POHLEMANN, T. [Current treatment of pelvic ringfractures].*Unfallchirurg.* 2014 Feb, **117**(2), 145-59, quiz 160-1. doi:10.1007/s00113-014-2558-7. German. ISSN1433-044X.
20. CULEMANN, U., POHLEMANN, T., HÜFNER, T. a GÄNSSLEN, A.[3-dimensional movement analysis after internal fixation of pelvic

- ring fractures. A computer simulation]. *Unfallchirurg*. 2000 Nov, **103**(11), 965-71. German. ISSN1433-044X.
21. ČIHÁK R. et al. Anatomie. Praha, Grada, 2001. ISBN 80-7169-970-5.
 22. DAY, A.C., KINMONT, C., BIRCHER, M.D. a KUMAR, S. Crescent fracture-dislocation of the sacroiliac joint, a functional classification. *J Bone Joint Surg Br.* . 2007 May, **89**(5), 651-8. ISSN 2044-5377
 23. DAY, A.C., STOTT, P.M. a BODEN, R.A. The accuracy of computer-assisted percutaneous iliosacral screw placement. *Clin Orthop Relat Res*. 2007 Oct, **463**, 179-86. ISSN 1528-1132.
 24. DIENSTKNECHT, T., BERNER, A., LENICH, A., NERLICH, M. a FUECHTMEIER, B. A minimally invasive stabilizing system for dorsal pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res*. 2011 Nov, **469**(11), 3209-17. ISSN 1528-1132.
 25. DIENSTKNECHT, T., BERNER, A., LENICH, A., ZELLNER, J., MUELLER, M., NERLICH M a FUECHTMEIER B. Biomechanical analysis of a transiliac internal fixator. *Int Orthop*. 2011 Dec, **35**(12), 1863-8. ISSN 1432-5195.
 26. DODGE, G., BRISON, R. Low-impact pelvic fractures in the emergency department. *CJEM*. 2010 Nov, **12**(6), 509-13. ISSN 1481-8035.
 27. DUWELIUS, P.J., VAN ALLEN, M., BRAY, T.J. a NELSON, D. Computed tomography-guided fixation of unstable posterior pelvic ring disruptions. *J Orthop Trauma*. 1992, **6**(4), 420-6. ISSN 0890-5339.
 28. DŽUPA, V. CHMELOVÁ, J., PAVELKA, T., OBRUBA, P., WENDSCHE, P., ŠIMKO, P. a CISP INVESTIGATORS. [Multicentric study of patients with pelvic Injury, overview of clinical outcomes and permanent sequelae]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2011, **78**(2), 120-5. Czech. ISSN 0001-5415.
 29. DŽUPA, V., HAVRÁNEK, P., MATOUŠKOVÁ, E. a DITTERTOVÁ, L. Surgical treatment the sacral fracture in childhood, case report and literature overview. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2005 Jul, **125**(6), 426-9. ISSN 0936-8051.
 30. DŽUPA, V., PAVELKA, T., TALLER, S. et al. *Léčba zlomenin pánve a acetabula*. Praha, Galén, 2013. ISBN 9788072629824.
 31. EBRAHEIM, N.A., COOMBS, R., HOEFLINGER, M.J., ZEMAN, C. a JACKSON, W.T. Anatomical and radiological considerations in

- compressive bar technique for posterior pelvic disruptions. *J Orthop Trauma*. 1991, **5**(4), 434-8. ISSN 0890-5339.
32. EBRAHEIM, N.A., COOMBS, R., JACKSON, W.T. a RUSIN, J.J. Percutaneous computed tomography-guided stabilization of posterior pelvic fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1994 Oct, (307), 222-8. ISSN 1528-1132.
 33. EBRAHEIM, N.A., RUSIN, J.J., COOMBS, R.J., JACKSON, W.T. a HOLIDAY, B. Percutaneous computed-tomography-stabilization of pelvic fractures, preliminary report. *J Orthop Trauma*. 1987, **1**(3), 197-204. ISSN 0890-5339.
 34. EICHENSEER, P.H., SYBERT, D.R., COTTON, J.R. A finite element analysis of sacroiliac joint ligaments in response to different loading conditions. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011 Oct 15, **36**(22), E1446-52. ISSN 1528-1159.
 35. ELABJER, E., NIKOLIĆ, V., MATEJCIĆ, A., STANCIĆ, M. a KUZMANOVIĆ ELABJER, B. Analysis of muscle forces acting on fragments in pelvic fractures. *Coll Antropol*. 2009 Dec, **33**(4), 1095-101. ISSN 0350-6134.
 36. FRANSSEN, B.B., SCHUURMAN, A.H., VAN DER MOLEN, A.M. a KON, M. One century of Kirschner wires and Kirschner wire insertion techniques, a historical review. *Acta Orthop Belg*. 2010 Feb, **76**(1), 1-6. ISSN 0001-6462.
 37. FÜCHTMEIER, B., MAGHSUDI, M., NEUMANN, C., HENTE, R., ROLL, C. a NERLICH, M. [The minimally invasive stabilization of the dorsal pelvic ring with the transiliacal internal fixator (TIFI)--surgical technique and first clinical findings]. *Unfallchirurg*. 2004 Dec, **107**(12), 1142-51. German. ISSN1433-044X.
 38. GÄNSSLEN, A., HÜFNER, T. a KRETTEK, C. Percutaneous iliosacral screw fixation of unstable pelvic injuries by conventional fluoroscopy. *Oper Orthop Traumatol*. 2006 Sep, **18**(3), 225-44. English, German. ISSN 1439-0981.
 39. GARDNER, M.J. a CHIP ROUTH JR., M.L. The antishock iliosacral screw. *J Orthop Trauma*. 2010 Oct, **24**(10), e86-9. ISSN 0890-5339.
 40. GARDNER, M.J., KENDOFF, D., OSTERMEIER, S., CITAK, M., HÜFNER, T., KRETTEK, C. a NORK, S.E. Sacroiliac joint compression using an anterior pelvic compressor, a mechanical study in synthetic bone. *J Orthop Trauma*. 2007 Aug, **21**(7), 435-41. ISSN 0890-5339.
 41. GOODE, A., HEGEDUS, E.J., SIZER, P., BRISMEE, J.M., LINBERG, A. a COOK, C.E. Three-dimensional movements of the

