

Redukce radiační zátěže užitím fluoroskopické navigace při transpedikulární instrumentaci

Reduction of Radiation Exposure by the Use of Fluoroscopic Guidance in Transpedicular Instrumentation

R. HART^{1,2}, M. KOMZÁK¹, R. BÁRTA¹, F. OKÁL¹, E. ŠRŮTKOVÁ³

¹ Ortopedicko-traumatologické oddělení Nemocnice Znojmo

² Klinika traumatologie v Úrazové nemocnici v Brně, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity

³ Radiologické oddělení Nemocnice Znojmo

ABSTRACT

PURPOSE OF THE STUDY

The variability in width, height, and orientation of spinal pedicles makes pedicle screw insertion a delicate operation. Fluoroscopic guidance often exposes the patient and especially surgeons to relatively high doses of ionising radiation. The use of pulsed fluoroscopy is safer, as compared to continuous fluoroscopy, because of reduced radiation exposure. There are increasing numbers of literature reports regarding the high doses of radiation to which orthopaedic and spine surgeons are exposed during surgical procedures. Spine surgery can be associated with significant radiation exposure to the surgical staff. The purpose of this prospective study was to compare a computer-assisted navigation with a conventional procedure in order to assess if it is possible to reduce radiation exposure while preserving the accuracy of screw placement.

MATERIAL AND METHODS

The first „conventional“ group consisted of 30 patients, with an average of 1.9 segments of the lumbar spine stabilised. Screws were inserted transpedicularly under image intensifier guidance. In the second „navigated“ group of 30 patients, stabilisation of 1.8 segments was performed on average. A CT-free fluoroscopic 2D spinal navigation system (VectorVision, Brain LAB, Germany) was used intra-operatively. It combines image-guided surgery with C-arm fluoroscopy. For each surgery (navigated or not), the duration of irradiation was recorded. The irradiation duration was collected from the X-ray image intensifier. In both groups the screw positioning accuracy was controlled intra-operatively according to Leach's, Açıkbaz's, and Whitecloud's methods from AP and lateral images and by meticulous pedicle palpation.

RESULTS

The irradiation duration calculated to one vertebra (two screws) was significantly shorter in the second (navigated) group (3.4 s) than in the first (conventional) group (14.4 s). The mean duration of data registration was 6.0 minutes (range, 3 to 11 minutes). The mean ratio according to Açıkbaz's calculation method was 43.2 % (range, 32 % to 74 %) in the first (conventional) group and 44.1 % (range, 35 % to 76 %) in the second (navigated) group.

DISCUSSION

During a conventional surgical procedure many X-ray images are made to control the accuracy of screw insertion. If the trajectory is not satisfying, it must be corrected or the pedicle is drilled again, always with a new fluoroscopic control. The process is repeated until satisfactory orientation is achieved. This is the explanation for a much longer duration of irradiation in conventional procedures. Navigation facilitates the surgical act, enabling us to acquire the right position of all screws, with only an AP image and a lateral image at the beginning of instrumentation for data registration; prolongation of the operative time is irrelevant.

CONCLUSIONS

Navigation allows us to keep the same accuracy of pedicle screw placement while reducing radiation exposure of the surgeons and operating room staff by about one quarter. In multiple-level vertebral instrumentations this reduction is more pronounced. In centres where many procedures involving spine instrumentation are done every day, the „saved“ exposure time can amount to hours.

Key words: computer-assisted pedicle screw placement, spinal navigation, radiation exposure.

ÚVOD

Stabilizace thorakolumbálních pátečních segmentů pomocí fixace transpedikulárními šrouby doznala v posledních desetiletích značného rozšíření. Zavedení šroubů do pediklů může ovšem být relativně náročné. Peroperační radiologická kontrola v zadopřední a boční projekci je proto považována za „zlatý standard“. Radiační dávky tak

mohou značně narůstat. Uvedená práce předkládá výsledky užití fluoroskopické navigace při zavádění transpedikulárních šroubů s ohledem na dávky ionizujícího záření. Cílem bylo potvrdit nebo vyvrátit hypotézu, že fluoroskopická navigace umožňuje významnou redukci radiační zátěže při zachování stejného operačního postupu.

