

Experimentální Analýza Napětí 2007

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF THE FIXATION SYSTEM LIMITE STATE USED FOR ACL RECONSTRUCTION

EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ MEZNÍHO STAVU FIXAČNÍHO SYSTÉMU POUŽÍVANÉHO PŘI REKONSTRUKCI ACL

Zdeněk Horák,¹ Daniela Šumová²

Abstract: This paper presented experimental measurements of the fixation system limite state used for anterior cruciate ligament – ACL reconstruction. During the experimental measurements were 20 specimens loaded by the pull out force. From the results was estimated average maximal pull out force $3\,231 \pm 72\text{N}$. By the maximal pull out force was damaged loop on the fixation system, but the fixation of the system in the bone was undisturbed. The reliability of the fixation in the bone was verified for this new design of the fixation system.

Keywords: anterior cruciate ligament, reconstruction, fixation system, knee

1. Úvod

Rekonstrukce předního zkříženého vazů (anterior cruciate ligament – ACL) patří k nejčastěji používaným metodám v operativě kolenního kloubu. Její počátky se datují až do poloviny 19. století [1]. Umožňuje znovu zlepšit kvalitu života pacienta, která se při úrazovém poškození ACL snižuje. V současnosti se používá několik odlišných operačních postupů, které umožňují z pohledu operátora různou přesnost výkonu a liší se jak složitostí instrumentace, tak i klinickými výsledky. Přínosem bylo zejména zavedení používání transplantátu, např. český vaz s kostními bloky z holenní kosti a česky, tato technika je označována jako "zlatý standard", nebo i jiných čistě vazivových struktur např. šlacha musculus semitendinosus a musculus gracilis - tzv. hamstringy. Odběrem šlach svalu a jejich přenosem do kolene na místo povodního poškozeného ACL se obnovuje stabilita kloubu, a tím se působí proti jeho nadměrnému a předčasnému opotřebování. Prostředkem spojení náhradní šlachy s kostí je fixační systém vyrobený z korozivzdorného, lidskému organismu neškodlivého materiálu. Častým důvodem selhání je nedostatečná pevnost fixace implantátu v kosti nebo přetržení náhradního vazů. Samotný fixační systém může poškodit strukturu náhradního vazů, výjimkou nebývá ani vysmeknutí vazů např. při použití interferenčních šroubů, skob apod.. V případě takového selhání je třeba implantát vyjmout z kosti a provést druhotnou revizní rekonstrukci ke znovuobnovení stability kloubu.

Hlavním cílem této práce bylo experimentální stanovení mezního stavu nového fixačního systému, tj. stanovení mezní síly při které dojde k vytržení systému z kosti. Ve spolupráci s fi. Beznoska s.r.o. byl proveden konstrukční návrh nového fixačního systému, který by bezpečně a spolehlivě fixoval náhradní vaz v kosti. Konstrukce systému musela zajistit tyto podmínky: pevné ukotvení i v kosti která má menší hustotu tkáně (osteoporóza), při zavádění

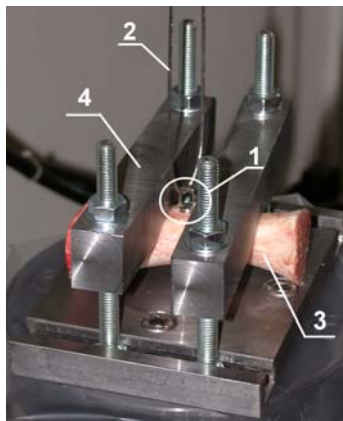
¹ Ing. Zdeněk Horák, Laboratoř biomechaniky člověka, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: +420 224352527, e-mail: horakz@biomed.fsid.cvut.cz

² Ing. Daniela Šumová, Laboratoř biomechaniky člověka, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: +420 224352527, e-mail: sumovad@seznam.cz

fixačního systému do kosti nesmí docházet k překroucení náhradního vazy (šroubování) a manipulace s fixačním systémem musí být co nejjednodušší.

2. Metoda

Tahové zkoušky fixačního systému se uskutečnily v Laboratoři mechanických zkoušek na Fakultě strojní ČVUT v Praze na testovacím systému MTS 858 Mini Bionix. Implantáty byly vytahovány z hovězích kostí, které mají podobnou strukturu a hustotu jako kosti lidské, z toho důvodu se používají u podobných experimentů [4]. Kostí byly uloženy v mrazicím boxu při teplotě -5°C a před vlastním měřením byly nechány volně k rozmrazení, odstranily se z nich veškeré tkáně. Kloubní hlavice s kondyly byly odříznuty pro lepší manipulaci a možnost upnutí v měřicím přípravku. Do kostí byly vyvrtány díry odstupňovanými vrtáky. Do takto předem vytvořeného tunelu byl vždy zaveden fixační systém a ukotven stejným způsobem jako při vlastní implantaci.



Obr. 1. Uspořádání experimentálního měření (1-fixační systém, 2-ocelové lanko, 3-kost, měřicí přípravek).

Hovězí kosti byly při vlastním experimentu upnuty v měřicím přípravku tak, aby fixační systém byl zatížen pouze osovou tahovou silou (viz. obr.1.) a kost byla pevně fixována. Tahová síla byla na fixační systém vyvozena pomocí ocelového lanka, které bylo připevněno k zatěžovací hlavě testovacího systému MTS. Rychlost zatěžování fixačního systému byla 10 mm/min a počet měřených vzorků byl 20. Sledovanou hodnotou při experimentu byla maximální velikost zatěžovací síly, při které došlo k selhání implantátu.