- sacroiliac joint, a systematic review of the literature and assessment of clinical utility. *J Man Manip Ther.* 2008, **16**(1), 25-38. ISSN 2042-6186.
42. GRAS, F., MARINTSCHEV, I., WILHARM, A., KLOS, K., MÜCKLEY, T. a HOFMANN, G.O. 2D-fluoroscopic navigated percutaneous screw fixation of pelvic ring injuries--a case series. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010 Jul 7, **11**, 153. ISSN1471-2474.
 43. GROSSTERLINDEN, L., RUEGER, J., CATALA-LEHNEN, P., RUPPRECHT, M., LEHMANN, W., RÜCKER, A. a BRIEM, D. Factors influencing the accuracy of iliosacral screw placement in trauma patients. *Int Orthop.* 2011 Sep, **35**(9), 1391-6. ISSN 1432-5195.
 44. GUADERRAMA, N.M., LIU, J., NAGER, C.W., PRETORIUS, D.H., SHEEAN, G., KASSAB, G. a MITTAL, R.K. Evidence for the innervation of pelvic floor muscles by the pudendal nerve. *Obstet Gynecol.* 2005 Oct, **106**(4), 774-81. ISSN 1873-233X.
 45. HAO, T., CHANGWEI, Y. a QIULIN, Z. Treatment of posterior pelvic ring injurie with minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis. *Int Orthop.* 2009 Oct, **33**(5), 1435-9. ISSN 1432-5195.
 46. HEFZY, M.S., EBRAHEIM, N., MEKHAIL, A., CARUNTU, D., LIN, H. a YEASTING, R. Kinematics of the human pelvis following open book injury. *Med Eng Phys.* 2003 May, **25**(4), 259-74. ISSN1873-4030
 47. HIESTERMAN, T.G., HILL, B.W. a COLE, P.A. Surgical Technique, A Percutaneous Method of Subcutaneous Fixation for the Anterior Pelvic Ring, The Pelvic Bridge. *Clin Orthop Relat Res.* 2012 Aug, **470**(8), 2116-23. ISSN 1528-1132.
 48. HONG, H.X., HONG, Z.H., CHEN, H.X., LIN, L. a ZHU, Z. Iliosacral screw fixation of transforaminal sacral fractures using local anesthesia and CT. *J Am Coll Surg.* 2010 Aug, **211**(2), e7-12. ISSN 1879-1190.
 49. HONG, J., SPIRE, W.J. a SIMMONS, N.E. Mini-open Stabilization of a Sacral Fracture. *Neurosurgery.* 2013 Mar, **72**(1 Suppl Operative), 99-103. ISSN 1524-4040
 50. HOU, Z., RIEHL, J.T., SMITH, W.R., STROHECKER, K.A. a MALONEY, P.J. Severe postpartum disruption of the pelvic ring, report of two cases and review of the literature. *Patient Saf Surg.* 2011 Jan 13, **5**(1), 2. ISSN 1754-9493.
 51. <http://cit.vfu.cz/statwelf/WELF/Teorie/Predn3/Ftest.htm>