Materiál a metodika

Pacienti ošetření transpedikulární lumbální stabilizací a zařazení do předkládané prospektivní studie v letech 2009 a 2010 byli rozděleni do 2 skupin po 30 pacientech. V první skupině byly šrouby zaváděny standardně pod fluoroskopickou kontrolou, ve druhé skupině pod kontrolou fluoroskopické intraoperační 2-D navigace (virtuální fluoroskopie) Vector Vision (Brain LAB, Feldkirchen, Německo). Významné demografické rozdíly nebyly mezi skupinami sledány. Jednalo se celkem o 26 mužů a 34 žen v průměrném věku 61 let (36 – 75 let). Indikací k výkonu bylo v 52 případech chronické onemocnění páteře a v 8 případech trauma. Všechny operace byly provedeny pod dohledem erudovaného operátora. U všech byla užitá antibiotická prevence po 24 hodin cefalosporinem druhé generace.

Pacienti byli operováni v pronační poloze. Standardním středním zadním přístupem byla skeletizována páteř v potřebném rozsahu. V indikovaných případech byla před instrumentací prováděna posterolaterální fúze. Další výkony jako např. dekomprese, intersomatická fúze či repozice následovaly až po zavedení šroubů.

Vstupní bod pro zavedení šroubu byl identifikován standardně podle anatomických souřadnic; tyto však byly často významně modifikovány výraznými degenerativními změnami nebo předchozím operačním výkonem. Upřednostňujeme Weinsteinovu (12) techniku aplikace šroubů před technikou Roy-Camilleovou (10), abychom se vyhnuli impingementu šroubu s artikulárním výběžkem horního nefixovaného obratle. Kortikalis vstupního místa byla odstraněna Luerovými kleštěmi a do předpokládaného vstupního bodu do pediklu byl do vzdálenosti přibližně 10–15 mm zaveden krátký Kirschnerův drát. Do této fáze se postup operace v obou skupinách nelišil.

V první skupině byly poté polohy Kirschnerových drátů kontrolovány pod rentgenovým zesilovačem v zadopřední a boční projekci. Při jejich chybném umístění byly aplikovány nově do korektní pozice. Při následném zhotovení vodičného kanálu pro šroub v pediklu se řídíme pravidly definovanými Learchem (8), Açıkbășem (1) a Whitecloudem (13). Postup vrtání byl průběžně kontrolován v boční a případně i zadopřední projekci. Po zhotovení kanálu byly jeho stěny pečlivě palpovány háčkovou sondou a při perforaci byl kanál pod rentgenovou kontrolou převrtán do korektní pozice. Hloubka vrtání byla sledována na stupnici nástroje a na boční projekci. Zavedení vlastního šroubu předvrtaným kanálem bylo radiologicky kontrolováno až na závěr. Instrumentováno bylo průměrně 1,9 segmentu (2–5 obratlů).

Ve druhé skupině bylo postupováno obdobně, ale pod kontrolou virtuální fluoroskopie. Nejprve byla na processus spinosus nejdálšího instrumentovaného obratle umístěna referenční svorka s pasivními markery. Na rentgenovém zesilovači byla před zahájením operace připevněna matrice s pasivními markery. Signály z markerů sleduje infračervená kamera navigačního zařízení. Polohy Kirschnerových drátů byly kontrolovány pod rentgenovým zesilovačem v zadopřední a boční projekci; oba snímky byly registrovány počítačem. Po kalib-

