

# Ohybová tuhost zubu čepovce po přední fixaci jedním tahovým šroubem – biomechanická studie

## Odontoid Bending Stiffness after Anterior Fixation with a Single Lag Screw: Biomechanical Study

P. BUCHVALD<sup>1</sup>, L. ČAPEK<sup>2</sup>, P. BARSA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Neurocentrum, Krajská nemocnice Liberec, a. s.

<sup>2</sup> Fakulta strojní, Technická univerzita Liberec

### ABSTRACT

#### PURPOSE OF THE STUDY

The aim of the experiment was to compare the bending stiffness of an intact odontoid process with bending stiffness after its simulated type II fracture was fixed with a single lag screw. The experiment was done with a desire to answer the question of whether a single osteosynthetic screw is sufficient for good fixation of a type II odontoid fracture.

#### MATERIAL AND METHODS

The C2 vertebrae of six cadavers were used. With simultaneous measurement of odontoid bending stiffness, the occurrence of a fracture (type IIA, Grauer's modification of the Anderson- D'Alonzo classification) was simulated using action exerted by a tearing machine in the direction perpendicular to the odontoid axis. Each odontoid fracture was subsequently treated by direct osteosynthesis with a single lag screw inserted in the axial direction by a standard surgical procedure in order to provide conditions similar to those achieved by routine surgical management. The treated odontoid process was subsequently subjected to the same tearing machine loading as applied to it at the start of the experiment. The bending stiffness measured was then compared with that found before the fracture occurred. The results were statistically evaluated by the t-test for paired samples at the level of significance  $\alpha = 0.05$ .

#### RESULTS

The average value of bending stiffness for odontoid processes of intact vertebrae at the moment of fracture occurrence was 318.3 N/mm. After single axial lag screw fixation of the fracture, the average bending stiffness for the odontoid processes treated was 331.3 N/mm.

#### DISCUSSION

Higher values of bending stiffness after screw fixation were found in all specimens and, in comparison with the values recorded before simulated fractures, the increase was statistically significant.

#### CONCLUSIONS

The results of our measurements suggest that the single lag screw fixation of a type IIA odontoid fracture will provide better stability for the fracture fragment-C2 body complex on antero-posterior perpendicular loading than can be found in intact C2 vertebrae.

**Key words:** odontoid fracture, odontoid fixation, bending stiffness, lag screw.

### ÚVOD

Přímá osteosyntéza čerstvé zlomeniny zubu čepovce představuje maximálně fyziologické řešení tohoto porúrazového stavu, které by mělo zabezpečit vysokou primární stabilitu a s tím související vysokou incidenci kostní fúze. Současně jde o řešení, které nealteruje mobilitu horního úseku krční páteře a po dokončení kostního hojení by měl být pacient schopen neomezeného začlenění do původních fyzických aktivit. Přestože se nejedná o novou chirurgickou techniku, je přímá osteosyntéza zlomeniny zubu čepovce doprovázena celou řadou

nezodpovězených otázek. Jednou z nich je také otázka, zda jsme k dosažení dostatečné primární stability nuceni použít dva osteosyntetické šrouby nebo zda postačuje zavedení šroubu jediného.

Následující experiment si klade za cíl porovnat ohybovou tuhost zubu čepovce v nepoškozeném stavu a v situaci, kdy je jeho simulovaná zlomenina II. typu fixována jedním tahovým šroubem. Touto cestou se snažíme zodpovědět otázku dostatečnosti fixace zlomeniny zubu čepovce II. typu jedním osteosyntetickým šroubem.