52. [http, //cit.vfu.cz/statwelf/WELF/Teorie/Predn3/ttest.htm](http://cit.vfu.cz/statwelf/WELF/Teorie/Predn3/ttest.htm)
53. [http, //en.wikipedia.org/wiki/Fisher's_exact_test](http://en.wikipedia.org/wiki/Fisher's_exact_test)
54. [http, //math.hws.edu/javamath/ryan/ChiSquare.html](http://math.hws.edu/javamath/ryan/ChiSquare.html)
55. [http, //mathworld.wolfram.com/FishersExactTest.html](http://mathworld.wolfram.com/FishersExactTest.html)
56. [http, //www.atlasloveka.upol.cz/](http://www.atlasloveka.upol.cz/)
57. [http, //www.medscape.com/viewarticle/461096_3](http://www.medscape.com/viewarticle/461096_3)
58. [http, //www.vassarstats.net/tab2x2.html](http://www.vassarstats.net/tab2x2.html)
59. [http://en.wikipedia.org/wiki/Bland %E2 %80 %93Altman_plot](http://en.wikipedia.org/wiki/Bland_%E2%80%93Altman_plot)
60. http://en.wikipedia.org/wiki/Odds_ratio
61. CHEN, B., ZHANG, Y., XIAO, S., GU, P. a LIN, X. Personalized image-based templates for iliosacral screw insertions, a pilot study. *Int J Med Robot.* 2012 Aug 15. doi: 10.1002/rcs.1453.
62. CHEN, H.W., LIU, G.D., FEI, J., YI, X.H., PAN, J., OU, S. a ZHOU, J.H. Treatment of unstable posterior pelvic ring fracture with percutaneous reconstruction plate and percutaneous sacroiliac screws, a comparative study. *J Orthop Sci.* 2012 Sep, **17**(5), 580-7. doi: 10.1007/s00776-012-0257-1. ISSN 0949-2658.
63. CHEN, P.H., HSU, W.H., LI, Y.Y., HUANG, T.W., HUANG, T.J. a PENG, K.T. Outcome analysis of unstable posterior ring injury of the pelvis, comparison between percutaneous iliosacral screw fixation and conservative treatment. *Biomed J.* 2013 Nov-Dec, **36**(6), 289-94. doi: 10.4103/2319-4170.112757. ISSN 2320-2890.
64. CHEN, W., HOU, Z., SU, Y., SMITH, W.R., LIPORACE, F.A. a ZHANG, Y. Treatment of posteriorpelvic ring disruptions using a minimally invasive adjustable plate. *Injury.* 2013 Jul, **44**(7), 975-80. doi: 10.1016/j.Injury.2013.04.008. ISSN 0020-1383.
65. CHIU, Y., WONG, T.C. a YEUNG, S.H. Haemodynamic instability secondary to minimally displaced pubic rami fractures, a report of two cases. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2009 Apr, **17**(1), 100-2. ISSN 1022-5536.
66. CHMELOVÁ, J., DŽUPA, V., PAVELKA, T. et al. *Diagnostika zlomenin pánve a acetabula.* Praha, Galén, 2010. ISBN 9788072626212.
67. CHMELOVÁ, J., DŽUPA, V., PROCHÁZKA, B., SKÁLA-ROSENBAUM, J. a BÁČA, V. Zlomeniny příčných výběžků L5 u poranění pánevního kruhu. *Acta Chi. Orthop Traum Cech.* 2011, **78**, 46-48. ISSN 0001-5415.
68. CHMELOVÁ, J., SÍR, M. a JECMÍNEK, V. CT-guided percutaneous fixation of pelvic fractures. Case reports. *Biomed Pap*

- Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub.* 2005 Jun, **149**(1), 177-81. ISSN 1213-8118.
69. IGUCHI, T., OGAWA, K., DOI, T., MIYASHO, K., MUNETOMO, K., HIRAKI, T., OZAKI, T. a KANAZAWA, S. Computed tomography fluoroscopy-guided placement of iliosacral screws in patients with unstable posterior pelvic fractures. *Skeletal Radiol.* 2010 Jul, **39**(7), 701-5. ISSN 1432-2161.
 70. KAKU, N., TSUMURA, H., TAIRA, H., SAWATARI, T. a TORISU, T. Biomechanical study of load transfer of the pubic ramus due to pelvic inclination after hip joint surgery using a three-dimensional finite element model. *J Orthop Sci.* 2004, **9**(3), 264-9. ISSN 0949-2658.
 71. KARAHARJU, E.O. a SLÄTIS, P. External fixation of double vertical pelvic fractures with a trapezoid compression frame. *Injury.* 1978 Nov, **10**(2), 142-5. ISSN 0020-1383.
 72. KHOURY, A., KREDER, H., SKRINSKAS, T., HARDISTY, M., TILE, M. a WHYNE, C.M. Lateral compression fracture of the pelvis represents a heterogeneous group of complex 3D patterns of displacement. *Injury.* 2008 Aug, **39**(8), 893-902. ISSN 0020-1383.
 73. KIM, J.E., LI, Z., ITO, Y., HUBER, C.D., SHIH, A.M., EBERHARDT, A.W., YANG, K.H., KING, A.I. a SONI, B.K. Finite element model development of a child pelvis with optimization-based material identification. *J Biomech.* 2009 Sep 18, **42**(13), 2191-5. ISSN 1873-2380.
 74. KOBBE, P., HOCKERTZ, I., SELLEI, R.M., REILMANN, H. a HOCKERTZ, T. Minimally invasive stabilisation of posterior pelvic-ring instabilities with a transiliac locked compression plate. *Int Orthop.* 2012 Jan, **36**(1), 159-64. ISSN 1432-5195.
 75. KUTTNER, M., KLAIBER, A., LORENZ, T., FÜCHTMEIER, B. a NEUGEBAUER, R. [The pelvic subcutaneous cross-over internal fixator]. *Unfallchirurg.* 2009 Jul, **112**(7), 661-9. German. ISSN1433-044X.
 76. LANGFITT, M.K., BEST, B.J. a CARROLL, E.A. A useful tool for retained washer retrieval when removing iliosacral screws. *J Surg Orthop Adv.* 2013 Winter, **22**(4), 330-2. ISSN 1548-825X
 77. LAU, T.W. a LEUNG, F. Occult posterior pelvic ring fractures in elderly patients with osteoporotic pubic rami fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2010 Aug, **18**(2), 153-7. ISSN 1022-5536.
 78. LI, Z., J.-E. KIM, J.S. DAVIDSON, B.S. ETHERIDGE, J.E. ALONSO a A.W. EBERHARDT. Biomechanical response of the

