

# **E**xperimentální **A**nalýza **N**apětí **2005**

## **EXPERIMENTAL VERIFICATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SUBLAMINAR WIRES AND PEDICULAR HOOKS IN SURGICAL MANAGEMENT OF SPINAL AND PELVIC NEUROMUSCULAR DEFORMITIES ACCORDING TO LUQUE-GALVESTON SURGICAL METHOD**

### **EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KLIČEK A PÁTEŘNÍCH HÁČKŮ PŘI OPERAČNÍ TERAPII NEUROMUSKULÁRNÍCH DEFORMIT PÁTEŘE A PÁNVE ZPŮSOBEM DLE LUQUEHO A GALVESTONEA**

Zdeněk Florian<sup>1</sup>, Martin Repko<sup>2</sup>, Tomáš Návrat<sup>1</sup>, Vladimír Fuis<sup>1</sup>

*The scoliotic deformity combined with pelvic obliquity is very common problem in neuromuscular affected patients. The surgical therapy has been indicated in colaps or instability of the spine or instability of the standing and sitting position. The combination of Luque (segmental sublaminar spinal instrumentation) and Galvestone (pelvic stabilisation) techniques for simultaneous correction of the pelvic obliquity and scoliotic deformity has been used. The objective of this contribution is experimental verification of mechanical properties of sublaminar wires and pedicular hooks in surgical management of spinal and pelvic neuromuscular deformities according to Luque-Galveston surgical method.*

#### **Keywords**

Neuromuskulární skolióza, operační léčení, pánevní obliquita, mechanické vlastnosti

#### **Úvod**

Počátkem tohoto roku byla navázaná spolupráce mezi Ortopedickou klinikou Fakultní nemocnice Brno a Ústavem mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky FSI v Brně v oblasti biomechaniky deformit páteře. První společná práce byla zaměřena na experimentální ověřování mechanických vlastností drátěných kliček a páteřních háčků při operační terapii neuromuskulárních deformit páteře a pánve způsobem dle Luqueho-Galvestonea.

Obraz neuromuskulárních deformit páteře je velmi variabilní, ale existuje celá řada shodných znaků, které jsou určující pro obdobný terapeutický postup. Především je třeba počítat s výraznou

---

<sup>1</sup> Ing. Zdeněk Florian, CSc., Ing. Tomáš Návrat, Ph.D., Ing. Vladimír Fuis, Ph.D.: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, FSI VUT Brno, Technická 2896/2, 616 69 Brno, tel.: +420 541 142 863, e-mail: florian@fme.vutbr.cz, navrat@fme.vutbr.cz, fuis@fme.vutbr.cz

<sup>2</sup> MUDr. Martin Repko: Ortopedická klinika, Fakultní nemocnice Brno – Bohunice, Jihlavská 20, 625 00 Brno, e-mail: martin.repko@tiscali.cz

progresí deformity, která začíná s počátkem základního onemocnění a pravidelně pokračuje i po dokončení kostního růstu, a proto tyto deformity zpravidla dosahují většího stupně než jiné páteřní deformity. Neléčené deformity významně ovlivňují základní životní funkce pacienta. V užším slova smyslu chápeme neuromuskulární deformitu páteře jako důsledek známého neuromuskulárního postižení. V tomto případě dochází buď ke zvýšené aktivitě svalstva a následné spasticitě, která produkuje poměrně rigidní křivky. V opačném případě dochází k ochablosti svalstva a vzniku paralytické křivky. Oba typy těchto křivek výrazně korelují s celkovým neuromuskulárním onemocněním a jejich tíže a případná progresse je přímo úměrná stupni a charakteru tohoto postižení. V průběhu dětství tyto deformity páteře odrážejí i aktuální stupeň kostního vývoje a musíme počítat s jejich výraznou progresí v obdobích rychlejšího kostěného vývoje. Naopak v dospělosti oba typy deformit, rigidní i paralytické, postupně strukturalizují. Výsledkem toho jsou pokročilé deformační změny. Tyto deformity jsou následně zdrojem poměrně značných bolestivých potíží. Nezanedbatelný je i vliv deformit na vnitřní orgány, především kardiopulmonální a gastrointestinální aparát, jejichž funkce se vlivem zmenšení vnitřního dutinového prostoru a přímým útlakem těchto orgánů výrazně zhoršuje. Tak může mít deformita páteře přímý vliv nejen na kvalitu života ale i na jeho celkovou délku.

