

# Minimálně invazivní krční elastická laminoplastika – principy a operační technika

## Minimally Invasive Cervical Elastic Laminoplasty – Principles and Surgical Technique

P. SUCHOMEL<sup>1</sup>, J. HRADIL<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Ústav zdravotnických studií, Technická Univerzita Liberec

### ABSTRACT

#### PURPOSE OF THE STUDY

To present a new technique of minimally invasive decompression of the cervical spinal canal using elastic and plastic deformation of the laminae.

#### MATERIAL AND METHODS

Short midline vertical incision provides an access to the superior aspect of the target spinous processes. Cranial edge of the lamina is located by a midline, muscle-sparing interspinous dissection. The spinous process is cut in mid-sagittal plane using a thin blade of an ultrasonic bone scalpel down to epidural space. The created sagittal cleavage of the spinous process is subjected to tension and elastic distraction by a custom-designed distractor (Aesculap, Germany). Gradual increase of the distraction force leads to a significant plastic deformation. This reduces the distraction force and allows for a wider exposure which, in turn, facilitates dural visualization, resection of the yellow ligament and undercutting of approximately a half of the adjacent intact laminae. After completion of decompression, the plastic arch expansion can be maintained either by interposed bone-graft or appropriately shaped cage secured by a circumferential suture to the spinous process. Soft tissue resection and permanent expansion of the laminae provide sufficient decompression of the cervical spinal cord.

In multilevel stenosis, the desired laminae can be expanded using this technique. To achieve the same degree of canal expansion as that by a classic laminoplasty (C3-7), a skip technique can be utilized. This involves combining expansive laminoplasty of C4 and C6 with bilateral undercutting of C5 and partial undercutting of C3 and C7. This can be achieved through two short vertical incisions.

Based on data and experience gained from testing on 11 cadavers, we applied this method in 7 patients requiring posterior cervical decompression.

#### RESULTS

The spinous process or laminae fractured during expansion in the initial 4 patients and the procedure required conversion to a minimally invasive laminectomy. Further modification of the distractor and spinous process splitting technique resulted in elimination of this complication in subsequent cases. In all remaining patients, sufficient canal expansion was achieved by soft tissue resection and distraction of laminae, typically reaching 5 - 8 mm. Minimally-invasive muscle-sparing midline approach provided very positive functional results in terms of postoperative pain and range of motion allowing for immediate mobilization without external bracing.

#### CONCLUSION

Minimally invasive, muscle sparing, expansive laminoplasty provides adequate spinal canal expansion. Use of this technique and its muscle-sparing nature potentially result in improvement of early functional outcomes when compared to standard laminoplasty techniques requiring lateral lamina-facet border exposure. However, the theoretical superiority of this technique will need to be clinically scrutinized in a well designed surgical outcome study.

**Key words:** cervical laminoplasty, minimally invasive, cervical spine, cervical spondylotic myelopathy.

### ÚVOD

Rostoucí věk populace vede ke zvýšené prevalenci spondylózy krční páteře a tím také vyšší incidenci krční spondylogenní myelopatie (CSM) (12). Pro závažnější případy CSM způsobené významnou stenózou kanálu páteř-

ního je nejefektivnějším řešením chirurgická dekomprese, střední postižení jsou obvykle řešena dle preference pacienta souvisle s vývojem postižení a mírné formy jsou léčeny často konzervativně s pravidelnými elektrofyzilogickými kontrolami (1). Tato obecně přijímaná pravidla však nejsou podpořena průkaznou literaturou.

Operační možnosti zahrnují prostou laminektomii, která je však vhodná pouze u pacientů s lordotickým postavením páteře a omezením hybnosti segmentů. Tato velmi efektivní dekomprese je vykoupena značnou destrukcí s řadou souvisejících problémů. Laminektomie u volně pohyblivé krční páteře obvykle predisponuje k rozvoji kyfotických deformit. Kyfotizaci lze zabránit zadní instrumentací v jedné době, čímž se však dále navyšuje destruktivní charakter výkonu, jeho rozsah, frekvence potenciálních komplikací a zátěž pacienta. Cenou za získanou stabilitu je i trvalá imobilizace středního úseku krční páteře.