- pubic symphysis in lateral pelvic impacts, A finite element study. *J Biomech*, 2007, **40** (12), 2758-2766. ISSN 1873-2380.
79. LI, Z., KIM, J.E., DAVIDSON, J.S., ETHERIDGE, B.S., ALONSO, J.E. a EBERHARDT, A.W. Biomechanical response of the pubic symphysis in lateral pelvic impacts, a finite element study. *J Biomech*. 2007, **40**(12), 2758-66. ISSN 1873-2380.
 80. LINSTROM, N.J., HEISERMAN, J.E., KORTMAN, K.E., CRAWFORD, N.R., BAEK, S., ANDERSON, R.L., PITT, A.M., KARIS, J.P., ROSS, J.S., LEKOVIC G.P. a DEAN, B.L. Anatomical and biomechanical analyse of the unique and consistent locations of sacral insufficiency fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Feb, **34**(4), 309-15. ISSN 1528-1159.
 81. LOUPASIS, G., ANASTOPOULOS, G. a ASIMAKOPOULOS, A. Pure bilateral sacroiliac dislocation with intact anterior pelvis. *Injury*. 2005 Nov, **36**(11), 1379-82. ISSN 0020-1383.
 82. Lytle, W.J. Inguinal anatomy. *J Anat*. 1979 May, **128**(Pt 3), 581-94.
 83. MANSON, T.T., NASCONE, J.W. a O'TOOLE, R.V. Traction vertical shear pelvic ring fracture, a marker for severe arterial *Injury*? A case report. *J Orthop Trauma*. 2010 Oct, **24**(10), e90-4. ISSN 0890-5339.
 84. MATTA, J. a SAUCEDO, T. Internal fixation of pelvic ring fractures. *Clin Orthop Relat Res*.1989, **242**, 83-87. ISSN 1528-1132.
 85. MATTA, J.M. a TORNETTA, P. Internal fixation of unstable pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res*. 1996, **329**, 129–140. ISSN 1528-1132. ISSN 1528-1132.
 86. MEHLING, I., HESSMANN, M.H. a ROMMENS, P.M. Stabilization of fatigue fractures of the dorsal pelvis with a trans-sacral bar. Operative technique and outcome. *Injury*. 2012 Apr, **43**(4), 446-51. ISSN 0020-1383.
 87. MILLER, D.L., BALTER, S., WAGNER, L.K., CARDELLA, J., CLARK, T.W., NEITHAMER JR., C.D., SCHWARTZBERG, M.S., SWAN, T.L., TOWBIN, R.B., RHOLL, K.S. a SACKS, D. SIR Standards of Practice Committee. Quality improvement guidelines for recording patient radiation dose in the medical record. *J Vasc Interv Radiol*. 2004 May, **15**(5), 423-9. ISSN 1535-7732.
 88. MOED, B.R. a GEER, B.L. S2 iliosacral screw fixation for disruptions of the posterior pelvic ring, a report of 49 cases. *J Orthop Trauma*. 2006 Jul, **20**(6), 378-83. ISSN 0890-5339.

89. MOSHEIFF, R. a LIEBERGALL, M. Maneuvering the retrograde medullary screw in pubic ramus fractures. *J Orthop Trauma*. 2002 Sep, **16**(8), 594-6. Review. ISSN 0890-5339.
90. MOSHEIFF, R., LIEBERGAL, M., FRIDMAN, A., SAGIV, S. a SEGAL, D. [Immediate posterior stabilization of pelvic fractures using threaded compression rods]. *Harefuah*.1996 Oct, **131**(7-8), 217-21, 296. Hebrew. ISSN 0017-7768.
91. NELSON, D.W. a DUWELIUS, P.J. CT-guided fixation of sacral fractures and sacroiliac joint disruptions. *Radiology*. 1991 Aug, **180**(2), 527-32. ISSN 1527-1315.
92. OSTERHOFF, G., OSSENDORF, C., WANNER, G.A., SIMMEN, H.P. a WERNER, C.M. Percutaneous iliosacral screw fixation in S1 and S2 for posterior pelvic ring injuries, technique and perioperative complications. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2011 Jun, **131**(6), 809-13. ISSN 0936-8051.
93. PASCARELLA, R., DEL TORTO, M., POLITANO, R., COMMESSATTI, M., FANTASIA, R. a MARESCA, A. Critical review of pelvic fractures associated with external iliac artery lesion, a series of six cases. *Injury*. 2014 Feb, **45**(2), 374-8. doi: 10.1016/j.Injury.2013.10.011. ISSN 0020-1383.
94. PEKMEZCI, M. a YAZICI, M. [Salter osteotomy, an overview]. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2007, **41** Suppl 1, 37-46. Review. Turkish. 1017-995X
95. PEL, J.J., SPOOR, C.W., POOL-GOUDZWAARD, A.L., HOEK VAN DIJKE, G.A. a SNIJDERS, C.J. Biomechanical analysis of reducing sacroiliac joint shear load by optimization of pelvic muscle and ligament forces. *Ann Biomed Eng*. 2008 Mar, **36**(3), 415-24. ISSN 1573-9686.
96. PONSEN, K.J., JOOSSE, P., VAN DIJKE, G.A. a SNIJDERS, C.J. External fixation of the pelvic ring, an experimental study on the role of pin diameter, pin position, and parasymphyseal fixator pins. *Acta Orthop*. 2007 Oct, **78**(5), 648-53. ISSN 1745-3674.
97. POOL-GOUDZWAARD, A., VAN DIJKE, G.H., VAN GURP, M., MULDER, P., SNIJDERS, C. a STOECKART, R. Contribution of pelvic floor muscles to stiffness of the pelvic ring. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004 Jul, **19**(6), 564-71. ISSN 0268-0033.
98. REFF, R.B. The use of external fixation devices in the management of severe lower-extremity trauma and pelvic injuries in children. *Clin Orthop Relat Res*.1984 Sep, (188), 21-33. ISSN 1528-1132