Mezi přidruženými dysfunkcemi jsou nejzávažnějšími především kardiopulmonální dysfunkce. Přidružená paralýza mezižeberního svalstva či kardiomyopatie jsou takto často značně akcentovány deformační hrudníku se sníženou vitální kapacitou plic. Vždy je též nutno počítat s tendencí kůže ke tvorbě dekubitů. Vzhledem k terapeutickému režimu je nezanedbatelný i častý mentální deficit těchto pacientů. Tyto základní dysfunkce řadí deformity tohoto typu mezi nejobtížněji řešitelné z oblasti spondylochirurgie .

Komplexní léčba neuromuskulárních deformit páteře představuje specializovanou a náročnou problematiku, ve které spolupracuje spondylochirurg s dalšími odbornostmi. Deformity páteře spojené s obliquitou pánve produkují nestabilitu sedu a další přidružené komplikace. Konzervativní léčba pomocí protetických pomůcek nebývá většinou úspěšná.

Operační řešení technikou dle Galvestonea a Luqueho, koriguje skoliotické křivky se zajištěním stabilní kompenzované páteře a vyvážené pánve bez další ztráty motorických či senzitivních funkcí. Takto je zajištěna stabilita stoje a chůze se zlepšením funkčního stavu kardiopulmonálního aparátu, jakož i zlepšen celkový životní komfort hendikepovaného pacienta.

S přihlédnutím k výše uvedeným faktům je při operační terapii neuromuskulárních deformit páteře potřeba dosáhnout těchto tří základních cílů:

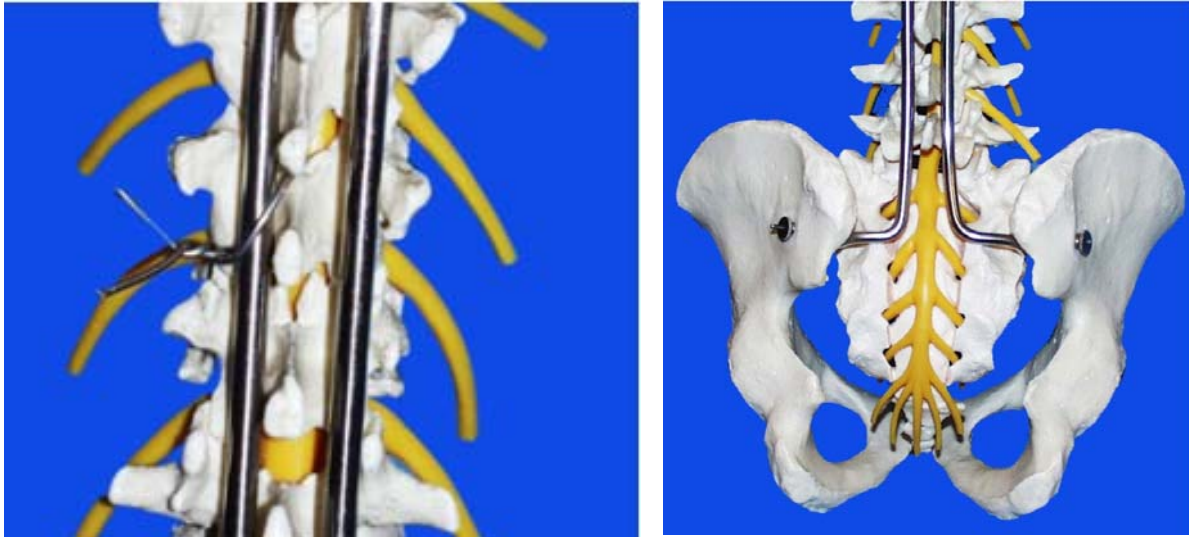
- a) zajištění kompenzované stabilní páteře
- b) zlepšení biomechanických poměrů na pánvi
- c) zabránění další ztráty motorických či senzitivních funkcí

Uvedené cíle nejsou dosažitelné pomocí konzervativní terapie ortézami ani operačními postupy s využitím typově starších distrakčních instrumentárií například Harringtonova typu.

