

INFLUENCE OF CLAMPING FROZEN ENDS OF TENDONS ON IN VITRO TENSILE PROPERTIES

VLIV UPNUTÍ ZMRAŽENÝCH KONCŮ ŠLACH NA TAHOVÉ VLASTNOSTI ŠLACH PŘI IN VITRO TESTOVÁNÍ

Vlastimil Strnad¹, Radek Sedláček², Miloslav Vilímek³

Abstract: In the present study the in vitro tensile properties of swine flexor digitorum profundus tendons were obtained. It was used a testing system MTS Mini Bionix 858.2 of which components are hydraulic jaws. Moreover it was used jaws made of lathe chuck. The half specimens had frozen ends by liquid nitrogen. The data were obtained from displacement of jaws and all specimens were tested by strain rate 50mm/min. Average values of reached strains by clamping hydraulic jaws were 15,6% without and 14,1% with liquid nitrogen, average values of Young's modulus were 347,0MPa and 603,6MPa. There is considerable difference between obtained Young's moduli. That is probably why the stiff end of specimen was clamped and the jaws are able to hold it. The values of Young's moduli with use of liquid nitrogen are approaching to public results [4, 7].

Keywords: tendon, clamping of tendon, testing of tendon

1. Úvod

Tahové vlastnosti šlachy měřené in vitro byly široce studovány [1,4,6,7,8] et al. Publikované výsledky jsou závislé na uchování vzorků, rychlosti deformace, způsobu získávání dat, typu použitých čelistí a v neposlední řadě na způsobu uchopení šlachy do čelistí. Smith et al zkoumali změny tahových vlastností šlachy v závislosti na uchování [6]. V publikaci jsou popsány minimální odlišnosti v měřených mechanických vlastnostech, přičemž vzorky byly uchovány zmražené, v ethylen oxidu, sublimačně sušené, sublimačně sušené a ozářené, mražené a ozářené, rovněž byly použity čerstvé vzorky. Měřená data je možné získat z extenzometru nebo z měření posuvu čelistí. Data z posuvu čelistí mohou být ovlivněny prokluzem vzorků. Cheung et al testoval tlustou hovězí šlachou [1]. Pro experiment navrhli čelisti vyrobené z plastu s lichoběžníkovým kontaktním profilem. Bylo zde dosaženo deformace 30% při tahové síle vyšší než 2500N. Vysoká hodnota deformace je pravděpodobně ovlivněna prokluzem vzorku z čelistí. V porovnání se získáváním dat z posuvu čelistí vycházejí lépe data z extenzometru, jež nejsou ovlivněna prokluzem vzorku z čelistí. Pokud není možné použití extenzometru (příliš krátké vzorky, atd.) je možné využít cryo čelisti, podobně jako v publikaci [8]. Autor zde nerozpoznal žádný prokluz. Pro využití čelistí s navinutím šlachy na sebe samu pro zvýšení tření je nutné použít dlouhou šlachou, která

¹ Ing. Vlastimil Strnad, Laboratoř biomechaniky člověka, Fakulta strojní ČVUT, Technická 4, 166 07, Praha 6, tel.: +420 224352750, e-mail: vlastimil.strnad@fs.cvut.cz

² Ing. Radek Sedláček, Ph.D. Laboratoř biomechaniky člověka, Fakulta strojní ČVUT, Technická 4, 166 07, Praha 6, tel.: +420 224352653, e-mail: radek.sedlacek@fs.cvut.cz