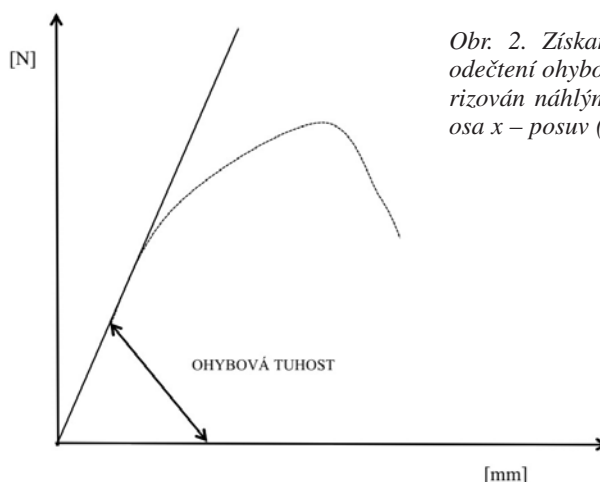
## MATERIÁL A METODIKA

Šest testovaných čepovců patřilo čerstvým kadaverům věkového rozmezí 46–71 let, průměrných proporcí, bez anamnestické poruchy kostního metabolismu. První fází experimentu byla simulace lomu zubu na trhacím stroji (dynamometr TIRATEST 2300). Oblouky všech obratlů jsme nejprve fixovali do bločku polymethylmetakrylátu (Palacos). Na zub čepovce jsme následně aplikovali kontinuální mechanickou sílu v předozadním směru pod úhlem 90 stupňů na osu zubu čepovce, a to rychlostí 300 mm/min až do lomu (obr. 1). Trhací stroj zaznamenával zátěžové křivky (obr. 2), ze kterých přesně odečetl ohybovou tuhost zubu čepovce (lom je charakterizován náhlým poklesem tlaku během posuvu). Vzniklou zlomeninu jsme podle Grauerovy modifikace Andersonovy-D'Alonzovy klasifikace morfologicky determinovali (obr. 3), (7). Následovala simulace chirurgického ošetření vzniklé zlomeniny, při níž jsme zaváděli titanový kortikální tahový šroub o průměru 3,5 mm. V této sou-

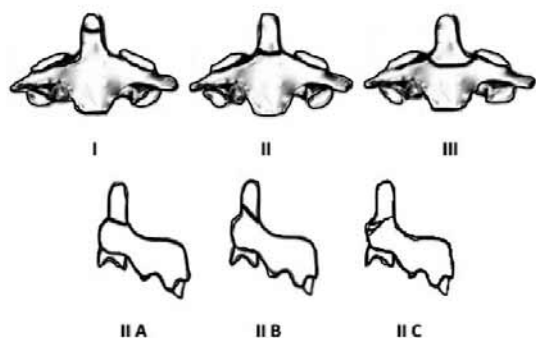
vislosti jsme užili identický postup, který používáme během operační stabilizace. Za skiaskopické kontroly jsme nejprve předvrtali trajektorii, která začínala v oblasti přední dolní hrany obratlového těla, v ose procházela tělem, odlomeným dentem a perforovala apex dentis (obr. 4a). Následně jsme v kosti závitorezem vytvořili závit a pomocí momentového šroubového klíče (Tohni-chi FTD2-S, přesnost  $\pm 1$  Ncm) jsme zavedli jediný šroub (obr. 4b). U takto ošetřených obratlů jsme identickým způsobem, jako tomu bylo při vzniku zlomeniny, testovali ohybovou tuhost. Znovu se tedy jednalo o kontinuální zatěžování v předozadním směru kolmém na osu zubu až do vzniku zlomeniny. Výsledkem byla opět zátěžová křivka, která sloužila ke stanovení ohybové tuhosti komplexu zlomený zub a osteosyntetický šroub. Ze získaných hodnot jsme vypočítali průměrné hodnoty ohybové tuhosti získané při vzniku zlomeniny a poté při zatěžování ošetřeného obratle. Hodnoty těchto dvou situací jsme rovněž statisticky porovnali za užití párového testu na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$ .



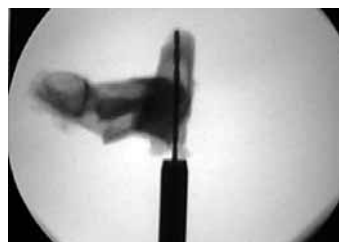
Obr. 1. Simulace zlomeniny zubu na trhacím stroji při předozadním zatěžování.