Pro operační řešení neuromuskulárních typů křivek se současnou obliquitou pánve se nejvíce osvědčila kombinace technik podle Luqueho a Galvestonea. Luqueho technika segmentální instrumentace využívá sublaminárních kliček k translaci obratlů a dosažení bezpečnější a větší korekce skoliotické křivky (obr.1). Tato technika je doplněna pánevní stabilizací (tyče zavedené

do pánve) dle Galvestonea (obr.2), která zaručuje stabilizaci páteře a pánve s korekcí její obliquity. Současně je možno i korigovat častou bederní hyperlordózu. Celá instrumentace se sublaminárními kličkami a stabilizačními tyčemi je doplněna solidní kostěnou fúzí. Tato stabilizace páteře umožňuje časnou pooperační vertikalizaci a dovoluje upustit od pooperační vnější fixace, která by mohla u těchto neurologicky postižených pacientů vést k tvorbě kožních otlaků. Výrazná progresse neuromuskulární deformity páteře i po dokončení kostního růstu je pravidelným jevem a je potřeba brát jí v úvahu při rozvaze o způsobu léčby této deformity. Obecně neuromuskulární skoliózy progredují více u nechodících pacientů se spastickou kvadruparézou a mohou výrazně progredovat i v dospělosti. Léčebné korzety jsou většinou velmi špatně tolerovány a jejich efekt na ovlivnění progresse křivky je velmi malý.

Tuhost vnitřního instrumentaria je velmi významným faktorem možnosti omezení pooperační vnější fixace, která může znesnadňovat ošetrovatelskou péči vzhledem k tendenci kůže k dekubitům. K ošetření neuromuskulárních skoliotických křivek s přidruženou obliquitou pánve užíváme Luqueho metodu sublaminárních kliček, jehož systém se jeví v tomto případě nejefektivnějším.



Obr. 1 Segmentální sublaminární instrumentace Obr. 2 Pánevní stabilizace - Galveston s translací – Luque

## Cíle řešení

Cílem předkládaného experimentálního řešení bylo srovnání základní mechanické vlastnosti sublaminárních kliček a modifikovaného přístupu spočívajícího v nahrazení kliček pedikulárními háčky.

Sublaminární klička – označení implantátu: drát vazací, průměr drátu 1 mm, délka 600 mm

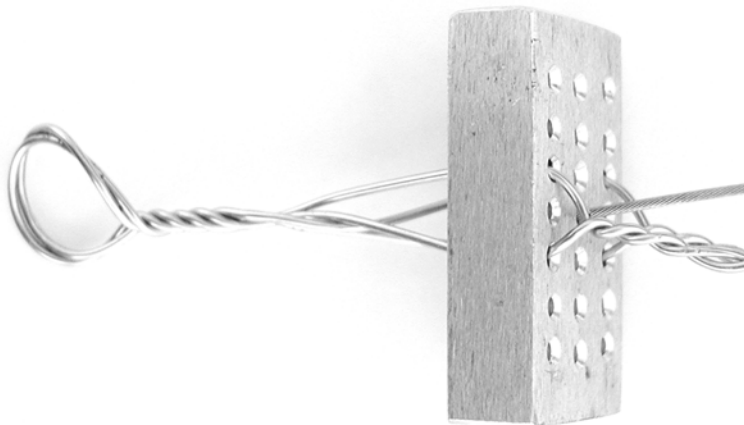
Pedikulární háček - materiál titan (obr.3 a obr.4)



