

EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA KONTAKTNÍCH TLAKŮ NA ARTIKULAČNÍCH PLOCHÁCH NÁHRADY KOLENNÍHO KLOUBU

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CONTACT PRESSURE ON KNEE REPLACEMENT ARTICULATING SURFACES

Pavel RŮŽIČKA, Lukáš HORÁK, Radek SEDLÁČEK, Lukáš ZACH¹

Abstrakt

Kontaktní tlak mezi artikulujícími plochami femorální a tibiální komponenty úplné náhrady kolenního kloubu je považován za rozhodující veličinu ovlivňující životnost náhrady, resp. polyetylenové vložky tibiální komponenty. Rozložení kontaktního tlaku je možné získat výpočtem, např. pomocí metody konečných prvků, ovšem pro verifikaci výsledků je žádoucí provést experimentální měření. Pro měření kontaktních tlaků bylo použito tlakově citlivých filmů Fuji. Vyhodnocení otisků bylo provedeno počítačově, a to zpracováním skenerem digitalizovaných otisků pomocí vlastního programu.

Klíčová slova: kontaktní tlak, náhrada kolenního kloubu, tlakově citlivý film Fuji.

Abstract

Contact pressure on articulating surfaces of a knee joint endoprosthesis is assumed important for fatigue life of the prosthesis, an UHMWPE insert of a tibial component respectively. Contact pressure distribution can be obtained by computations by means of finite element method but it is necessary to perform measurements to verify computational simulations. Fuji pressure sensitive films were used to measure contact pressure. Digitalized imprint evaluation was performed by a computer program.

Key words: contact pressure, knee joint endoprosthesis, Fuji pressure sensitive film.

ÚVOD

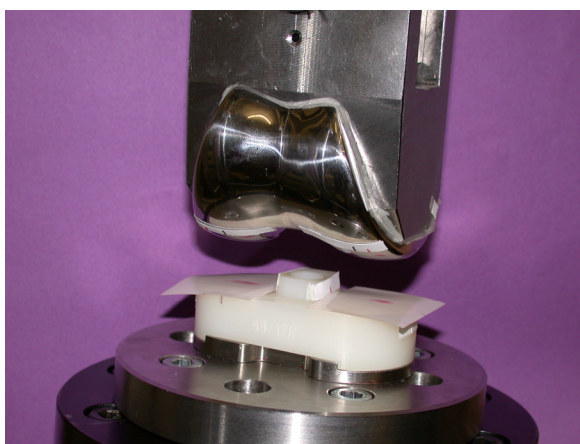
Při vzájemném pohybu jednotlivých komponent kloubních náhrad vznikají na kontaktních plochách povrchové změny jako důsledek cyklicky se opakujícího zatěžování. Spolupůsobí přitom také tvarové odchylky komponent ve smyslu tvarového nesouladu (nekongruence). To spoluvytváří místní koncentraci relativně vysokého lokálně působícího kontaktního tlaku. Důsledkem je velké opotřebení jedné nebo obou komponent. Omezení tohoto opotřebení je současným úkolem při vývoji náhrady kolenního kloubu. K měření hodnot kontaktních tlaků je možné použít tlakově citlivé filmy Fuji Prescale.

Toto měření je také motivováno snahou ověřit přesnost výsledků získaných pomocí počítačové simulace metodou konečných prvků. Analytický výpočet kontaktních tlaků totiž vzhledem ke složitému tvaru kolenní endoprotézy není možný. Experimentálně zjištěné rozložení kontaktních tlaků je jediným důvěryhodným měřítkem pro verifikaci modelu.

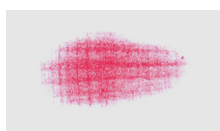
¹ Ing. RŮŽIČKA Pavel, Ing. HORÁK Lukáš, Ing. SEDLÁČEK Radek, Ing. ZACH Lukáš, ÚMBM FS ČVUT v Praze, Pavel.Ruzicka@fs.cvut.cz, horakl@email.cz, Radek.Sedlacek@fs.cvut.cz, Lukas.Zach@fs.cvut.cz
Lektoroval: prof. Ing. František ŠIMČÁK, CSc., KAMaM, SJF TU v Košiciach, frantisek.simcak@tuke.sk

METODIKA EXPERIMENTU

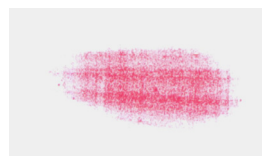
Experiment byl realizován na testovacím systému MTS 858 Mini Bionix. Z totální náhrady kolenního kloubu byla použita femorální komponenta vyrobená z CoCrMo slitiny a UHMWPE vložka tibiální komponenty (obr.1). Zvolená konfigurace umožňuje zatížení dvojice kloubních komponent axiální silou v rozsahu (500 - 3000) N při úhlu flexe 0°. Pro měření kontaktních tlaků byly zvoleny Fuji Prescale filmy Medium Pressure určené k měření tlaků v rozsahu (10 - 50) MPa podle publikovaných zkušeností [1]. Po aplikaci zatížení se na filmu objeví otisky červeného zabarvení, jehož intenzita odpovídá velikosti působícího tlaku (obr.2 a obr.3). K vyhodnocení výrobce s filmem dodává škálu, která je však vhodná pouze k velmi přibližnému stanovení kontaktního tlaku. K podrobnějšímu vyhodnocení jsou nabízeny specializované přístroje [2], ovšem jako alternativu jsme se pokusili sestavit vlastní postup vyhodnocení s využitím standardního skeneru a počítačového vyhodnocení.