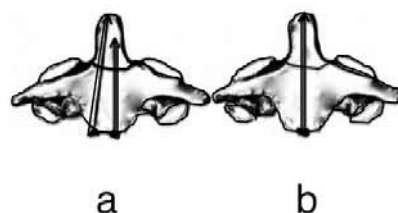
Obr. 2. Získaná zátěžovací křivka umožňující odečtení ohybové tuhosti dentu (lom je charakterizován náhlým poklesem tlaku během posuvu); osa x – posuv (mm), osa y – aplikovaná síla (N).



Obr. 3. Andersonova-D'Alonzova klasifikace zlomenin zubu C2 (I–III), Grauerova subklasifikace zlomenin II. typu (II A–C).



Obr. 4 a, b. Trajektorie předvrtání otvoru pro zavedení tahového šroubu (a) a zavedení šroubu pomocí momentového klíče (b).



Obr. 5 a, b. Přední tahová osteosyntéza dentu dvěma šrouby – tahovým a antiotačným (a), jedním tahovým šroubem (b).

## VÝSLEDKY

Během kontinuálního kolmého zatěžování zubu čepovce vznikla uniformně příčná zlomenina v oblasti baze zubu bez výraznější kominutivní zóny odpovídající zlomenině typu IIA Grauerovy modifikace Andersonovy a D'Alonzovy klasifikace. Průměrná ohybová tuhost zubu intaktního obratle byla stanovena na hodnotě 318,3 N/mm. Osteosynteticky ošetřený obratel charakterizují hodnoty průměrné ohybové tuhosti 331,3 N/mm. Výsledky jednotlivých měření jsou znázorněny v připojené tabulce (tab. 1). Rovněž v případech zatěžování osteosynteticky ošetřených obratlů došlo ke vzniku uniformních zlomenin šroubů v oblasti baze čepovce, a to v místech původní zlomeniny typu IIA. Z naměřených výsledků je zřejmé, že ve všech případech došlo díky zavedení jediného osteosyntetického tahového šroubu k navýšení hodnot sil potřebných ke vzniku lomu i ohybové tuhosti oproti intaktnímu obratli. Průměrné hodnoty lomné síly a ohybové tuhosti byly po fixaci statisticky

Tab. 1. Typ simulované zlomeniny a odečtená ohybová tuhost dentu před a po fixaci jedním šroubem; obratle byly zatěžovány v předozadním směru pod úhlem 0 stupňů

Vzorek č.	Typ zlomeniny	Ohybová tuhost před fixací [N/mm]	Ohybová tuhost po fixaci [N/mm]
1.	IIA	301	318
2.	IIA	291	302
3.	IIA	373	387
4.	IIA	259	271
5.	IIA	331	348
6.	IIA	355	362
průměrná hodnota	–	318,3	331,3

významně vyšší. Pokud tedy přijmeme premisu, že je z biomechanického hlediska dostatečné takové ošetření zlomeniny, které minimálně obnoví původní mechanické vlastnosti kosti, je pro případ působení kolmých lomných sil dostatečné ošetření jediným tahovým šroubem, které pro tento typ mechanické zátěže biomechanické vlastnosti ještě zvýší.

## DISKUSE

Zlomenina zubu čepovce představuje nejčastější zlomeninu horní krční páteře u pacientů starších 70 let a po 80. roce věku nejčastější zlomeninu krční páteře vůbec (15). Její vznik narušuje stabilitu celého atlantoaxiálního komplexu a pokud není včas rozpoznána a adekvátně stabilizována, hrozí u přeživších vysoce nebezpečné sekundární poranění míchy. Jako optimální metoda ošetření se jeví přímá osteosyntéza prostřednictvím šroubů zavedených napříč lomnou linií (3, 4, 14, 20). Zmíněná technika je určena především pro zlomeniny zubu II. typu a tzv. „mělké“ zlomeniny typu III Andersonovy-D'Alonzovy klasifikace (2). V srpnu 1978 byla tato technika poprvé použita v Japonsku Nakanishim (14). O pět měsíců později užil identický postup nezávisle