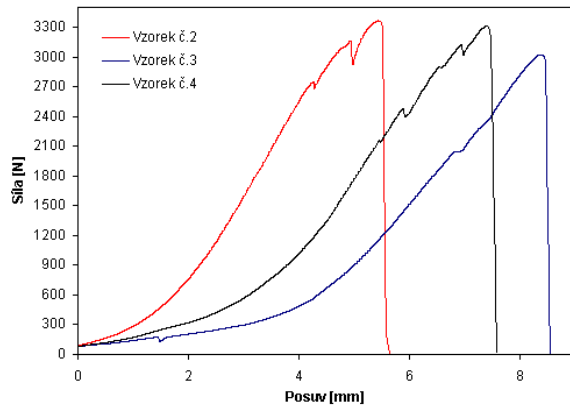
3. Výsledky

Výsledkem experimentálních měření je závislost tahové síly na posuvu. Na obr. 2. je znázorněn průběh několika tahových zkoušek a maximálního zatížení, při kterém dojde k selhání implantátu. Tahové zkoušky vzorků probíhaly bez jakýchkoliv komplikací až do selhání implantátu při kterém bylo zničeno závěsné očko. Průměrná velikost tahové síly

	Mezní zatížení v tahu [N]
Původní ACL [6]	2160
Šlacha hamstringu [5]	838 - 1216
Patelární vaz [2]	2977
Fixační systém	3231

Tab.1. Tabulka mezních hodnot zatížení.

potřebné k selhání fixačního systému byla $3\,231 \pm 72$ N. Navzdory očekáváním, že bude docházet k destrukcím v kosti a k vytržení implantátu, síla potřebná k porušení spojení fixačního systému s kostí byla vyšší než síla potřebná ke zničení očka. V tab. 1. jsou shrnuty hodnoty mezních tahových sil různých vazů a fixačního systému. Po relativně snadném vyjmutí všech vzorků z kosti, nebyly patrné žádné jiné deformace než zničená očka fixačního systému.



Obr. 2. Typický graf závislosti zatěžující síly na posuvu při tahové zkoušce.



Obr. 3. Utržené očko fixačního systému.

4. Závěr

Ke zjištění pevnosti spojení implantátu s kostí se prováděly tahové zkoušky, při kterých byl implantát vytahován z hovězích kostí. Naměřené hodnoty přinášejí jistou možnost užití tohoto implantátu v praxi. Velikost průměrné tahové síly, při které došlo k selhání implantátu je $3\,231 \pm 72$ N. Tato hodnota byla zjištěna při testování 20 vzorků, ovšem síla potřebná k vytržení implantátu z kosti je mnohem větší. Při zatížení totiž docházelo k destrukci oček implantátu (kterým má být provlečen náhradní vaz), nikoli k předpokládané destrukci kosti a uvolnění spojení s kostí. Experimentem se ověřila i možnost revizní rekonstrukce vazů, implantát je rozebíratelný a je možné ho z kosti opět vyjmout.

Jak je patrné z obr. 2. křivky závislosti tahové síly na posuvu nemají stejný počáteční sklon, to je způsobeno rozdílným předepnutím ocelového lanka při přípravě experimentu. Dále je z těchto křivek patrné několik skokových poklesů zatěžující síly v oblasti nad 2000 N. Tyto poklesy byly způsobeny destrukcí závěsného očka fixačního systému. Tyto skutečnosti ovšem nijak neovlivnily velikost měřené mezní síly potřebné k selhání fixačního systému. Navíc únosnost fixačního systému lze snadno zvýšit drobnou konstrukční úpravou závěsného očka fixačního systému (zvětšení tloušťky stěn).

Konstrukční řešení tohoto fixačního systému je chráněno užitným vzorem UV 17214.

Poděkování: Příspěvek byl podpořen výzkumným záměrem MŠMT: Transdisciplinární výzkum v oblasti biomedicínského inženýrství II. MSM6840770012.

Literatura

- [1] Colombet, P., Alliard, M., Bousquet, V., de Lavigne, C., Flurin, P.H.: *The history of ACL surgery*. Bordeaux-Mérignac Centre of Orthopaedic and Sports Surgery - 9 rue Jean Moulin - F-33700 Mérignac, France.

- [2] Cooper, D.E., Deng, X.H.; Burstein, A.L.; Werren, R.F. *The strength of the central third patellar tendon graft: a biomechanical study*. The American Journal of Sports Medicine. 1993, 21, 818 - 823.
- [3] Kustos, T., Bálint, L., Than, P., Bárdos, T.: *Comparative study of autograft or allograft in primary anterior cruciate ligament reconstruction*. International Orthopaedic, 2004, 28(5), 290-293.
- [4] Nagarkatti, D.G., McKeon, B.P., Donahue, B.S., Fulkerson, J.P.: *Mechanical evaluation of a soft tissue interference screw in free tendon anterior cruciate ligament graft fixation*. The American Journal of Sports Medicine, 2001, 29, 67 - 71.
- [5] Noyes, F.R., Butler, D.L., Grood, E.S., et al.: *Biomechanical analysis of human ligaments grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions*. The Journal of Bone & Joint Surgery, 1984, 66(3), 344-352.
- [6] Woo, S.L., et al.: *Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex: the effects of specimen age and orientation*. The American Journal of Sports Medicine. 1991, 19(3), 217 - 225.