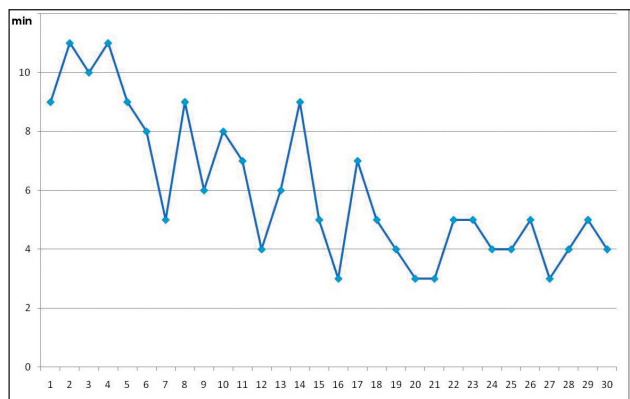
raci vrtacího nástroje s připevněnými pasivními markery navigace jeho polohu v prostoru sleduje a projikuje ji současně na zaregistrovaný zadopřední i boční snímek. Byla zaznamenávána doba upevňování svorky na processus spinosus a čas od zahájení registrace snímků po ukončení kalibrace vrtacího nástroje – čas, který byl třeba navíc pro umožnění vlastní navigace. Operátor má prostřednictvím virtuální fluoroskopie, na rozdíl od standardní fluoroskopie, k dispozici na monitoru současnou orientaci v obou rovinách. Při iniciálním chybném umístění Kirschnerových drátů byly tyto dočasně ponechány a vrtací nástroj byl zaveden korektně pod kontrolou navigace v principu dle Learcha (8), Açıkbășem (1) a Whiteclouda (13). Postup vrtání byl průběžně navigací kontrolován současně v boční i zadopřední projekci. Po zhotovení kanálu byly jeho stěny pečlivě palpovány háčkovou sondou a při perforaci byl kanál pod kontrolou navigace převrtán do korektní pozice. Hloubka vrtání byla sledována na stupnici nástroje a na monitoru navigačního zařízení. Rentgenový snímek byl zhotoven jen u rotovaných obratlů. Zavedení vlastního šroubu předvrtaným kanálem bylo radiologicky kontrolováno až na závěr. Navigační systém spolehlivě umožňuje využít zaregistrované snímky pro instrumentaci tří sousedních obratlů. Při delší montáži nebo při překlenutí více obratlů bylo třeba svorku s markery přemístit a zhotovit zadopřední a boční registrovaný snímek v nových segmentech. Instrumentováno bylo průměrně 1,8 segmentu (2–4 obratle).

Po zavedení všech šroubů a radiologické kontrole jejich umístění byla na displeji rentgenového zesilovače odečtena v obou skupinách souhrnná délka radiační expozice. Po 48 hodinách byla provedena pooperační radiologická kontrola. Pro kontrolu zavedení šroubů v obou skupinách byla zvolena metoda publikovaná Açıkbășem (1). K výpočtu příslušného poměru se na zadopředním snímku měří vzdálenost středů pediklů instrumentovaného obratle před operací (A) a vzdálenost hrotů šroubů v daném obratli po operaci (A'). K vyloučení chyby způsobené nekonstantní vzdáleností vyšetřovaného subjektu od rentgenové lampy se počítá též se vzdáleností středů pediklů nejbližšího neinstrumentovaného obratle před operací (B) a po operaci (B'). Konečný vzorec je proto ve tvaru $100 \times [(A/B - A'/B') / A/B] = \%$. Poměr u ideálně zavedených šroubů v bederních segmentech má být $60 \pm 9 \%$.

VÝSLEDKY

Upevnění referenční svorky na processus spinosus nejdálšího instrumentovaného obratle trvalo ve druhé skupině 1,0–4,0 minuty (průměrně 2,0 minuty), a to v závislosti na anatomických poměrech a kvalitě kosti. Doba potřebná pro registraci zadopředního a bočního snímku a pro kalibraci vrtacího nástroje se pohybovala od 3,0 do 11,0 minut (průměrně 6,0 minut). Doba byla zaokrouhlována pro jednoduchost na 0,5 minuty. Celkově tedy zapojení navigace do operačního procesu trvalo průměrně 8,0 minut. Po pochopení a zvládnutí případných přídatných požadavků navigačního

Graf. Doba zapojení navigace do operačního procesu



systému se postupně tato doba zkrátila přibližně na 5 minut (graf).

Doba expozice ionizujícího záření byla přepočítána v obou skupinách na jeden obratel - dva šrouby. V první skupině standardní fluoroskopií kontrolovaných transpedikulárních instrumentací byla průměrná doba osvitu na jeden obratel 14,4 s (6,0–32,6 s). Modus byl 9,3 s, medián 13,3 s, rozptyl 30,25 a směrodatná odchylka 5,5 s. Ve druhé skupině virtuální fluoroskopií kontrolovaných transpedikulárních instrumentací byla průměrná doba osvitu na jeden obratel 3,4 s (1,5–5,3 s). Modus byl 3,0 s, medián 3,3 s, rozptyl 1,44 a směrodatná odchylka 1,2 s.