Magerl ve Švýcarsku, o čemž literárně referoval Boehler v roce 1981 (3, 4). Od uvedených autorů je dáno doporučení použít dva šrouby, z nichž jeden má funkci tahovou, proto musí být zaveden do apikální kortikální kosti zubu, druhý šroub pak zajišťuje rotační stabilitu, tudíž musí procházet lomnou linií, ale nemusí zasahovat až do apikální kortikális (obr. 5a). Řada recentních klinických prací však poukazuje na to, že pro zajištění potřebné stability je dostačující zavedení jediného tahového šroubu (obr. 5b), (1, 6, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 19). Tento závěr sice vede k širokému přijetí techniky osteosyntézy zubu jediným tahovým šroubem, opora vycházející z biomechanických studií je však dosud poměrně slabá.

Naše práce si klade za cíl přispět do této diskuse. Identickým způsobem kontinuálně navýšovaného předozadního zatěžování zubu čepovce ve směru kolmém na jeho osu se nám podařilo simulovat vznik zlomeniny typu IIA podle Grauerovy klasifikace. Způsob zatěžování jsme zvolili účelně na základě poznatků již dříve publikovaných Mouradianem et al. s cílem dosáhnout určitého typu zlomeniny (13). Současně jsme touto cestou zjistili mechanickou charakteristiku intaktního obratle. Identickým zatěžováním osteosynteticky ošetřené zlomeniny zubu čepovce jsme získali hodnoty převyšující původní hodnoty intaktního obratle. Podařilo se nám tak prokázat, že ošetření zlomeniny typu IIA jediným tahovým šroubem přispěje ke zvýšení biomechanických vlastností (lomné síly a ohybové tuhosti dentu) ošetřené komplexu pro kolmo působící síly nad hodnoty měřené v intaktním stavu. Tyto závěry se poněkud odlišují od výsledků studie, kterou provedli v minulosti Sasso et al., kteří sdělují, že ohybová stabilita fixovaného dentu byla obdobná při použití jednoho a dvou šroubů, ovšem nedosahovala stability intaktního obratle (16). K obdobným závěrům dospěli i Doherty et al. (5). Studie ovšem mají řadu slabých míst jak v technickém provedení pokusů, tak v použitém materiálu. Graziano et al. ve své studii naopak zmiňují navýšení mechanických vlastností zubu po zavedení jediného šroubu (8).

Autoři studie si jsou vědomi limitací, které s sebou uvedená studie přináší. V první řadě se jedná o studii provedenou na relativně malém souboru obratlů, což je dáno omezenou dostupností kvalitního čerstvého kadaverózního materiálu. Především si však dovoluujeme upozornit na riziko paušalizace výsledků studie. Ta se zabývala pouze zátěžovými testy obratlů v jediném směru. K tomu, abychom mohli techniku osteosyntézy jediným šroubem označit za dostačující pro ošetření zlomenin zubu II. typu, museli bychom aplikovat mechanickou zátěž ve více směrech. Především při užití rotačního momentu okolo osy zubu čepovce cítíme, že tento typ fixace nemusí dosahovat adekvátních mechanických vlastností. Jeho užití pro ošetření čistě příčných zlomenin zubu čepovce nepovažujeme za dostatečně mechanicky ověřené. Proto bychom se chtěli v návaznosti na představenou studii v dalším experimentu zaměřit na ohybovou tuhost jedno- a dvoušroubové osteosyntézy v krutu/rotaci, což by mělo být předmětem dalšího sdělení.

## ZÁVĚR

Na základě výše uvedených měření je možné usuzovat, že z hlediska obnovení ohybové tuhosti dentu pro síly působící v předozadním směru kolmém na osu zubu čepovce postačuje k fixaci zlomenin zubu typu IIA pouze jediný tahový šroub.