Obr. 3 Pedikulární háček



Obr. 4 Jednotlivé komponenty implantátu



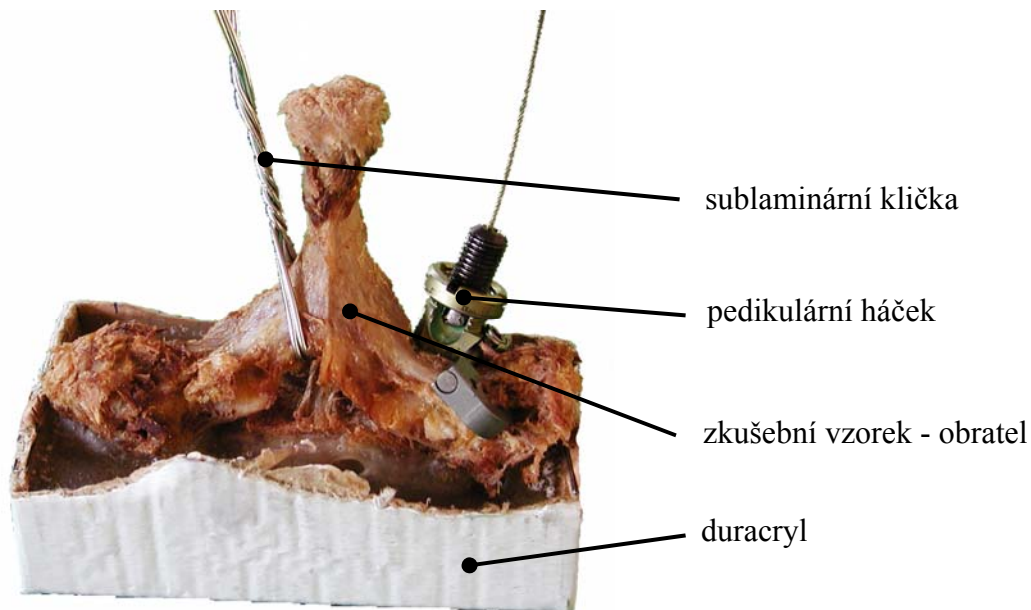
Obr. 5 Sublaminární klička

## Příprava zkušebních vzorků

Při přípravě experimentu byly zvažovány všechny možnosti z hlediska vytvoření vzorků. Na základě zkušeností s biomechanickými experimenty na ÚMTMB byla tendence provádět experiment na vzorcích z vhodně vybraných domácích zvířat. Vzhledem ke specifikám řešeného problému, významně závislému na anatomických detailech vzorků, bylo od tohoto záměru upuštěno a základem vzorků byly obratle odebrané z kadaveru. Odběr byl proveden v Anatomickém ústavu Lékařské fakulty Masarykovy univerzity v Brně. Obratle byly poté zalaty do duracrylu. Takto vytvořená kostka byla následně upevněna do přípravku, který umožnil upnutí do standardních čelistí.

Protože, že se jedná o první experiment v této oblasti na našem pracovišti nebylo cílem modelovat mechanické poměry na páteři po operačním řešení neuromuskulárních typů křivek kombinací Luqueho a Galvestoneova postupu, ale pouze jeden z možných jevů spočívající ve vytržení kličky nebo háčku. Uvedené jevy je možné sledovat při jednoduchém tahovém namáhání (obr.8). K zajištění jednoduchého tahu s minimální ohybovou složkou bylo použito závěsu s

lankem s maximální tuhostí. V případě háčku, který je opatřen vnitřním otvorem se závitem, bylo lanko zakončeno šroubem. Při testování kličky bylo nutné lanko ukončit destičkou s otvory pro zachycení smyčky (obr.5).



Obr. 6 Zkušební vzorek s aplikovanou sublaminární kličkou a pedikulárním háčkem

## Zkušební zařízení

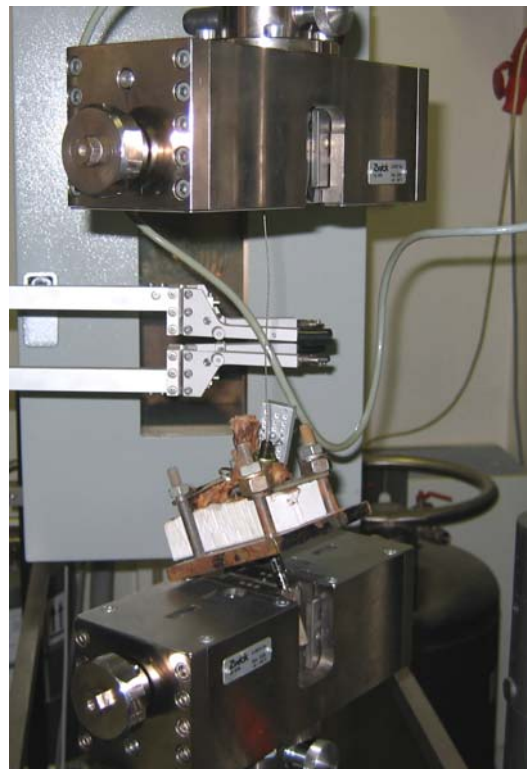
Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky FSI v Brně, kde byla experimentální část prováděná, je vybaven zkušebním strojem ZWICK Z 020-TND (obr.7). Toto zařízení je mechanický, počítačem řízený zkušební stroj pro zkoušky jak v tlakové, tak v tahové oblasti. Maximální hodnota zatížení je 20 kN. Stroj je vybaven snímačem prodloužení Multi-sens s přesností 0,1 mikrometrů. Počítačové řízení umožňuje nastavení různých zátěžných cyklů. Ve výbavě tohoto stroje je i torzní hlava s maximální hodnotou kroutícího momentu 20 Nm, a řadou upínacích čelistí včetně upínacích hlav pro torzní zkoušky. Dále je stroj doplněn měřicími hlavami s rozsahem do 2500 N a do 100 N. V neposlední řadě je součástí tohoto stroje teplotní komora s rozsahem teplot  $-60$  až  $+250^{\circ}\text{C}$ .