Snaha o funkčně uspokojivou dekompresi bez nutnosti imobilizace krku instrumentací a také se sníženým rizikem kyfózy vyústila v rozvoj různých forem laminoplastik („open door, single door, double door, french door, lift-up laminoplastika“ atd.). Tyto výkony obvykle vedou k rozšíření páteřního kanálu při zachování jeho kostního krytu (3, 6), avšak vyžadují rozsáhlý chirurgický přístup provázený destrukcí svalstva a poškozením vazivově-kloubního aparátu. Důsledkem bývá svalová atrofie (11) a zhoršení přirozené funkce krčního stabilizačně-pohybového aparátu. V dlouhodobějším horizontu dochází také k progresující restrikci rozsahu pohybů krční páteře (4), většina pacientů si stěžuje na bolesti krční oblasti a často mívají i vegetativní příznaky a bolesti hlavy. Několik prací poukázalo na závislost míry invazivity a následků u různých typů laminoplastik (5, 10, 13). I když se nejedná o zcela průkazné studie, jejich výsledky podporují logický předpoklad, že minimálně invazivní a maximálně fyziologický přístup je pravým klíčem k dobrému krátkodobému i dlouhodobému funkčnímu výsledku.

Cílem předkládané studie je technický popis nově navrženého minimálně invazivního dekompresního výkonu, který kompletně zachovává svalové úpony a pro dekompresi využívá přirozené elasticity a následné plastické deformace oblouku krčního obratle.

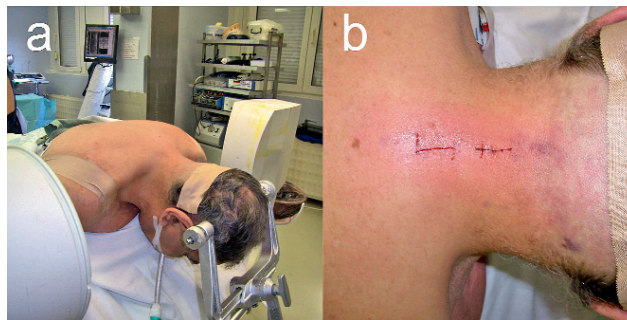
## MATERIÁL A METODIKA

Po teoretickém rozpracování byla metoda v různých variantách odzkoušena na 11 kadaverosních preparátech a klinicky aplikována u sedmi pacientů.

Součástí přípravy byla preparace minimálně invazivním přístupem s vyřešením techniky retrakce tkání, středočárová interspinózní preparace, bezpečná lokalizace baze laminy ve střední čáře, technika incize kostním skalpelem a především testování mechanického chování distrahovaných oblouků. Z modelování na kadaverosních preparátech zřetelně vyplynula možnost elastického roztažení středem protnutého oblouku s následnou plastickou deformací. Byly vyzkoušeny také metody fixace expandovaného stavu vmezeřením štěpu či klece do distrahovaného prostoru. Vzhledem k interindividuální variabilitě velikosti lamin a různé kvalitě kosti nebylo možno výsledky validně statisticky zpracovat, nicméně pozorované výstupy umožnily spolehlivou a bezpečnou klinickou aplikaci.

## Operační postup

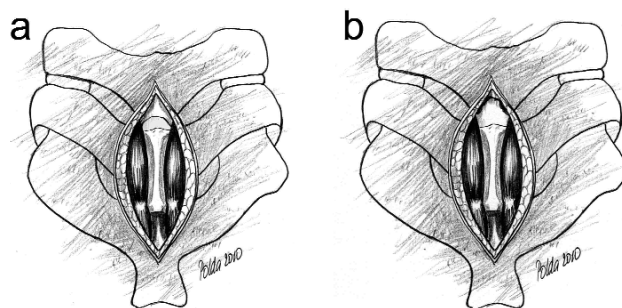
Pacienti byli operováni v poloze na břiše na podložních válcích s upnutím hlavy do Mayfieldova tříbodového fixátoru, který umožňuje stabilní flekční držení hlavy a tím distenzi zadních elementů krční páteře (obr. 1a). Středočárová vertikální incize kůže může být v jedné linii, nebo v případě dvou separátních mikropřístupů přerušena kožním můstkem (obr. 1b). Přístup je vždy cílen skiaskopicky dle laterální projekce.



Obr. 1. Poloha pacienta s hlavou upnutou do třítodového fixátoru a s flekčním postavením krční páteře (a), dvojitá mini-incize lokalizovaná po skiaskopickém laterálním zacílení (b).