Pooperační radiologická kontrola neprokázala ani v jedné skupině u žádného ze šroubů výchylku z pravidel uvedených výše (Learch, Whitecloud). Při detailním rozboru rentgenologických pooperačních nálezů metodou dle Açıkbaze byl zjištěn průměrný korigovaný poměr mezi vzdáleností pediklů a hrotů šroubů v první skupině 43,2 % (32–74 %), medián 48 % a modus 54 %. Ve druhé skupině byl poměr průměrně 44,1 % (35–76 %), medián 50 % a modus 48 %. U žádného z pacientů se neobjevily po operaci nově vzniklé radikulární symptomy, které by nepřímo ukazovaly na chybné umístění některého ze šroubů.

Potvrdili jsme tedy hypotézu, že fluoroskopická navigace umožňuje významnou redukci radiační zátěže při zachování stejného operačního postupu a výsledků.

Pro pooperační hematoma byly v obou skupinách provedeny dvě revize operační rány 4. až 6. den po výkonu (evakuace hematoma a drenáž); infekční agens z odebraného materiálu vykultivováno v žádném případě nebylo. V první skupině se jednalo o dvě obézní pacientky (71 a 74 let) s diabetem prvního typu, ve druhé skupině šlo o jednoho normostenického muže (44 let) a jednu obézní ženu (63 let) s diabetem druhého typu. U jedné pacientky v první skupině se objevil dočasný otok obličeje po pronační poloze, který do 3 dnů odezněl.

DISKUSE

Transpedikulární zavedení šroubů v segmentech thorakolumbální páteře nemusí být vždy snadné. Obvyklé orientační body mohou chybět u stavů po předchozích

operacích nebo u těžkých strukturálních změn. Navíc kost bývá nezřídka silně sklerotická a stěny pediklu pak operační nástroj „nevedou“, jak je běžné například u úrazových pacientů. Nezřídka operátorovi brání měkké tkáň nebo rozvěrač, aby dosáhl požadovaného stupně konvergence. Perforace stěny pediklu nástrojem nebo šroubem tak není nijak vzácná (2).

Ještě donedávna byla jedinou kontrolou při zavádění transpedikulárních šroubů peroperační skiografie, i když její spolehlivost není všeobecně považována za příliš vysokou; oproti CT vyšetření je jen desetinná (3). Learch et al. publikovali v r. 2004 (8) metodu radiologické kontroly, jejíž pomocí se daří přesnost aplikace šroubů zvýšit. Spočívá v hodnocení zadopřední a boční projekce. Na zadopředním snímku se obratlové tělo rozděluje na čtyři stejné vertikální kvadranty (označené 1–4) se středem na processus spinosus. Jako kvadranty 0 jsou označeny prostory zevně od obratlového těla. Snahou je zavést šroub do obratlového těla tak, aby se jeho hrot projíkoval do středních kvadrantů 2 a 3. Pokud se na zadopředním snímku hrot šroubu nachází v protilehlé polovině obratlového těla, bývá pedikl mediálně perforován. Je-li hrot šroubu v krajním kvadrantu nebo laterálně od obratlového těla, bývá pedikl porušen laterálně. Na boční projekci se stín pediklu rozděluje horizontálně na třetiny označené shora 1–3. Korektně zavedený šroub má procházet střední zónou. Kontrolou symetrického zavedení šroubů je i vzdálenost jejich hrotů na zadopředním snímku, která nemá být výrazně menší než 60 ± 9 % vzdálenosti středů pediklů, aby nedošlo k porušení mediální stěny pediklů. Při hodnotě významně vyšší bývá šroub umístěn laterálně od pediklu (1). Při kombinaci peroperační skiografie a pečlivé palpce sondou lze zvýšit úspěch korektního zavedení šroubu na více než 95 % (11). Hloubku zavedení šroubu do bederních obratlů zpracoval Whitecloud et al. (13). Počítá poměr délky části šroubu zavedené v obratlovém těle a předozadního rozměru obratlového těla na bočním snímku. Při poměru 0,5 šroub neporáží přední kortikalis, při poměru 0,8 ji penetruje ve 30 % případů a při poměru 1,0 šroub perforuje přední kortikalis vždy.