Uvedené parametry umožňují provedení řady biomechanických zkoušek, včetně zkoušek na páteřních segmentech.





Obr. 7 Zkušební stroj ZWICK Z 020-TND



Obr. 8 Zatěžování zkušebního vzorku



Obr.9 Upnutí vzorku do zkušebního stroje

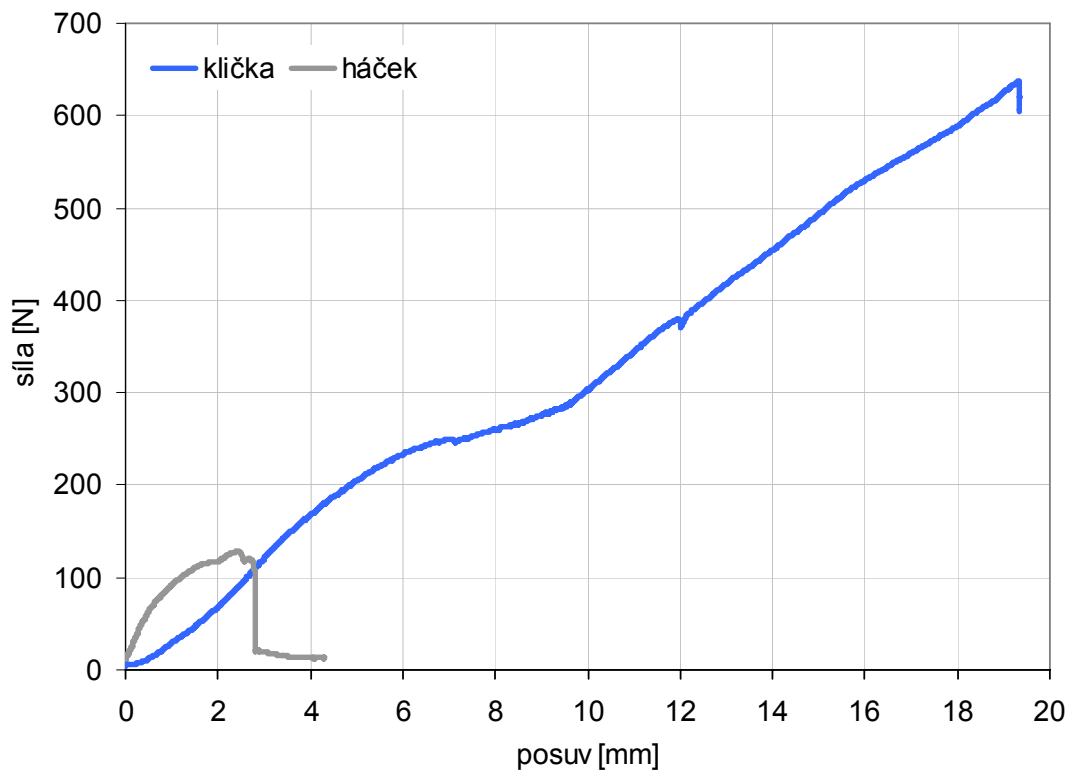
## Průběh zkoušek

Základní nastavení zkušebního stroje: rychlost příčnicku 2 mm/min  
předzatížení: 5 N (2 mm/min)

Zatěžování bylo monotonní. S uvedeným nastavením byly provedeny zkoušky na všech vzorcích.