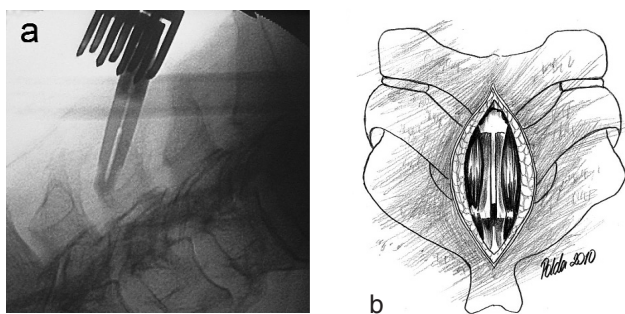
## Minimálně invazivní elastická laminoplastika v jedné etáži

Tento výkon připadá v úvahu pokud je zadní míšní komprese omezena na jeden oblouk a přilehlé žluté vazy („folding“). Středočárová disekce podkoží se zastavuje na horních okrajích trnových výběžků. Po skiaskopické verifikaci cílového prostoru následuje průnik interspinózně podél kranální střední hrany kaudálního oblouku až ke žlutému vazu. Interlaminárně rozepjatý žlutý vaz musí být zřetelně vymezen (obr. 2a) a k odhalení kranálního okraje přilehlého oblouku je často nutné drobně resekovat vnitřní úhel vidlice kranálního trnového výběžku. Resekce žlutého vazy je prováděna zvykle mikrochirurgicky Kerissonem (obr. 2b). Odhalená tvrdá plna představuje jasnou hranici pro pohyb kostního skalpelu (Misonics™) s čepelí silnou 0,5 mm. Ultrazvukový skalpel je nasazen přesně do středu cílové laminy a za průvodního chlazení fyziologickým roztokem je veden kaudálním směrem a vzhůru. Bezpečnost pohy-

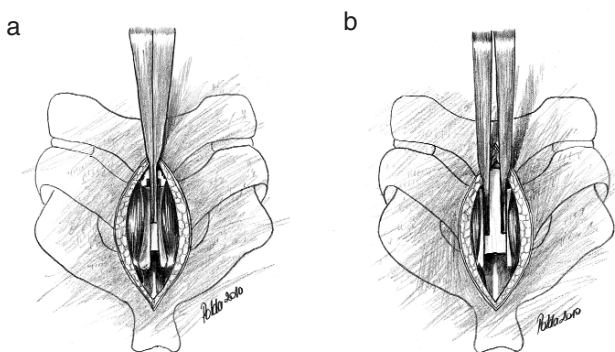


Obr. 2. Schematické znázornění operačního přístupu. Odhalení žlutého vazy interspinózní preparací (a), stav po resekci žlutého vazy a části kranálního trnového výběžku (b).

bu vůči míše je zajištěna jednak dotykovým vjemem (při vypnutí zdroje je možné zbytky kosti palpatovat přímo čepelí), ale také je možné pohyb kontrolovat skiaskopicky (obr. 3a). Nebezpečí během této fáze netkví ve vlastním zdroji energie (ultrazvuk tvrdou plenu neporuší), ale v potenciálním přímém tlaku nástroje směrem do kanálu. Postupně je takto protnut oblouk a středem i příslušný trnový výběžek (obr. 3b). Do vzniklého kostního řezu jsou kranio-kaudálně zavedeny speciálně upravené distrakční kleště (Aesculap, SRN; obr. 4a), kterými je postupně lamina roztažena (obr. 4b). Zpočátku čistě elastická deformace přechází po postupné tonizaci do plastické, kdy se již lamina zcela nevrací do původní polohy, nevyvíjí silný protitlak a je možno ji ještě více distrahovat. Získaný prostor umožňuje resekci žlutého vazů také v kaudálním interlaminárním prostoru a obecně lze provést kompletní měkkotkáňovou dekompresi