Jednou z mála možností, jak redukovat dávky ionizujícího záření, je užití navigačních systémů. Dávky přes trup ve spondylochirurgii jsou obecně vyšší než v chirurgii končetinové. Ve spondylochirurgii se principiálně může uplatnit jak navigace založená na předoperačním 3-D CT vyšetření, tak i navigace založená na peroperační fluoroskopii. Fluoroskopická intraoperační 2-D navigace neboli virtuální fluoroskopie byla poprvé představena v r. 1999 (7). První zpracování klinického materiálu s touto novou technologií ve spondylochirurgii publikoval v r. 2001 Foley et al. (4).

Virtuální 2-D fluoroskopie nevyžaduje složité předoperační plánování. Jedná se o rovnocenný ekvivalent peroperační radiologické kontroly. Na rozdíl od ní však teoreticky stačí zhotovení jen jednoho zadopředního a jednoho bočního snímku pro registraci dat a následnou navigaci nástrojů až pro tři obratle současně. Peroperační časová ztráta je nevýznamná, řádově v minutách (přípevnění referenčních markerů a rychlá registrace

dvou snímků). Při virtuální fluoroskopii se lze řídit výše zmíněnými pravidly pro zavádění šroubů jako při standardní fluoroskopii (1, 8, 13).

Ve shodě s našimi zkušenostmi, významné snížení dávek ionizujícího záření při užití 2-D, ale i 3-D, fluoroskopické navigace v traumatologii a ve spondylochirurgii prokázali již dříve němečtí kolegové (6). Většina prací zabývajících se užitím navigačních systémů v lumbální spondylochirurgii studuje zejména přesnost zavedení šroubů v porovnání s běžnou radiologickou kontrolou a méně se věnuje délce osvitu u jednotlivých skupin pacientů. Převážně se navíc jedná o navigační systémy založené na předoperačním CT plánování nebo o 3-D fluoroskopickou navigaci, zatímco virtuální 2-D fluoroskopie je ve světovém písemnictví diskutována jen velmi málo. Fu et al. (5) referovali o užití 2-D fluoroskopické navigace u 12 pacientů – přesně zavedli 61 ze 66 šroubů. Merloz et al. (9) zveřejnili obdobnou studii jakou předkládá pracoviště autorů a dospěli k podobným výsledkům. Srovnávali skupinu 26 pacientů (138 šroubů) operovaných standardně se stejné početnou skupinou pacientů (140 šroubů), kde byla užitá virtuální fluoroskopie. Přesnost zavedení šroubů navíc hodnotili CT vyšetřením. K penetraci šroubu pediklem došlo ve 13 % u standardních výkonů a v 5 % u navigovaných operací. Průměrná doba osvitu na jeden obratel (2 šrouby) byla u standardní skupiny 11,5 s, zatímco u navigované 3,5 s. Čas potřebný k zavedení obou šroubů do jednoho obratle byl u navigací v průměru o 2 minuty delší.

Slabou stránkou předkládané práce je, že nebyly prováděny pooperační kontroly zavedení jednotlivých šroubů CT vyšetřením. To však nebylo smyslem práce. CT je navíc relativně nákladné vyšetření s nezanedbatelnou další radiační zátěží pro pacienta. Cílem studie bylo srovnání doby radiační expozice při prakticky stejném operačním postupu, který v principu standardní skiaografie a virtuální fluoroskopie umožňují. Zachování základních radiologických pravidel umístění šroubů (1, 8, 13) proto považujeme v této práci za dostačující. Slabou stránkou užití navigačního systému je relativní komplexnost registračního procesu, jehož osvojení si vyžaduje zpočátku jistou dávku trpělivosti. Při operaci je nutno dbát zachování absolutní stability referenční svorky a referenčních markerů, což je závislé na anatomických poměrech, kvalitě kosti a manipulaci operátora.