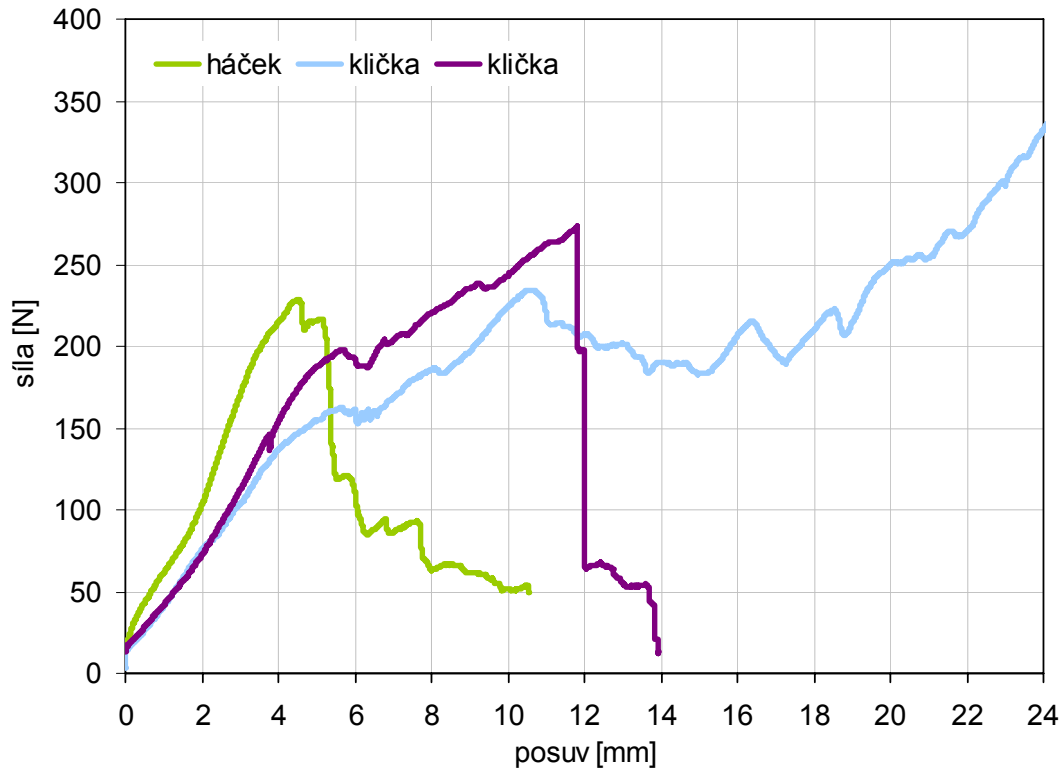
## Výsledky zkoušek

Na začátku experimentu byly provedeny dvě úvodní zkoušky, jedna pro kličku a druhá pro háček (obr.10) z hlediska základních vlastností a chování vzorků.



Obr. 10 Měření číslo 1

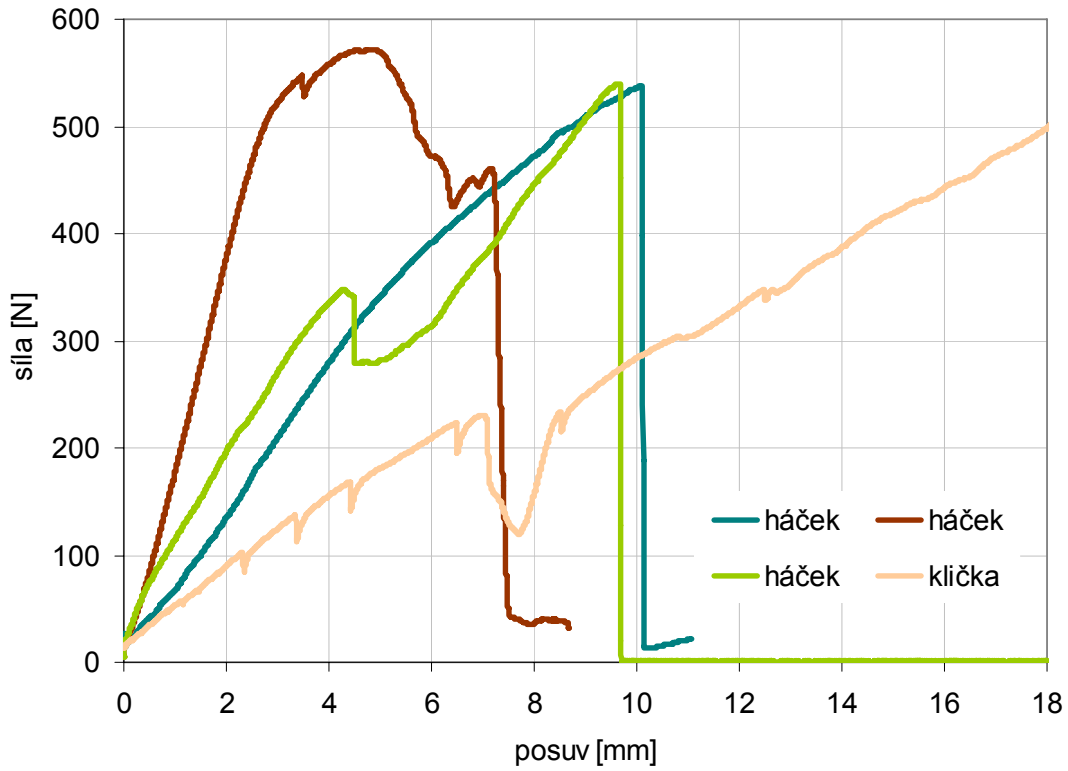
Dále byly provedeny experimenty pro tři skupiny vzorků. V první skupině byly provedeny dvě zkoušky vzorků s aplikovanou kličkou a jedna zkouška s aplikovaným háčkem. Závislost síly a deformace u těchto vzorků je zřejmá z následujícího obrázku.