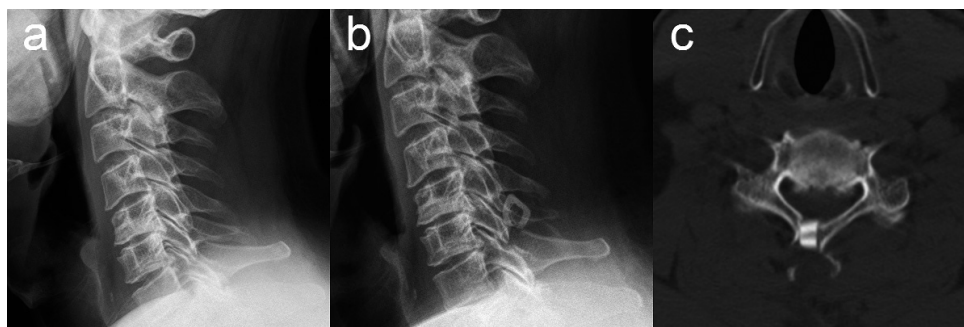


Obr. 3. Středové protnutí laminy a trnu ultrazvukovým skalpelem. Laterální skiaskopická kontrola polohy čepele skalpelu (a), schematické znázornění rozsahu kostní incize (b).



Obr. 4. Distrakce oblouku kleštěmi. Naložení kleští v kranio-kaudálním směru (a), stav po postupné distrakci (b).

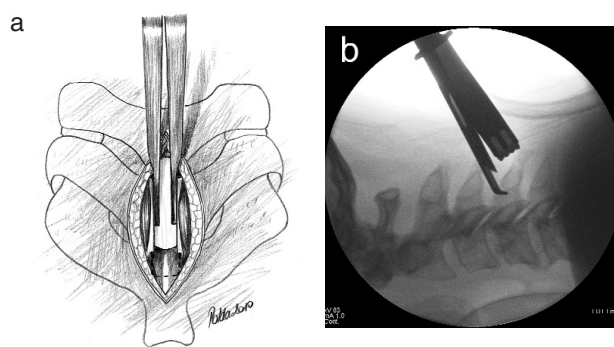
Obr. 7. Grafická dokumentace pacienta po výkonu v jedné etáži. Předoperační boční nativní snímek (a), pooperační boční projekce dokumentující polohu štěpu (b), pooperační axiální CT sken (c).



kanálu páteřního. V indikovaných případech vzniklý prostor umožňuje i vyklonění Kerrisonových kleští a tím resekci („undercutting“) i části vnitřních stěn přilehlých oblouků (obr. 5a, b). Dosažení postavení laminy fixujeme vložení allogenního kostního štěpu fixovaného stehem k oběma polovinám spinózních výběžků (obr. 6). Postavení štěpu je voleno tak, aby nezasahoval do kanálu páteřního a měl maximální oporu v přilehlých polobloucích (obr. 7a-c). Rána je poté uzavřena po anatomických vrstvách.

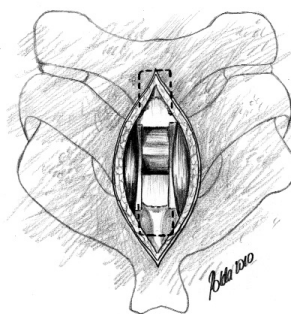
### Minimálně invazivní elastická laminoplastika ve více sousedních etážích

Dříve popsaným postupem lze z jednoho delšího vertikálního kožního řezu postupně odhalit několik trnových výběžků při zachování svalových úponů a postupně je protnout kostním skalpelem. Podmínkou je vizualizace tvrdé pleny v místě nasazení skalpelu. Takto lze ošetřit libovolný počet oblouků a výkon je

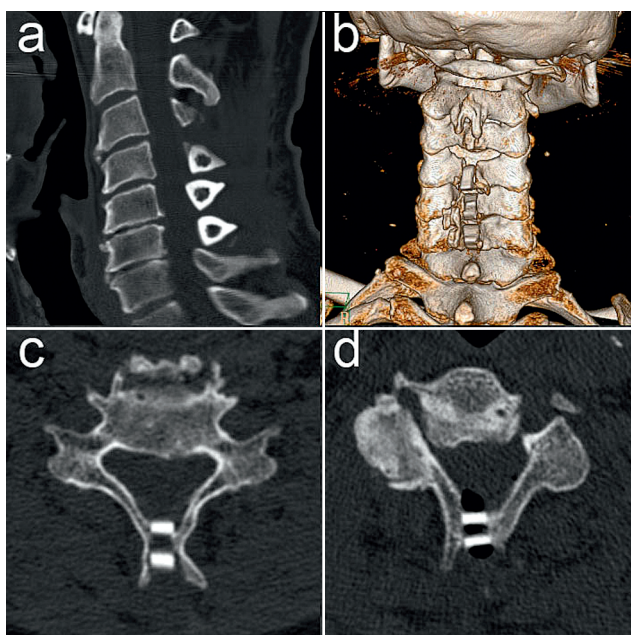


Obr. 5. Rozsah resekce přilehlé části kaudálního oblouku Kerrison kleštěmi. Schematické znázornění rozsahu „undercuttingu“ (a), skiaskopická kontrola v boční projekci (b)

Obr. 6. Schematické znázornění vložení štěpu a rozsahu sublaminární dekomprese přilehlých oblouků.