99. REILLY, M.C., BONO, C.M., LITKOUHI, B., SIRKIN, M. a BEHRENS, F.F. The effect of sacral fracture malreduction on the safe placement of iliosacral screws. *J Orthop Trauma*. 2003 Feb, **17**(2), 88-94. ISSN 0890-5339.
100. RISKA, E.B., VON BONSDORFF, H., HAKKINEN, S., JAROMA, H., KIVILUOTO, O. a PAAVILAINEN, T. Operative control of massive haemorrhage in comminuted pelvic fractures. *Int Orthop*. 1979, **3**(2), 141-4. ISSN 1432-5195.
101. ROBERTS, M.M. Neurophysiology in neurourology. *Muscle Nerve*. 2008 Jul, **38**(1), 815-36. ISSN 1097-4598
102. ROMMENS, P.M., WAGNER, D. a HOFMANN, A. Surgical management of osteoporotic pelvic fractures, a new challenge. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2012 Oct, **38**(5), 499-509. ISSN 1863-9941.
103. ROMMENS, PM. Is there a role for percutaneous pelvic and acetabular reconstruction? *Injury*. 2007 Apr, **38**(4), 463-77. ISSN 0020-1383.
104. ROSATELLI, A. L., AGUR, A. M. a CHHAYA, S. Anatomy of the interosseous region of the sacroiliac joint. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006 Apr, **36**(4), 200-8. ISSN 1938-1344.
105. ROUTT JR., M.L. a SIMONIAN, P.T. Closed reduction and percutaneous skeletal fixation of sacral fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1996 Aug, (329), 121-8. ISSN 1528-1132.
106. ROUTT JR., M.L., KREGOR, P.J., SIMONIAN, P.T. a MAYO, K.A. Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma*. 1995 Jun, **9**(3), 207-14. ISSN 0890-5339.
107. ROUTT JR., M.L., SIMONIAN, P.T. a GRUJIC, L. The retrograde medullary superior pubic ramus screw for the treatment of anterior pelvic ring disruptions, a new technique. *J Orthop Trauma*. 1995 Feb, **9**(1), 35-44. ISSN 0890-5339.
108. ROUTT JR., M.L., SIMONIAN, P.T., AGNEW, S.G. a MANN, F.A. Radiographic recognition of the sacral alar slope for optimal placement of iliosacral screws, a cadaveric and clinical study. *J Orthop Trauma*. 1996, **10**(3), 171-7. ISSN 0890-5339.
109. ROUTT, M.L., MEIER, M. a KREGOR, P. Percutaneous iliosacral screws with the patient supine technique. *Oper. Tech. Orthop*. 1993, **3**, 35-45. ISSN 1558-3848.
110. RUSU, M.C., CERGAN, R., DERMENGIU, D., CURCĂ, G.C., FOLESCU, R., MOTOC, A.G. a JIANU, A.M. The iliolumbar artery-anatomic considerations and details on the common iliac

- artery trifurcation. *Clin Anat.* 2010 Jan, **23**(1), 93-100. ISSN 1098-2353.
111. RUSU, M.C., CERGAN, R., MOTOC, A.G., FOLESCU, R. a POP, E. Anatomical considerations on the corona mortis. *Surg Radiol Anat.* 2010 Jan, **32**(1), 17-24. ISSN 1279-8517.
 112. RYŠAVÝ, M., PAVELKA, T., KHAYARIN, M. a DŽUPA, V. Iliosacral screw fixation of the unstable pelvic ring injuries. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2010 Jun, **77**(3), 209-14. ISSN 0001-5415.
 113. SA-NGASOONGSONG, P., SIRISREETREERUX, N., CHANPLAKORN, P., WORATANARAT, P., SUPHACHATWONG, C. a MULPRUEK, P. Modification of spinal pedicle screw-plate fixation for bilateral pediatric pelvic ring *Injury* in 2-year-old girl. *J Orthop Sci.* 2014 Jan 6. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 24390637. ISSN 0949-2658.
 114. SARKAR SD. Unstable hemipelvic fractures with internal rotation displacement. *J Trauma.* 1976 May, **16**(5), 402-5. ISSN 0022-5282.
 115. Sciulli, R.L., Daffner, R.H., Altman, D.T., Altman, G.T. a Sewecke, J.J. CT-guided iliosacral screw placement: technique and clinical experience. *AJR Am J Roentgenol.* 2007 Feb, **188**(2), W181-92. ISSN 1546-3141.
 116. SCHEYERER, M.J., ZIMMERMANN, S.M., OSTERHOFF, G., TIZIANI, S., SIMMEN, H.P., WANNER, G.A. a WERNER, C.M. Anterior subcutaneous internal fixation for treatment of unstable pelvic fractures. *BMC Res Notes.* 2014 Mar 8, 7, 133. doi: 10.1186/1756-0500-7-133. ISSN 1756-0500.
 117. SIMONIAN, P.T., ROUTT JR., M.L., HARRINGTON, R.M. a TENCER, A.F. Internal fixation of the unstable anterior pelvic ring, a biomechanical comparison of standard plating techniques and the retrograde medullary superior pubic ramus screw. *J Orthop Trauma.* 1994 Dec, **8**(6), 476-82. ISSN 0890-5339.
 118. SMITH, H.E., YUAN, P.S., SASSO, R., PAPADOPOLOUS, S. a VACCARO, A.R. An evaluation of image-guided technologies in the placement of percutaneous iliosacral screws. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006 Jan, **31**(2), 234-8. ISSN 1528-1159.
 119. STEINKE, H., HAMMER, N., LINGSLEBE, U., HÖCH, A., KLINK, T. a BÖHME, J. Ligament-induced sacral fractures of the pelvis are possible. *Clin Anat.* 2014 Jan 22. doi:10.1002/ca.22312. ISSN 1098-2353.