## Literatura

1. ALFIERI, A.: Single-screw fixation for acute type II odontoid fracture. *J. Neurosurg. Sci.*, 45: 15–18, 2001.
2. ANDERSON, L. D., D'ALONZO, R. T.: Fractures of the odontoid process of the axis. *J. Bone Jt Surg.*, 56-A: 1663–1674, 1974.
3. BOEHLER, J.: Anterior stabilization for acute fractures and nonunions of the dens. *J. Bone Joint Surg.*, 64-A: 18–27, 1982.
4. BOEHLER, J.: Schraubenosteosynthese von fracturen des dens axis. *Umfallheilkunde*, 84: 221–223, 1981.
5. DOHERTY, B. J., HEGGENESS, M. H., ESSES, S. I.: A biomechanical study of odontoid fractures and fracture fixation. *Spine*, 18: 178–184, 1993.
6. FAN, K. F., LIAO, J. C., NIU, C. C., CHEN, L. H., CHEN, W. J., LEE, M. S.: Anterior single-screw fixation in 24 patients with type II odontoid fractures. *F. J. Muscul. Disord.* 4: 26–31, 2013.
7. GRAUER, J. N., SHAFI, B., HILIBRAND, A. S.: Proposal of a modified, treatment – oriented classification of odontoid fractures. *Spine J.*, 5: 123–129, 2005.
8. GRAZIANO, G., JAGGERS, C., LEE, M., LYNCH, W.: A comparative study of fixation techniques for type II fractures of the odontoid process. *Spine*, 18: 2383–2387, 1993.
9. HOU, Y., YUAN, W., WANG, X.: Clinical evaluation of anterior screw fixation for elderly patients with type II. odontoid fractures. *J. Spinal. Disord. Tech.*, 24: 75–81, 2011.
10. HRABÁLEK, L., BUŘVAL, S., VAVERKA, M.: Úspěšnost přední osteosyntézy fraktury dens axis. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 75: 332–338, 2008.
11. JENKINS, J. D., CORIC, D., BRANCH, C. L. Jr.: A clinical comparison of one- and two-screw odontoid fixation. *J. Neurosurg.*, 89: 366–370, 1998.
12. LEE, S. C., CHEN, J. F., LEE, S. T.: Management of acute odontoid fractures with single anterior screw fixation. *J. Clin. Neurosci.*, 11: 890–895, 2004.
13. MOURADIAN, W., FIETTI, V. J., COCHRAN, G., FIELDING, J., YOUNG, J.: Fractures of the odontoid: a laboratory and clinical study of mechanisms. *Orthop. Clin. North. Am.*, 9: 985–100, 1978.
14. NAKANISHI, T.: Internal fixation of the odontoid fracture. *Cent. J. Orthop. Trauma Surg.*, 23: 399–406, 1980.
15. RYAN, M. D., HENDERSON, J. J.: The epidemiology of fractures and fracture – dislocations of the cervical spine. *Injury*, 23: 38–40, 1992.
16. SASSO, R., DOHERTY, B. J., CRAWFORD, M. J., HEGGENESS, M. H.: Biomechanics of odontoid fracture fixation: comparison of the one- and two-screw technique. *Spine*, 18: 1950–1953, 1993.
17. SAUR, K., SAMEŠ, M.: Výsledky ošetření zlomenin zubu čepovce přímou osteosyntézou jediným axiálním šroubem. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 75: 48–51, 2008.
18. SAYED AHMED, N. M., LOUTFY, M. I., SHERSHERA, W., SLEEM, A.: Fixation of type II odontoid fractures with anterior single screw. *E. J. N. S.* 22: 137–146, 2007.
19. SUBACH, B. R., MORONE, M. A., HAID, R. W. JR., McLAUGHLIN, M. R., RODTS, G. R., COMEY, C. H.: Management of acute odontoid fractures with single-screw anterior fixation. *Neurosurgery*, 45: 812–819; discussion 819–820, 1999.
20. ŠTULÍK, J., SUCHOMEL, P., LUKÁŠ, R., CHROBOK, J., KLÉZL, Z., TALLER, S., KRBEC, M.: Přímá osteosynthesa dentu – multicentrická studie. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 69: 141–148, 2002.

## Korespondující autor:

MUDr. Pavel Buchvald  
Neurochirurgické oddělení  
Krajská nemocnice Liberec, a. s.  
Husova 10  
463 31 Liberec  
E-mail: pavel.buchvald@nemlib.cz