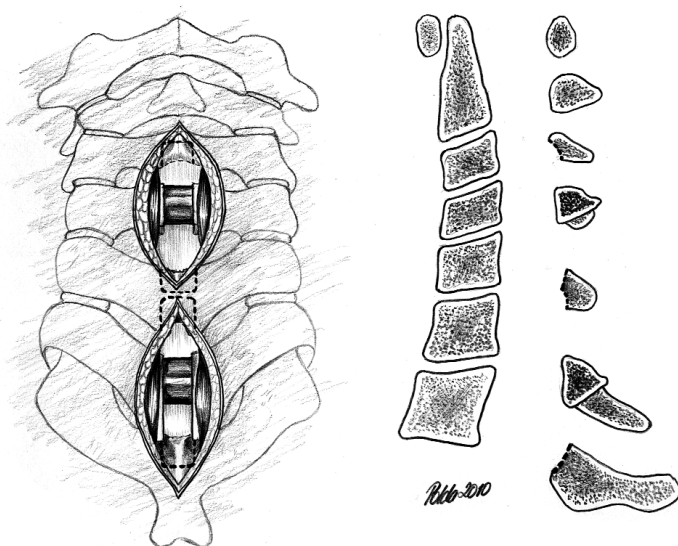


Obr. 8. Rtg pacienta po výkonu ve třech sousedících etážích. CT obraz polohy štěpů v sagitální (a) a 3D rekonstrukci (b). Axiální skeny dokumentující distrakci lamin a polohu štěpů (c, d).

tě rozšířit „undercuttingem“ polooblouků přilehlých (obr. 8a-c) a tím dosáhnout podobného morfologického efektu jako u klasických typů laminoplastik.

#### Minimálně invazivní skoková („skip“) elastická laminoplastika ve více sousedních etážích

K dosažení podobného rozsahu dekomprese jako u předchozí techniky lze také dosáhnout ještě méně invazivním způsobem. Ze dvou skiaskopicky zacílených vertikálních incizí (obr. 1) lze proniknout pouze k obloukům C4 a C6, tyto elasticky distrahovat a vnitřní stěnu oblouku C5 z obou stran resekovat zcela. Výkon lze pak dokončit částečnou vnitřní resekci („undercutting“) lamin C3 a C7 (obr. 9).



Obr. 9. Schéma rozsahu dekomprese dosažitelné skokovou („skip“) minimálně invazivní technikou.

## VÝSLEDKY

Kadaverózní studie potvrdila vysoký potenciál laminy obratlu k viskoelastické deformaci. Po dosažení deformace výrazně klesá síla nutná k udržení dosažené pozice. Jako zásadní faktory úspěšného rozevření laminy byly praktickými zkouškami identifikovány 1) přísně středočárová incize spinosního výběžku bez výrazné ztráty kostní hmoty 2) pomalý průběh deformace a 3) repetitivní distrakce s navyšováním distrakčních sil. Síly nutné k distrakci se výrazně liší dle etáže, velikosti laminy a kvality kosti. Použití hydraulického distrakčního aparátu ve snaze o objektivizaci pozorovaných fenoménů nepřineslo na tomto malém souboru konzistentní výsledky.

V klinických podmínkách došlo u prvních 4 pacientů v jedné či více etážích k prasknutí spinosního výběžku a operační postup byl konvertován na minimálně invazivní laminectomii, skip laminectomii či hybridní výkon (laminectomie+laminoplastika). V následujících případech jsme upravili techniku distrakce a dále již pravidelně dosahovali elastické expanze, typicky šíře 5–8 mm v závislosti na velikosti laminy. Přehled provedených výkonů shrnuje tabulka.