120. STÖCKLE, U., GÖING, T., KÖNIG, B., HAASE, N., DUDA, G. a HAAS, N.P. [Dorsal oblique pelvic fixator, development and biomechanical testing]. *Unfallchirurg*. 2000 Aug, **103**(8), 618-25. German. ISSN1433-044X.
121. STOCKS, G.W., GABEL, G.T., NOBLE, P.C., HANSON, G.W. a TULLOS, H.S. Anterior and posterior internal fixation of vertical shear fractures of the pelvis. *J Orthop Res*. 1991 Mar, **9**(2), 237-45. ISSN 554-527X.
122. SZTRINKAI, G., BODZAY, T., PAJOR, S., ERDÖS, P., VENDÉGH, Z., JÓNÁS, Z. a VÁRADI, K. Further development of our finite element pelvic model to compare fixation methods for pelvic fractures. *Ekleml Halalék Cerrahisi*. 2014 Apr, **25**(1), 8-14. doi:10.5606/ehc.2014.03. ISSN 1309-0313.
123. TAKAO, M., NISHII, T., SAKAI, T. a SUGANO, N. Navigation-aided visualization of lumbosacral nerves for anterior sacroiliac plate fixation, a case report. *Int J Med Robot*. 2013 Nov 6. doi: 10.1002/rcs.1556. ISSN 1478-596X.
124. TAKAO, M., NISHII, T., SAKAI, T., YOSHIKAWA, H. a SUGANO, N. Iliosacral screw insertion using CT-3D-fluoroscopy matching navigation. *Injury*. 2014 Jun, **45**(6), 988-94. doi: 10.1016/j.Injury.2014.01.015. ISSN 0020-1383.
125. TALLER, S. a ŠRÁM, J. Pakloub po longitudinální zlomenině centrální zóny sakra s kónickou instabilitou pánevního kruhu. *Acta Chir Orthop Traum Cech*. 2011, **78**, 82–85. ISSN 0001-5415.
126. TALLER, S., LUKÁŠ, R. a ŠRÁM, J. [Single cannulated screws for stabilisation of pelvic ring and acetabular fractures]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2011, **78**(6), 568-77. Czech. ISSN 0001-5415.
127. TALLER, S., LUKÁŠ, R., ŠRÁM, J. a BERAN, J. [100 CT-guided pelvic operations]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2003, **70**(5), 279-84. Czech. ISSN 0001-5415.
128. TILE, M. Pelvic fractures, operative versus nonoperative treatment. *Orthop Clin North Am*. 1980 Jul, **11**(3), 423-64. ISSN 1558-1373.
129. TONETTI, J., CARRAT, L., LAVALLEÉ, S., PITTET, L., MERLOZ, P. a CHIROSSEL, JP. Percutaneous iliosacral screw placement using image guided techniques. *Clin Orthop Relat Res*. 1998 Sep, (354), 103-10. ISSN 1528-1132.
130. TONETTI, J., VADCARD, L., GIRARD, P., DUBOIS, M., MERLOZ, P. a TROCCAZ, J. Assessment of a percutaneous

- iliosacral screw insertion simulator. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2009 Nov, **95**(7), 471-7. ISSN 1877-0568.
131. TSUKUSHI, S., KATAGIRI, H., NAKASHIMA, H., SHIDO, Y. a WASA, J. Computed tomography-guided screw fixation of a sacroiliac joint dislocation fracture, a case report. *J Orthop Sci*. 2003, **8**(5), 729-32. ISSN 0949-2658.
 132. VAIDYA, R., KUBIAK, E.N., BERGIN, P.F., DOMBROSKI, D.G., CRITCHLOW, R.J., SETHI, A. a STARR, A.J. Complications of Anterior Subcutaneous Internal Fixation for Unstable Pelvis Fractures, A Multicenter Study. *Clin Orthop Relat Res*. 2012 Aug, **470**(8), 2124-31. doi: 10.1007/s11999-011-2233-z. ISSN 1528-1132.
 133. VANDERSCHOT, P., MEULEMAN, C., LEFÈVRE, A., BROOS, P. Trans iliac-sacral-iliac bar stabilisation to treat bilateral lesions of the sacro-iliac joint or sacrum, anatomical considerations and clinical experience. *Injury*. 2001 Sep, **32**(7), 587-92. ISSN 0020-1383.
 134. VANDERSCHOT, P.M., BROENS, P.M., VERMEIRE, J.I. a BROOS, P.L. Trans iliac-sacral-iliac bar stabilization to treat bilateral sacro-iliac joint disruptions. *Injury*. 1999 Nov, **30**(9), 637-40. ISSN 0020-1383.
 135. VARGA, E., DUDAS, B. a TILE, M. Putative proprioceptive function of the pelvic ligaments, biomechanical and histological studies. *Injury*. 2008 Aug, **39**(8), 858-64. ISSN 0020-1383.
 136. www.quantitativeskills.com/sisa/statistics/fiveby2.htm
 137. YINGER, K., SCALISE, J., OLSON, S.A., BAY, B.K. a FINKEMEIER, C.G. Biomechanical comparison of posterior pelvic ring fixation. *J Orthop Trauma*. 2003 Aug, **17**(7), 481-7. ISSN 0890-5339.
 138. YOON, W., KIM, J.K., JEONG, Y.Y., SEO, J.J., PARK, J.G. a KANG, H.K. Pelvic arterial hemorrhage in patients with pelvic fractures, detection with contrast-enhanced CT. *Radiographics*. 2004 Nov-Dec, **24**(6), 1591-605, discussion 1605-6. Review. ISSN 0271-5333.
 139. ZHENG, Z., ZHANG, Y., HOU, Z., HAO, J., ZHAI, F., SU, Y. a PAN, J. The application of a computer-assisted thermoplastic membrane navigation system in screw fixation of the sacroiliac joint - A clinical study. *Injury*. 2012 Apr, **43**(4), 495-9. doi: 10.1016/j.injury.2011.12.022. ISSN 0020-1383.
 140. ZWINGMANN, J., KONRAD, G., KOTTER, E., SÜDKAMP, N.P. a OBERST, M. Computer-navigated iliosacral screw insertion