Obr.1 Testovaná konfigurace složená z femorální komponenty a UHMWPE vložky tibiální komponenty totální náhrady kolenního kloubu spolu s kontaktními filmy

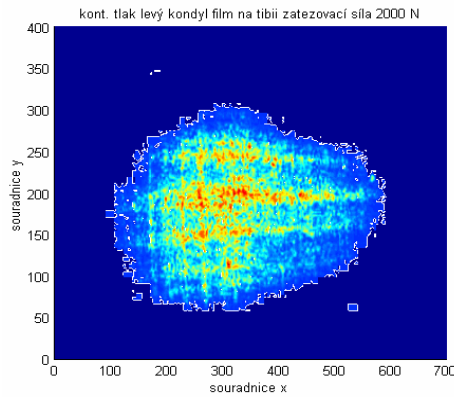


Obr.2 Otisk mediálního kondylu při působící síle 2000 N

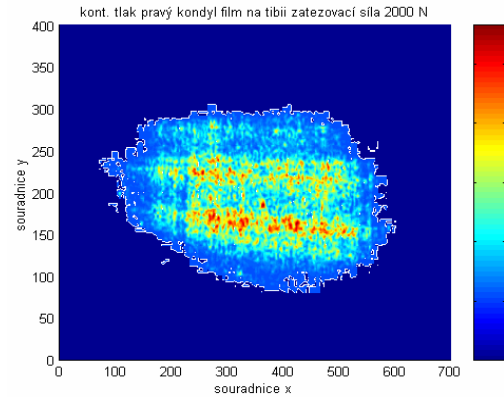


Obr.3 Otisk laterálního kondylu při působící síle 2000 N

Otisky digitalizované stolním skenerem byly zpracovány vlastním programem v programovacím jazyku Matlab. Program podle kalibrační křivky, která byla vytvořena na základě předběžných experimentů s jednoduchými válcovými tělesy, přiřadil každému pixelu digitálního obrazu otisku hodnotu kontaktního tlaku. Program vyhodnotí maximální a průměrnou hodnotu kontaktního tlaku a vykreslí rozložení kontaktního tlaku po ploše otisku (obr.4 a obr.5). Další výstupní hodnotou z vyhodnocení je velikost kontaktní plochy.



Obr.4 Rozložení kontaktního tlaku na mediálním kondylu při působící síle 2000 N



Obr.5 Rozložení kontaktního tlaku na laterálním kondylu při působící síle 2000 N

VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Na testovanou sestavu bylo působeno silami od 500 N do 3000 N. Výsledky vyhodnocení kontaktních tlaků mezi artikulačními plochami kolenní náhrady jsou prezentovány v tabulce 1.

Naměřené maximální a průměrné kontaktní tlaky v závislosti na působící síle **Tabulka 1**

Působící síla [N]	Maximální kontaktní tlak [MPa]		Průměrný kontaktní tlak [MPa]	
	laterální kondyl	mediální kondyl	laterální kondyl	mediální kondyl
3005	62.0	63.0	25.8	26.8
2471	60.5	62.5	25.1	25.6
2030	55.0	58.0	20.4	22.6
1500	53.0	55.5	17.1	20
995	35.5	42.5	13.5	15.6
502	18.0	27.5	11.2	12.4

S rostoucím zatížením roste maximální i průměrný tlak i kontaktní plocha (tabulka 2). Je možné pozorovat rozdíl mezi hodnotami pro laterální a mediální kondyl. Pro zpětnou kontrolu byl proveden zpětný výpočet působící síly prostou sumací kontaktních sil přes všechny pixely digitalizovaného otisku (tabulka 3). Je patrné, že relativní odchylka vypočtené síly od působící síly je nejnižší pro nejvyšší hodnoty síly, tzn. i pro nejvyšší hodnoty kontaktního tlaku.

Zjištěná kontaktní plocha v závislosti na působící síle**Tabulka 2**

Působící síla [N]	Kontaktní plocha [mm ²]	
	laterální kondyl	mediální kondyl
3005	58.0	48.9
2471	48.6	41.9
2030	38.4	37.4
1500	33.4	26.5
995	21.1	18.0
502	6.8	8.4

Srovnání působící síly se silou zpětně vypočtenou**Tabulka 3**

Působící síla [N]	Zpětně vypočítaná síla [N]	Relativní odchylka [%]
3005	2850	5
2471	2344	5
2030	1675	21
1500	1096	37
995	595	67
502	190	164

ZÁVĚR

Tlakově citlivé filmy je možné použít pro měření kontaktních tlaků na artikulačních plochách náhrady kolenního kloubu. Z výsledků je možné usuzovat na to, že je možné provést vyhodnocení otisků vlastním postupem. Je možné říci, že naměřené hodnoty odpovídají hodnotám publikovaným v [1].

LITERATURA

- [1] VILLA, T, MIGLIAVACCA, F., GASTALDI, D., COLOMBO, M., PIETRABISSA, R. Contact stresses and fatigue life in a knee prostheses: comparison between in vitro measurements and computational simulations. Journal of Biomechanics, January 2004, vol. 37, no. 1, p. 45-53. ISSN 0021-9290
- [2] Informace o filmech FUJI. [online] Dostupné na WWW: <<http://www.prescale.com>>.