Minimálně invazivní středočarový přístup přinesl příznivé funkční výsledky. Typické pooperační VAS skóre je u většiny pacientů do 3/10 a rychle klesá. U jednoho pacienta jsme zaznamenali krátce po operaci výraznou bolestivost (VAS 8), která však rychle ustoupila. Kromě nízké bolestivosti lze pozorovat minimální omezení hybnosti páteře. Objektívni změření a vyhodnocení rozsahu pohybů je obtížné a pro účely této techniky zaměřené, pilotní studie nebylo provedeno.

Klinický neurologický stav se zlepšil u šesti pacientů, u jednoho pacienta zůstal stejný, jako před operací (viz tabulka).

## DISKUSE

Mechanické vlastnosti se odvíjejí od tvaru, síly a uspořádání vnitřní struktury každé kosti (2, 7, 8, 9). Obecné vlastnosti kompakty a spongiosy nelze použít pro přesné modelování konkrétních kostí a valná většina biomechanických analýz se proto koncentruje na velmi konkrétní aplikace, například ukotvení kloubních náhrad, biomechanické vlastnosti instrumentací či stomatologickou problematiku. V literatuře se nám tak nepodařilo najít publikaci hodnotící elasticitu či plastické chování intaktních krčních lamin.

Podkladem k rozvoji techniky nebyla tedy biomechanická analýza, ale klinická zkušenost získaná při operacích krčních laminoplastik dříve popsány technikami. S příchodem ultrazvukového kostního skalpelu do běžného užití padla jedna ze základních překážek praktického provedení naší předložené metody. V úvodních klinických případech jsme neměli k dispozici správně upravené distrakční kleště. Na kadaverózních preparátech fungující běžná distrakce se v klinické praxi stávala problematickou. Důsledkem byly fraktury trnového výběžku a došlo také k frakturám laminy při příliš rychlé distrakci. Tyto

pac. č.	op	VAS	follow-up (3 a více měsíců)
1	MILE C4 + C6 (skip)	2-0	Parciální zlepšení motorického oslabení HKK, bolesti krku mírné, medikace NSAIDs
2	MILE C3 + EL C5 (skip hybrid)	3-2	Výrazná regrese motorického postižení, zcela bez bolestí C-páteře
3	MILE C4 a C6 (skip)	1-0	Kompletní úprava motorického deficitu, zcela bez bolestí C-páteře
4	EL C4-C6	3-0	Neurologický stav po operaci beze změny, trvá kvadrusymptomatologie, parestézie a porucha jemné motoriky na HKK
5	EL C6	8-2	Kompletní regrese symptomů (brnění a parestézie HKK bilat.), bolesti krku mírné, bez medikace
6	MILE C4 + EL C5-6 (hybrid)	4-1	Po operaci znovu chodí (1 FH), významná úprava deficitu jemné motoriky na HKK, bez bolestí C-páteře
7	EL C5-C6	1-0	Významná regrese kvadrusymptomatologie, mírné bolesti krku bez medikace
Vysvětlivky: MILE: minimálně invazivní laminectomie EL: expanzivní laminoplastika VAS: Vizuální analogová škála 0-10 bodů, hodnocení v prvních 48 hodinách po operaci			

problémy se podařilo odstranit díky úpravě distálního konce kleští (obr. 4a) a zisku zkušeností při distrakci různých velikostí a typů lamin v reálné situaci. Správnou technikou lze poměrně jednoduše rozevřít všechny větší laminy (typicky segmentů C5, C6 a C7). Distrakční manévry je však třeba provést v několika krocích s postupným nárůstem vzdálenosti a umožnit tak postupnou plastickou deformaci. U větších oblouků bylo na kadaveru možné dosáhnout až 10 mm interlaminární distance, aniž by oblouk praskl. U menších lamin (C3, C4), které jsou sice k plastické deformaci příhodnější, je však proces distrakce technicky složitější, zejména v terénu závažnější stenózy. U jednoho pacienta jsme proto provedli v nejvyšší etáži laminectomii a po zisku dostatečného přehledu pokračovali v ostatních etážích laminoplastikou.

Žádná ze zlomenin oblouku, které vznikly při distrakci jak na kadaveru, tak v klinické situaci, nevedla k ohrožení obsahu kanálu a ve všech případech bylo možno konvertovat výkon do skokové minimálně invazivní laminectomie. Předmětem dalšího výzkumu zůstává přesné vyhodnocení rozsahu expanze dosažené elastickou laminoplastikou a evaluace dlouhodobých klinických výsledků v léčbě CSM. Krátkodobá klinická odezva, byť dosažená na omezeném počtu nemocných, je velmi slibná zejména stran minimálních pooperačních obtíží a rychlé mobilizace nemocných.