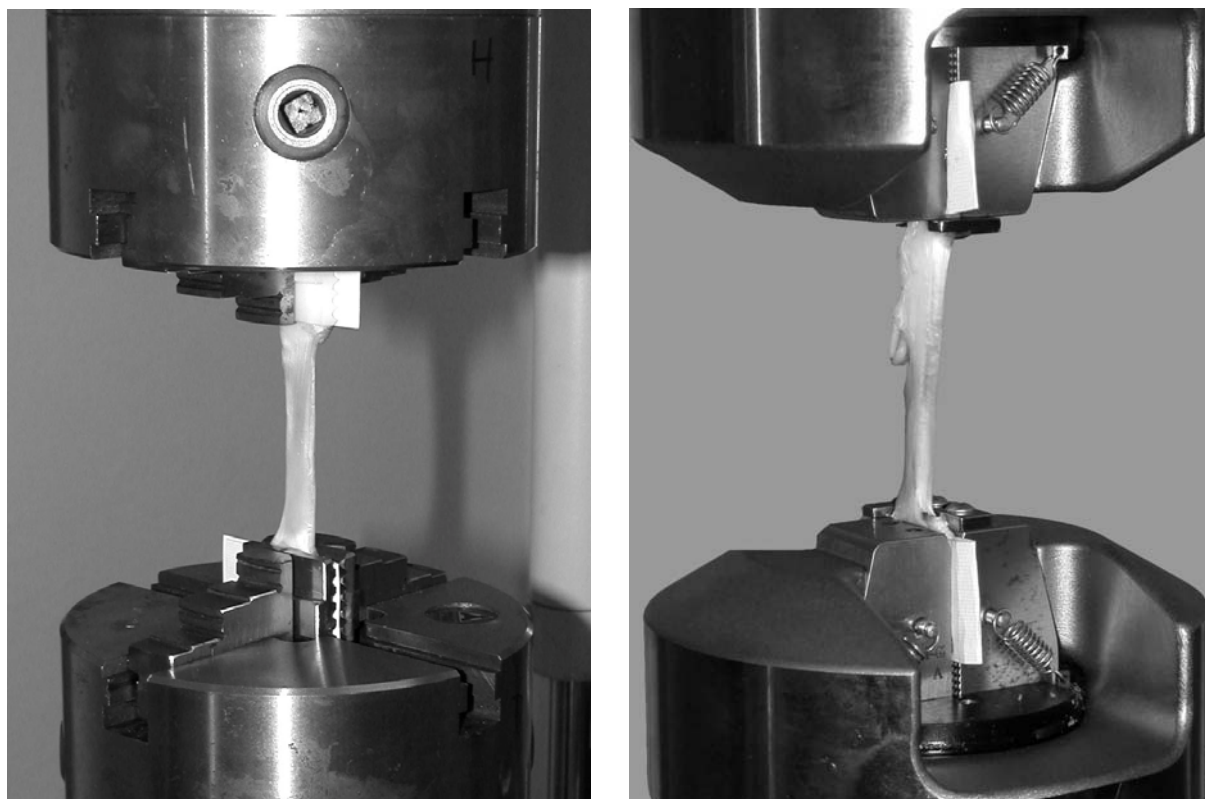
³ Ing. Miloslav Vilímek, Ph.D. Laboratoř biomechaniky člověka, Fakulta strojní ČVUT, Technická 4, 166 07, Praha 6, tel.: +420 224352750, e-mail: miloslav.vilimek@fs.cvut.cz

většinou není k dispozici (v této studii dosahují použité šlachy délky přibližně 10cm). Koeficient tření mezi šlachou a materiálem čelistí je obecně neznámý. Autoři publikací [3,5] měřili koeficient tření mezi šlachou a šlachovou pochvou nebo kladkou kloubu. Schweizer obdržel hodnotu 0,075. Tření lze zvýšit vložením savého nebo smirkového papíru [2] mezi vzorek a čelist.

V této studii byl testován vliv zmražení konců šlach na naměřené tahové vlastnosti, testovány byly vepřové šlachy, které byly uchovány v mrazicím boxu nebo ve fyziologickém roztoku. Použity byly dva druhy čelistí s různou přitlačnou silou a třecí plochou. Výsledkem by mělo být zjištění jakým způsobem upínat tyto biologické vzorky pro získání výsledků podobných publikovaným [4,7].

