

EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA ZBYTKOVÝCH PNUTÍ VE STEHENNÍ KOSTI

RESIDUAL STRESS ANALYSIS IN HUMAN BONES

Jan Řezníček, Eva Minxová¹, Pavel Radovský²

Abstract:

This article contains our experience with experimental analysis of the residual stresses in human bones. First experiments were carried out on "wet" fresh pig bones. The second part of experiments was realized on "dry" human bones. For the residual stress analysis we used the hole drilling method. For surface preparing we used Vishay's liquids and for bonding Vishay's adhesive M-Bond 2000. We use our own data presentation method, based on the strain intensity under the bone surface for results processing. The character of the strain intensity change in first five drilling steps is used as the criterium of bone health.

Klíčová slova: instalace tenzometrů, zbytková pnutí, odvrtávací metoda, artróza kloubu.

Úvod

Měření popisovaná v tomto příspěvku jsou součástí rozsáhlého výzkumu, na kterém se kromě Strojní fakulty ČVUT v Praze a Centra biomedicínského inženýrství při ČVUT v Praze podílí ještě řada lékařských pracovišť. Cílem celého výzkumu získat spolehlivé neinvazní kritérium k určení rizika vzniku artrózy kyčelního kloubu. Naše část výzkumu představuje invazní způsob stanovení artrózy, který by potvrdil dříve získané poznatky neinvazními metodami jako jsou např. magnetická rezonance nebo rentgenografie. Při volbě metody jsme vycházeli z poznatků, že nejvíce poškozena artrózou bývá povrchová vrstva kloubní hlavice, a proto jsme se soustředili na vlastnosti této poměrně tenké vrstvy.

Příprava měření

Nejprve bylo třeba ověřit podmínky, za kterých se měření uskuteční. I když v první fázi měly být k experimentům použity "suché" stehenní kosti, bylo třeba metodiku ověřit i na "mokrých" kostech. Pro tyto účely byly použity čerstvé vepřové kosti. Po instalaci tenzometrů na upravený povrch kosti byla sledována opakovatelnost měření při opětovném zatěžování kosti ohybem, resp. vznik hystereze a následně neopakovatelnost měření při dalším zatěžování. Výsledným kritériem byl čas od počátku instalace tenzometru (lepení) do okamžiku vzniku podstatné chyby při opakovaném měření. Tento čas byl získán z několika měření a následně jeho průměrná hodnota byla použita jako mezní časový úsek, ve kterém je třeba provést celé měření.

¹ České vysoké učení technické v Praze, Strojní fakulta, Ústav mechaniky, odbor pružnosti a pevnosti, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: 02/24352517, fax: 02/33322482, E-mail: REZNICEK@FSID.CVUT.CZ

² České vysoké učení technické v Praze, Centrum biomedicínského inženýrství, Žitná 4, 166 35 Praha 6, tel.: 02/24310306 l. 107, fax: 02/24324808, E-mail: RADOVSKY@CBMI.CVUT.CZ

Instalace tenzometrů

Vzhledem k nutnosti minimalizovat čas mezi nalepením tenzometru a koncem měření byly všechny možné úkony instalace přesunuty před lepení. Nejprve jsme tedy nalepili svorkovnice s volnými vývody k tenzometrům, pak připojili kabely k aparatuře a aparaturu jsme nastavili s ohledem na použité čtvrtmostové zapojení a k-faktory tenzometrů. Pak následovalo vlastní lepení. Povrch "mokrý" kosti jsme lokálně vysušili (u "suché" kosti tato operace odpadá), hrubě odmastili za použití acetonu a následně upravili běžným způsobem pomocí kyselého a neutralizačního roztoku firmy Vishay MM. K lepení jsme použili akrylátové lepidlo M-Bond 2000, které výrobce Vishay MM doporučuje pro své tenzometry třídy EA. Po vlastním lepení jsme ihned přiletovali volné vývody k tenzometru a zahájili měření.

Vlastní měření

Vlastní měření lze rozdělit na tři fáze. Ve dvou přípravných fázích jsme používali jednotlivé tenzometry třídy EA, a to vždy dva vedle sebe pro kontrolu naměřených hodnot. Okamžitě po instalaci a zapojení jsme vynulovali aparaturu a začali kost zatěžovat ohybem resp. tlakem. Na "mokrý" vepřové kosti jsme namáhání ohybem vyvozovali přidáváním závaží na závěs uchycený k volnému konci kosti. Na "suché" lidské kosti jsme tlakové zatěžování vyvozováno na zkušební stroji MTS. Pro rostoucí velikost ohybového momentu resp. tlakové síly jsme průběžně sledovali signál na obou tenzometrech.

Při ohybu jsme zatěžovali do okamžiku, kdy signál dosáhl cca 1000 μ i, pak následovala prodleva asi 3min a odlehčení. Další obdobný cyklus navazoval bezprostředně na předchozí. Cykly jsme opakovali tak dlouho, dokud se neprojeví markantní rozdíly v maximálním signálu nebo v odlehčeném stavu, kdy se tenzometry výrazně "nevrátily do nuly".

Při tlakovém zatěžování jsme využili možnosti stroje MTS a zvolili složitější schéma zatěžování s ohledem na možnou relaxaci zatížené kosti. Po dosažení určité hladiny zatížení následovala cca 5min prodleva a pokračovalo zatěžování na další stupeň. Po dosažení signálu na tenzometrech cca 1000 μ i jsme zatěžování ukončili, odlehčili jsme a celý cyklus opakovali.

Třetí fází bylo skutečné měření povrchové vrstvy "suché" stehenní kosti. Celou kost jsme nejprve rozřezali na části dlouhé 60mm. Použili odvrtávací růžice Vishay TEA-062RK-120, které jsme instalovali vždy na ploché stěny kosti. Měření jsme prováděli pomocí upravené aparatury Measurements Group RS-200. Pro nezatíženou kost jsme postupně odvrtávali otvor až do hloubky cca 2mm. Měření jsme následně opakovali na tomtéž kusu kosti ještě v jiných místech a také na sousedních kusech kosti v odpovídajících místech.

Výsledky měření

Pro zpracování výsledků odvrtávání nebylo možno použít standardní metodiku podle Tech Note k vyhodnocení zbytkových pnutí, protože jsme neznali modul pružnosti měřených kostí (podle údajů v literatuře se však mohou značně lišit). K vyhodnocení jsme tedy zvolili intenzitu odvrtávání uvolněných deformací. Jako srovnávací kritérium se pak ukázalo nejvhodnější posouzení charakteru změny intenzity během prvních pěti kroků od povrchu, protože různé kosti mají různou tloušťku kompakty a tedy také různou hloubku, během které dojde k "uklidnění" uvolňovaných deformací. Změny v prvních pěti krocích (cca 0,5mm od povrchu) vykazovaly u zdravé kosti zhruba shodný charakter.

Literatura

Radovský, P., Řezníček, J., Minxová, E., Konvičková, S., Poušek, L.: Zjišťování rozložení residuálních pnutí v kortikální části kosti stehenní hlavice, In Sborník konference Skelet 2000, Praha, ČR 2000

Tento výzkum je prováděn v rámci: Výzkumného záměru J04/98: 210000012 - Transdisciplinární výzkum v oblasti biomedicínského inženýrství