## ZÁVĚR

Elastická expanzivní laminoplastika přináší nové principy a využívá novou technologii. Striktní středočárový přístup šetřící svalové úpony ukazuje novou cestu ke zlepšení funkčních výsledků v porovnání s klasickými technikami laminoplastiky. Je však nepochybné, že k validizaci použití této metody je třeba delší sledování většího množství pacientů.

## Literatura

1. BEDNARIK, J., KADANKA, Z., DUSEK, L., NOVOTNY, O., SURELOVA, D., URBANEK, I., et al.: Presymptomatic spondylo-  
tic cervical cord compression. *Spine*, 29: 2260–2269, 2004.
2. CHOI, K., KUHN, J. L., CIARELLI, M. J., GOLDSTEIN, S. A.: The elastic moduli of human subchondral, trabecular, and cortical bone tissue and the size-dependency of cortical bone modulus. *J. Biomech.*, 23: 1103–13, 1990.

3. HIRABAYASHI, K., WATANABE, K., WAKANO, K., SUZUKI, N., SATOMI, K., ISHII, Y.: Expansive open-door laminoplasty for cervical stenotic myelopathy. *Spine*, 8: 693–699, 1983.
4. HYUN, S. J., RHIM, S. C., ROH, S. W., KANG, S. H., RIEW, K. D.: The time course of range of motion loss after cervical laminoplasty: a prospective study with minimum two-year follow-up. *Spine*, (Phila Pa 1976) 34: 1134–1139, 2009.
5. KOTANI, Y., ABUMI, K., ITO, M., SUDO, H., TAKAHATA, M., OHSHIMA, S., HOJO, Y., MINAMI, A.: Minimum 2-year outcome of cervical laminoplasty with deep extensor muscle-preserving approach: impact on cervical spine function and quality of life. *Eur. Spine J.*, 18: 663–671, 2009.
6. KUOKAWA, T., TSUYAMA, N., TANAKA, H., et al.: Enlargement of spinal canal by the sagittal splitting of the spinous process. *Bessatsu. Seikeigeka*, 2: 234–240, 1982.
7. LINDE, F.: Elastic and viscoelastic properties of trabecular bone by a compression testing approach. *Dan. Med. Bull.*, 41: 119–138, 1994.
8. MAMMONE, J. F., HUDSON, S. M.: Micromechanics of bone strength and fracture. *J. Biomech.*, 26: 439–446, 1993.
9. MICHEL, M. C., GUO, X. D., GIBSON, L. J., MCMAHON, T. A., HAYES, W. C.: Compressive fatigue behavior of bovine trabecular bone. *J. Biomech.*, 26: 453–63, 1993. Erratum in: *J. Biomech.*, 26: 1144, 1993.
10. SAKAURA H., HOSONO, N., MUKAI, Y., FUJIMORI, T., IWA-SAKI, M., YOSHIKAWA, H.: Preservation of muscles attached to the C2 and C7 spinous processes rather than subaxial deep extensors reduces adverse effects after cervical laminoplasty. *Spine*, (Phila Pa 1976). 35: E782–786, 2010.
11. SHIRAISHI, K., FUKUDA, K., YATO, Y., NAKAMURA, M., IKEGAMI, T.: Results of skip laminectomy-minimum 2-year follow-up study compared with open-door laminoplasty. *Spine*, 15: 2667–72, 2003.
12. ŠTULÍK, J., ŠEBESTA, P., VYSKOČIL, T., KRYL, J.: Poranění krční páteře u pacientů nad 65 let. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 74: 189–194, 2007.
13. TAKEUCHI, K., YOKOYAMA, T., ABURAKAWA, S., SAITO, A., NUMASAWA, T., IWASAKI, T., et al: Axial symptoms after cervical laminoplasty with C3 laminectomy compared with conventional C3-C7 laminoplasty: a modified laminoplasty preserving the semispinalis cervicis inserted into axis. *Spine*, 30: 2544–2549, 2005.

## Korespondující autor:

Doc. MUDr. Petr Suchomel, Ph.D.

Oddělení Neurochirurgie, Krajská nemocnice Liberec, a. s.  
Husova 10

460 63 Liberec

E-mail: petr.suchomel@nemlib.cz