2. Metodika

Bylo testováno 8 vepřových šlach svalu flexor digitorum profundus. Čtyři vzorky byly týden staré a byly uchovány v mrazicím boxu na -18°C . Zbýlé, tři dny staré vzorky, byly uchovány ve fyziologickém roztoku. Pro měření byl použit testovací systém MTS Mini Bionix 858.2, jehož součástí byly hydraulické čelisti, které jsou samosvorné, což znamená, že se se zvětšující tahovou silou sami utahují. Jako další testovací čelisti byly využity dvě upravená soustružnická sklíčidla s ubroušenými čelistmi, do kterých byly vyfrézovány drážky, do nichž se vsunuly výměnné vložky se zaobleným profilem (výška 2mm a úhel profilu 60°). Polovina vzorků byla měřena v hydraulických čelistech (obr. 1 vpravo) a druhá polovina ve sklíčidlech (obr. 1 vlevo). Na dva vzorky pro každé z čelistí bylo použito tekutého dusíku, kterým byly zmrazeny upínané konce. Tím vznikl z poddajného materiálu materiál velice tvrdý. Nemražené šlachy byly ještě obaleny savým papírem pro zvýšení tření. Veškeré vzorky byly zatěžované jednotnou rychlostí deformace 50mm/min. Data byla získávána z posuvu čelistí.



Obr. 1 Uchycení šlachy v čelistech vyrobených ze soustružnického sklíčidla (vlevo), uchycení hydraulickými čelistmi (vpravo).

3. Výsledky

Výsledky tahové zkoušky šlach s upnutím v hydraulických čelistech jsou zobrazeny v tab. 1., výsledky s upnutím ve sklíčidlech pak v tab. 2. V tabulkách jsou rovněž zaznamenány rozměry vzorků, b je šířka, h výška a L_0 je volná délka mezi čelistmi. Hodnoty napětí σ a deformace ε byly naměřeny z tahového zatěžování a velikost Youngova modulu je dopočtena jako tangenta sklonu tahového diagramu v jeho lineární oblasti. Hodnoty odpovídají maximálním dosaženým hodnotám před proklouznutím vzorku.

	$b \times h$ [mm ²]	L_0 [mm]	E [MPa]	σ [MPa]	ε [%]
Nemraženo	7,1 x 3,7	68,0	404	36,6	15,0
	10,2 x 5,1	55,2	290	26,6	16,2
Průměrné hodnoty	8,65 x 4,40	61,6	347,05	31,6	15,6
Mraženo	6,4 x 3,3	75,1	754,3	12,69	48,7
	7,0 x 3,9	59,5	452,9	15,61	40,8
Průměrné hodnoty	6,7 x 3,6	67,3	603,6	44,75	14,15

Tab.1. Výsledky tahového zatěžování rychlostí deformace 50mm/min, šlachy svalu flexor digitorum profundus upnuté v hydraulických čelistech, data jsou vyhodnocené z posuvu čelistí.

	$b \times h$ [mm ²]	L_0 [mm]	E [MPa]	σ [MPa]	ε [%]
Nemraženo	10,2 x 5,4	37,2	181,9	27,5	26,5
	12,3 x 6,0	46,8	129,9	23,7	24,1
Průměrné hodnoty	11,25 x 5,70	42,0	155,9	25,6	25,3
Mraženo	9,8 x 3,7	66,6	251,6	12,1	12,55
	7,4 x 3,5	58,6	300,2	29,9	22,19
Průměrné hodnoty	8,6 x 3,6	62,6	275,9	21,0	17,37

Tab. 2 Výsledky tahového zatěžování rychlostí deformace 50mm/min, šlachy svalu flexor digitorum profundus upnuté ve sklíčidlech, data jsou vyhodnocené z posuvu čelistí