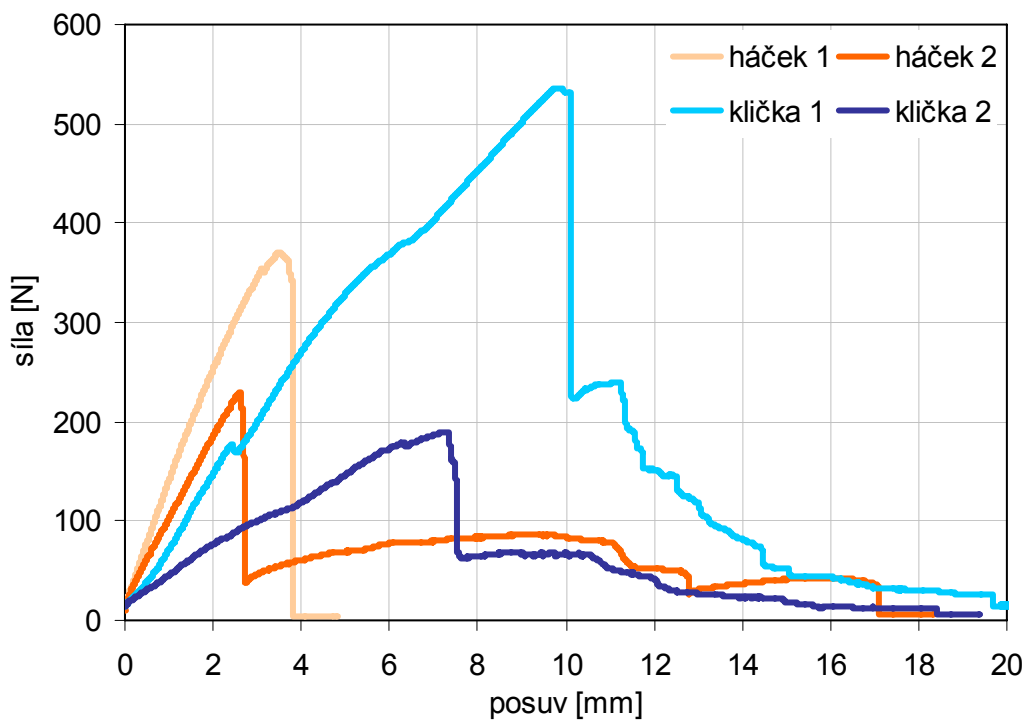
Obr. 11 Měření číslo 2

Zkoušky u druhé a třetí skupiny byly prováděny až následně po první skupině včetně přípravy vzorků. Proto mohlo být využito některých zkušeností z předchozích zkoušek. V druhé skupině bylo provedeno tři zkoušky vzorků s aplikovanou kličkou a pět zkoušek s aplikovaným háčkem. Závislost síly a deformace u těchto vzorků je zřejmá z následujících obrázků.





Obr. 12 Měření číslo 3



Obr. 13 Měření číslo 4

## Diskuze

Problémy s přípravou vzorků byly naznačeny v předchozích částech. Charakter řešeného problému vyžaduje vzorky z kadaveru. Zpřísněná legislativa umožňuje praktický odběr pouze z anatomických ústavů, kde jsou vzorky již částečně preparovány a zpravidla s velmi pokročilou degenerací páteřních segmentů. Z hlediska bio-mechanických experimentů se to projeví ve zcela odlišných mechanických vlastnostech vzorků, které následně neumožňují kvantitativní analýzu, ale pouze kvalitativní posouzení. Z tohoto důvodu je provedený experiment u jednoho vzorku s laminární kličkou a druhého s pedikulárním háčkem doplněno synchronizovaným video záznamem vzorku a průběhu protažení vzorku působící silou.

Vzhledem k omezenému počtu možného odběru kadaverozních vzorků je vhodné na počátku experimentu provést výběr dvojic vzorků, který však předpokládá určité zkušenosti s experimentem daného typu.

Zařízení k upnutí zalitého obratle bylo použito z experimentů k ověření páteřních fixátorů. Významně rozdílná poloha umístění laminární kličky a pedikulárního háčku vyvolává potřebu pro návrh nového zařízení, které by umožňovalo lépe zajistit jednoduché tahové namáhání.