ZÁVĚR

Skiagrafická kontrola je dnes standardem při zavádění transpedikulárních šroubů v thorakolumbálních páteřních segmentech. Při dodržení všeobecně známých pravidel lze tak dosáhnout relativně vysoké přesnosti bez většího rizika poranění důležitých struktur. Obdobné informace jako při standardní fluoroskopii lze získat za pomoci 2-D fluoroskopické navigace. Její užití je po zacvičení pro operační tým rychlé a snadné. Přitom délka osvitu ionizujícím zářením je u tohoto typu počítačové navigace přibližně čtvrtinová ve srovnání se standardní skiaografií při zachování prakticky stejného operačního postupu.

Literatura

1. AÇIKBAŞ, S. C., TUNCER, M. R.: New Method for intraoperative determination of proper screw insertion or screw malposition. *J. Neurosurg.*, 93: 40–44, 2000.
2. CASTRO, W. H. M., HALM, H., JEROSCH, J., MALMS, J., STEINBECK, J., BLASIUS, S.: Accuracy of pedicle screw placement in lumbar vertebrae. *Spine*, 21: 1320–1324, 1996.
3. FARBER, G. L., PLACE, H. M., MAZUR, R. A., JONES, C., DAMIANO, T. R.: Accuracy of pedicle screw placement in lumbar vision by plain radiographs and computed tomography. *Spine*, 20: 1494–1499, 1995.
4. FOLEY, K. T., SIMON, D. A., RAMPERSAUD, Y. R.: Virtual fluoroscopy: computer-assisted fluoroscopic navigation. *Spine*, 26: 347–351, 2001.
5. FU, T. S., CHEN, L. H., WONG, CH. B., LAI, P. L., TSAI, T. T., CHEN, CH. CH.: Computer-assisted fluoroscopic navigation of pedicle screw insertion. An in vivo feasibility study. *Acta Orthop.*, 75: 730–735, 2004.
6. GEBHARD, F., KRAUS, M., SCHNEIDER, E., ARAND, M., KINZL, L., HEBECKER, A., BÄTZ, L.: Strahlendosis im OP – ein Vergleich computerassistierter Verfahren. *Unfallchirurg*, 106: 492–497, 2003.
7. HOFSTETTER, R., SLOMCZYKOWSKI, M., SATI, M.: Fluoroscopy as an imaging means for computer-assisted surgical navigation. *Comput. Asist. Surg.*, 4: 65–76, 1999.
8. LEARCH, T. J., MASSIE, J. B., PATHRIA, M. N., AHLGREN, B. A., GARDIN, S. R.: Assessment of pedicle screw placement utilizing conventional radiography and computed tomography: a proposed systematic approach to improve accuracy of interpretation. *Spine*, 29: 767–773, 2004.
9. MERLOZ, PH., TROCCAZ, J., VOUAILLAT, H., VASILE, CH., TONETTI, J., EID, A., PLAWESKI, S.: Fluoroscopy-based navigation system in spine surgery. *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 7: 813–820, 2007.
10. ROY-CAMILLE, R., SAILLANT, G., BERTEAUX, D., SALGADO, V.: Osteosynthesis of thoraco-lumbar spine fractures with metal plates screwed through the vertebral pedicles. *Reconstr. Surg. Traumatol.*, 15: 2–16, 1976.
11. STEINMANN, J. C., HERKOWITZ, H. N., EL-KOMMOS, H., WESOLOWSKI, D. P.: Spinal pedicle fixation. Confirmation of an image-based technique for screw placement. *Spine*, 18: 1856–1861, 1993.
12. WEINSTEIN, J. N., RYDEVIK, B. L., RAUSCHNING, W.: Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation. *Clin. Orthop.*, 284: 34–46, 1992.
13. WHITECLOUD, T. S., SKALLEY, T. C., COOK, S. D., MORGAN, E. L.: Roentgenographic measurement of pedicle screw penetration. *Clin. Orthop.*, 245: 57–68, 1989.

Korespondující autor:

Prof. MUDr. Radek Hart, Ph.D., FRCS
Ortopedicko-traumatologické oddělení
Nemocnice Znojmo
MUDr. Jana Janského 11
669 02 Znojmo
E-mail: primar.ortopedie@nemzn.cz