reduces malposition rate and radiation exposure. *Clin Orthop Relat Res.* 2009 Jul, **467**(7), 1833-8. ISSN 1528-1132.

141. ZWINGMANN, J., KONRAD, G., MEHLHORN, A.T., SÜDKAMP, N.P. a OBERST, M. Percutaneous iliosacral screw insertion, malpositioning and revision rate of screws with regards to application technique (navigated vs. conventional). *J Trauma.* 2010 Dec, **69**(6), 1501-6. ISSN 0022-5282.

Abstract

Introduction: Vertically unstable sacral transforaminal fractures can be stabilized both with a transiliac internal fixator (TIFI) or iliosacral screws (IS).

Goals: 1. comparison of radiological and clinical results between dorsal pelvic segment stabilization with TIFI, IS respectively, 2. evaluation and comparison of biomechanical parameters of TIFI and IS construct.

Material and methods of clinical study: Prospective study, both TIFI and IS group had 32 patients, the most of injuries were assessed as type C1.3, only patients with a high-energy mechanism of injury were included. Radiological results were evaluated according Matta, clinical results according Majeed score, Pelvic Outcome Score. Categorical data were evaluated by two-sided Fisher exact test or Pearson's χ^2 test, continuous data by Student's t-test, a test result with $p < 0.05$ was considered as statistically significant.

Methods of biomechanical study: Using CT images, finite element model of the pelvis was developed. Pohlemann type II fracture was simulated and fixed either with TIFI or two IS. The sacral base was loaded vertically (250-500 N), displacement magnitudes on medial and lateral fracture surface and the maximum bone stress were calculated. The intact pelvis was used as a reference. Stiffness was determined by linear regression of load and dislocation, computed stiffness ratio %. Von Mises stress was expressed as % ratio, evaluation of colour mapping was also performed.

Results: In TIFI the mean posterior dislocation was 2.2 mm, in IS 1.9 mm ($p = 0.58542$). Pelvic Outcome Score in the TIFI group: excellent 28 %, good 12 %, fair 48.0 % poor 4 %, in the IS one: excellent 11.1 %, good 22.2 %, fair 66.7 % , poor 0.0 % ($p = 0.51731$). According to Majeed score in TIFI were obtained these results: excellent 56.0 %, good 16.0 %, fair 20.0 %, poor 8.0 %, in IS: excellent 50.0 %, good 27.8 %, fair 11.1 %, poor 11.1 % ($p = 0.70187$). Within the total, average Majeed score was 80.64 points in TIFI, 80.67 in IS ($p = 0.99654$). In a sub-analysis for unilateral transforaminal fracture (Pohlemann type II), average score of TIFI was 82.8 points, in IS one only 53.5 points, differences were statistically significant ($p = 0.04517$). TIFI was without intraoperative complications, in IS was one injury to the superior gluteal artery (3.1 %) and two iatrogenic neurological injuries occurred (6.3 %, $p = 0.23810$).

TIFI was extracted without complications, in the IS group postoperative bleeding from the inputs of screw occurred in 3 patients (20.0 %, $p = 0.22414$), complete extraction of screws and washers was successful only in 7 patients (46.7 %), in 6 patients washers were left in situ (40.0 %),

inability of IS removal occurred in 2 patients (13.3 %). When comparing the number of complicated extraction, differences were highly statistically significant ($p = 0.00220$). The mean stiffness ratio medially in TIFI was 75.22 %, in IS 46.54 % ($p = 0.00005$), laterally in TIFI 57.88 %, in IS 44.74 % ($p = 0.03996$). Von Mises stress ratio of TIFI was 139.27 %, of IS 565.35 % ($p < 0.00001$).

Conclusion: TIFI implantation is preferred in transforaminal and central sacral fractures where unlike iliosacral screws, TIFI is coupled with a low risk of excessive compression of the sacral foramina and development of iatrogenic neurological injury. Differences of clinical and radiological results between TIFI and IS stabilization were insignificant in the overall comparison, but in case of unilateral transforaminal fracture, superiority of TIFI stabilization was shown in Majeed score evaluation. IS were associated with a higher rate of complications not only in primary implantation, but also in their removal. Significantly higher stiffness and lower bone stress was found in TIFI model. TIFI provides a lower risk of over-compression of the fracture line in comparison with IS, especially in the region of the first sacral foramen, particularly with comminutive zone. The TIFI thus exhibits both clinical and biomechanical superiority for fixation of transforaminal fractures and represents a reasonable alternative to existing types of minimally invasive fixation.