Obr. 14 Zařezávání kličky do laminy

## Závěr

Charakteristické průběhy pro provedený experiment jsou na předchozích obrázcích (obr.10 až obr.13). Z průběhů je patrné, že vzorky s pedikulárním háčkem jsou podstatně tužší než vzorky s aplikovanou kličkou. Nižší tuhost vzorku s aplikovanou kličkou je zřejmě ovlivněna zařezáváním smyčky do laminy (obr.14) od počátku zatěžování, které končí úplnou destrukcí laminy. I když u řady vzorků s laminární kličkou dosahovala maximální síla vyšší hodnoty než u vzorku s pedikulárním háčkem lze velmi obtížně tuto skutečnost zobecnit, již z dříve uvedených materiálových charakteristik. Ze zařezávání smyčky do laminy od počátku zatěžování lze usoudit na nutnost doplnění experimentu cyklickým zatížením, které v klinické praxi nastává a zřejmě by

podstatně snížilo hodnotu maximální síly u vzorku s aplikovanou laminární smyčkou. Uvedené skutečnosti z hlediska klinické praxe zvyhodňují použití pedikulárních háčků. Určitým problémem pro jejich použití jsou vyšší náklady. Proto jako velmi rozumná se jeví kombinace pedikulárních háčků a laminárních kliček.

## Literatura

- [1] ALLEN, B.L., FERGUSON, R.L.: The Galvestone technique for L Rod Instrumentation of the Scoliotic Spine. *Spine*, 7, No.3, 1982.
- [2] DIAS, R.C., MILLER, F., DABNEY, K., LIPTON, G., TEMPLE, T.: Surgical Correction of Spinal Deformity Using a Unit Rod in Children with Cerebral Palsy. *J.of pediatric Orthopaedics*, 16: 734-740, 1996.
- [3] ERICKSON, M.A., OLIVER, T., BALDINI, T., BACH, J.: Biomechanical assessment of conventional unit rod fixation versus a unit rod pedicle screw construct: a human cadaver study. *Spine*. Jun 15;29(12):1314-9, 2004.
- [4] GAU, Y.L., LONSTEIN, J.E., WINTER, R.B., KOOP, S., DENIS, F.: Luque-Galveston procedure for correction and stabilization of neuromuscular scoliosis and pelvic obliquity: a review of 68 patients. *J Spinal Disord*. Dec;4(4):399-410, 1991.
- [5] GIRARDI, F.P., BOACHIE-ADJEI, O., RAWLINS, B.A.: Safety of sublaminar wires with Isola instrumentation for the treatment of idiopathic scoliosis. *Spine*. Mar 15;25(6):691-5, 2000.
- [6] HUANG, M.J., LENKE, L.G.: Scoliosis and Severe Pelvic Obliquity in a Patient With Cerebral Palsy. *Spine*, 26, No.19, 2168-2170, 2001.
- [7] LIPTON, G.E., MILLER, F., DABNEY, K.W., et al: Factors predicting postoperative complications following spinal fusion in children with cerebral palsy. *J Spinal Disord*, 12: 197-205, 1999.
- [8] LUQUE, E.R.: The anatomic basis of segmental spinal instrumentation. *Spine*, 7, 256-259, 1982.
- [9] REPKO, M., TICHÝ, V.: Operační řešení neuromuskulárních deformit páteře a pánve technikou dle Luqueho-Galvestonea. *Acta spondylogologica* 1: 57-61, 2004.
- [10] REPKO, M., VLACH, O.: Paralytic Scoliosis - the management in an adolescent age. *Scripta medica*, Brno, 2000.
- [11] WESTERLUND, L.E., GILL, S.S., JAROSZ, T.S., ABEL, M.F., BLANCO, J.S.: Posterior-only unit rod instrumentation and fusion for neuromuscular scoliosis. *Spine*. Sep 15;26(18):1984-9, 2001.
- [12] YAZICI, M., ASHER, M.A., HARDACKER, J.W.: The safety of efficiency of Isola-Galvestone instrumentation and arthrodesis in the treatment of neuromuscular spinal deformities. *J. Bone Joint Surg.*, Apr.2000, 82:524, 2000.

## **Poděkování**

Publikovaných výsledků bylo dosaženo za podpory ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, výzkumný záměr MSM 0021630518 "Simulační modelování mechatronických soustav" a GA ČR No. 101/05/0136.