4. Diskuse

V této studii jsou prezentovány tahové vlastnosti vepřové šlachy svalu flexor digitorum profundus. Data byla získávána z posuvu čelistí. Polovina vzorků byla upnuta do hydraulických čelistí a druhá polovina do čelistí vyrobených ze soustružnického sklíčidla. První polovina byla uchována ve fyziologickém roztoku, zatímco druhá byla v mrazicím boxu, což by nemělo dávat velké rozdíly v dosažených hodnotách [6]. Rozdíly se dají

očekávat v způsobu upnutí, tzn. typ čelisti a zdali je upínán tvrdý (mražený) nebo poddajný (nemražený) konec šlachy. Z tabulek 1 i 2 je vidět, že, Youngův modul pružnosti dosahuje téměř dvojnásobné hodnoty u zmražených konců. Hodnoty dosažené deformace před vyklouznutím vzorků z čelistí jsou také příznivější u konců mražených. Celkově je lepších výsledků dosaženo s čelistmi hydraulickými, které se s větší tahovou silou, díky své samosvornosti, sami dotahují. Přesto dosažené výsledky deformace neodpovídají publikovaným výsledkům. Není totiž možné, aby šlacha měla deformaci 15%. Při kontrakci svalu a délce šlachy např. 10cm by se šlacha prodloužila o 1,5cm než by se vykonal patřičný pohyb, vznikla by tedy časová prodleva. Pro získání publikovaných výsledků [4,7] by bylo nutné použít extenzometr a data získávat z něj. Tím by se eliminovalo ovlivnění naměřených hodnot prokluzem, který nastává později u hydraulických čelistí s upnutými zmraženými konci šlachy. Obdržení těchto výsledků však nebylo hlavním bodem této studie.

Prokluz je obecně velkým problémem při testování těchto biologických vzorků. Při zatěžování šlachy vytéká ze šlachy velké množství vody, která působí jako lubrikant a snižuje tedy tření mezi vzorkem a čelistí. Pokud je upínaná část vzorku zmrazena, vytéká z ní mnohem méně vody než u nemražené části. Toto bylo v této studii snahou omezit přidáním savého papíru u nemražených konců. Savý papír zvyšuje tření a také dokáže nasáknout vodu, tzn. šlacha proklouzne později než bez použití savého papíru. Proklouznutí nastane až při jeho rozmočení.

5. Závěr

Z výsledků této studie plyne, že při testování takových biologických vzorků jakými jsou šlachy, je nutné dobře zvolit způsob upnutí. A to nejen ve volbě čelistí, ale i v úpravě upínaného konce šlachy. Z dosažených výsledků se nejlépe jeví volba hydraulických čelistí s upínáním zmražených konců šlach. Při kombinaci s extenzometrem by mohla být obdržena data odpovídající datům publikovaným [4,7].

Poděkování:

Tento příspěvek byl podpořen granty GACR 106/06/P304 a MSM 6840770012.

Literatura

- [1] Cheung, J., Zhang, M.: *A serrated jaw clamp for tendon gripping*. Medical engineering & Physics, 2005.
- [2] Handl, Milan, et al. *Reconstruction of the anterior cruciate ligament: dynamic strain*. Springer-Verlag 2006.
- [3] Moro-oka, Takaaki, et al. *A new friction tester of the flexor tendon*. Journal of Biomechanics. 1999, no. 32, pp. 1131-1134.
- [4] Nigg, B., Herzog, W.: *Biomechanics of the musculo-skeletal system*, Wiley, New York, 1999.
- [5] Schweizer, A., et al. *Friction between human finger flexor tendons and pulleys at high loads*. Journal of Biomechanics. 2003, no. 36, pp. 63-71.
- [6] Smith, C. W., Young, I. S., Kearney, J. N. *Mechanical Properties of Tendons: Changes with sterilization and preservation*. Journal of Biomechanics. 1996, vol. 118, pp. 56-61.
- [7] Wang, J. H. *Mechanobiology of tendon*. Journal of Biomechanics 39, 2006, pp. 1563-1582.
- [8] Wieloch, P., et al. *A cryo-jaw designed for in vitro tensile testing of the healing Achilles tendons in rats*. Journal of Biomechanics. 2004, vol. 37, is.11 pp. 1719-1722.