Key words: finite element analysis, iliosacral screw, pelvic ring, transforaminal fracture, transiliac internal fixator

Abstrakt

Úvod: Vertikálně nestabilní transforaminální zlomeniny kosti křížové mohou být stabilizovány jak transiliakálním vnitřním fixátorem (TIFI), tak iliosakrálními šrouby.

Cíle: 1. Srovnání radiologických a klinických výsledků mezi stabilizací zadního pánevního segmentu TIFI, resp. IS, 2. Vyhodnocení a srovnání biomechanických vlastností TIFI a IS konstrukce.

Metodika klinické studie: Prospektivní studie, jak ve skupině TIFI, tak IS bylo 32 pacientů, většina poranění byla typu C1.3, zařazeni byli jen pacienti s vysokoenergetickým mechanismem poranění. Radiologické výsledky byly vyhodnoceny podle Matty, klinické podle Pelvic Outcome Score a Majeedova skóre. Kategoriální data byla hodnocena pomocí oboustranného Fisherova exaktního testu nebo Pearsonovým χ^2 testem, souvislá data Studentovým t-testem. Výsledek testu s $p < 0,05$ byl považován za statisticky významný.

Metodika biomechanické studie: S využitím CT skenů byl vytvořen konečnoprvkový model pánve. Byla simulována zlomenina typu Pohlemann II a fixována buď TIFI, nebo 2 IS. Na bázi kosti křížové byla aplikována vertikální zátěž (250-500 N), byly vypočteny velikosti dislokace na mediální a laterální ploše zlomeniny a maximální napětí v kosti. Neporaněná pánev byla použita jako srovnávací. Tuhost byla určena pomocí lineární regrese zátěže a dislokace, byl vypočten poměr tuhosti v %. Napětí jako Von Mises stress bylo vyjádřeno v %, bylo provedeno také vyhodnocení barevného mapování.

Výsledky: U TIFI byla průměrná dislokace zadního segmentu 2,2 mm, u IS 1,9 mm. U TIFI byly následující výsledky Pelvic Outcome Score: výborné 28,0 %, dobré 12,0 %, uspokojivé 48,0 % a špatné 4,0 %, u IS byly výborné výsledky v 11,1 %, dobré v 22,2 %, uspokojivé v 66,7 %, špatné v 0,0 % ($p = 0,51731$). Podle Majeedova skóre byly získány výsledky u TIFI: výborné 56,0 %, dobré 16,0 %, uspokojivé 20,0 % a špatné 8,0 %; u IS byly výsledky: výborné v 50 %, dobré v 27,8 %, uspokojivé v 11,1 % a špatné v 11,1 % ($p = 0,70187$). Při celkovém hodnocení bylo u TIFI průměrné Majeedovo skóre 80,64 bodů, u IS 80,67 bodů ($p = 0,99654$). Při analýze podskupiny unilaterálních transforaminálních zlomenin (Pohlemann II) bylo průměrné skóre u TIFI 82,8 bodů, u IS jen 53,5, rozdíly byly statisticky významné ($p = 0,04517$).

Implantace TIFI byly bez perioperačních komplikací, u IS se vyskytlo 1 poranění a. glutea superior (3,1 %) a 2 iatrogenní neurologická poranění (6,3 %, $p = 0,23810$).

TIFI byl extrahován bez komplikací, ve skupině IS se vyskytlo pooperační krvácení ze vstupů šroubů u 3 pacientů (20,0 %, $p = 0,22414$), kompletní vynětí implantátů bylo úspěšné jen u 7 pacientů (46,7 %), u 6 pacientů byly ponechány podložky in situ (40,0 %), nemožnost vynětí IS se vyskytla u 2 pacientů (13,3 %). Při srovnání počtu komplikovaných extrakcí byly rozdíly vysoce statisticky významné ($p = 0,00220$).

Průměrný poměr tuhosti mediálně byl u TIFI 75,22 %, u IS 46,54 % ($p = 0,00005$), laterálně poté u TIFI 57,88 %, zatímco u IS 44,74 % ($p = 0,03996$). Von Mises stress ratio bylo u TIFI 139,27 %, u IS 565,35 % ($p < 0,00001$).

Závěr: Implantace TIFI je výhodná u transforaminálních a centrálních zlomenin kostí křížové, kde je TIFI, na rozdíl od iliosakrálních šroubů, spojen s nízkým rizikem nadměrné komprese sakrálních foramin a následného rozvoje iatrogenního neurologického poranění.

Rozdíly klinických a radiologických výsledků mezi stabilizací TIFI a IS byly při celkovém srovnání nevýznamné, ale v případě jednostranných transforaminálních zlomenin byla prokázána superiorita TIFI při hodnocení dle Majeedova skóre. IS byly spojeny s vyšším rizikem komplikací nejen při primární implantaci, ale i při jejich vynětí. V TIFI modelu byla prokázána významně vyšší tuhost a nižší kostní napětí. TIFI tak přináší nižší riziko nadměrné komprese lomné linie ve srovnání s IS, zejména v oblasti foramen S1, zvláště při kominutivní zóně. TIFI vykazuje jak klinickou, tak biomechanickou superioritu pro fixaci transforaminálních zlomenin, představuje tak alternativu k dosavadním typům miniinvazivní fixace.

Klíčová slova: konečnoprvková analýza, iliosakrální šroub, pánevní kruh, transforaminální zlomenina, transiliakální vnitřní fixátor