



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svatka, Česká republika

**ENDOPROTÉZA CF-30 – KLINICKÁ PRAXE VS. DEFORMAČNĚ NAPĚŤOVÁ
ANALÝZA**

Jiří Hudec, Milan Kovanda¹

Abstrakt

Příspěvek se zabývá srovnáním klinických výsledků femorální endoprotézy CF-30 s deformačně napěťovou analýzou této endoprotézy. Deformačně-napěťová analýza je řešena výpočtovým modelováním pomocí softwaru na bázi metody konečných prvků (MKP) ANSYS 5.7. Vyhodnocení průběhů napětí v implantátu, cementu a kostní tkáni je provedeno srovnáním s modely, v nichž jsou zasazeny klinicky úspěšné implantáty Poldi a MS-30.

Klíčová slova

biomechanika, endoprotéza, femorální implantát, CF-30, biomechanické komplikace, výpočtové modelování, ANSYS

Úvod

Na I. Ortopedické klinice FN u sv. Anny v Brně mají s femorálními implantáty klinické zkušenosti již několik desetiletí. Nejen na této klinice praxe ukázala, že jednotlivé typy femorálních implantátů jsou různě úspěšné. Zatímco některé mají jen minimální procento biomechanických komplikací, u jiných se vyskytují méně či více závažné komplikace v hojně míře. Mezi úspěšné lze celosvětově zařadit dřík Exeter, mezi naopak problémové dřík CF-30. Tento dřík selhává u sledovaného souboru pacientů vždy kvůli jedné, konkrétní biomechanické komplikaci a nikoliv z důvodu několika různých komplikací. Důvodem selhání je aseptické uvolnění dříku. Existuje důvodné podezření, že aseptické uvolnění souvisí s mechanickou interakcí mezi implantátem, cementem a kostní tkání. Proto byla navázána spolupráce s Ústavem mechaniky těles FSI VUT v Brně za účelem vyhodnocení mechanické interakce mezi dříkem CF-30 a okolními materiály - cementovou vrstvou a kostní tkání.



Obr. 1: Uvolněný dřík CF-30 – k aseptickému uvolnění došlo na rozhraní cement - femur

¹ Ing. Jiří Hudec, doktorand, VUT FSI - Ústav mechaniky těles, Technická 2, Brno, Hudec@One.CZ
MUDr. Milan Kovanda, I. ortopedická klinika, Nemocnice u sv. Anny, Brno

Klinické výsledky

Endoprotéza CF-30 se na I. Ortopedické klinice FN u sv. Anny v Brně používala v kombinaci s necementovanou jamkou v letech 1994 – 1995. V první polovině roku 1994 bylo odoperováno celkem 80 pacientů s dříkem CF-30, z nichž bylo 31 mužů a 49 žen. Průměrný věk byl 60 roků u mužů a 55 roků u žen. Pacienti byli průběžně sledováni a od všech existuje úplná klinická dokumentace. Tři pacienti do ukončení sledování zemřeli bez souvislosti s operací a 4 pacienti se ztratili nebo se je nepodařilo dohledat. Ve fázi primární fixace, která trvá přibližně první dva roky, se u tohoto implantátu neobjevily závažnější biomechanické komplikace. Po této době však začalo hromadně docházet k aseptickému uvolňování dříku. Do konce roku 2001 bylo následkem aseptického uvolnění reoperováno celkem 16 pacientů a u dalších se reoperace očekává v nejbližších měsících a letech.

Pacienti byli hodnoceni jak subjektivně – podle Harrisova skóre, tak i objektivně – rentgenologicky podle předozadního rentgenového snímku kyčle.

Subjektivní hodnocení podle Harrisova skóre spočívá ve vyhodnocení dotazníků, v nichž pacienti odpovídají na otázky, které se týkají bolesti v kyčli (žádná, lehká, mírná, střední), kulhání (žádné, lehké, mírné, výrazné), chůze (neomezena, 400 – 1 500 m, 100 – 400 m, jen v bytě), používání pomůcek (žádné, občas 1 hůl, 1 hůl, 1 berle, 2 hole, 2 berle), chůze po schodech (normální, se zábradlím, obě ruce se zábradlím, neschopen), sezení (pohodlné, vysoká židle, obtížné), oblékání ponožek (snadno, obtížně, neobleče), nástupu do autobusu (schopen, neschopen), pohybu (dobrý, omezen, výrazně omezen) a kontraktury kyčle (je, není). Jednotlivé odpovědi jsou bodovány a body sečteny, maximální počet bodů je 100. Největší vliv má odpověď na bolest v kyčli (44 bodů), poté odpovědi na kulhání, chůzi a používání pomůcek (po 11 bodech). Dotazník jsme ještě doplnili o otázku, zda pacient má bolest ve stehně. Ta je první indicií, že s implantátem není vše v pořádku. Souhrnné výsledky Harrisova skóre uvádí tab. 1.

Tab. 1: Harrisovo kyčelní skóre pro dřík CF-30 (soubor 57 pacientů)

Výsledek	Počet pacientů	Výsledek	Počet pacientů
Vynikající (>90 bodů):	17	Uspokojivý (70-79 bodů):	8
Dobrý (80-90 bodů):	8	Špatný (<70 bodů):	24

Jak je z tabulky patrné, vynikajícího a dobrého výsledku dosáhlo pouze 25 dotazovaných (44 %), naopak špatného výsledku 24 pacientů (42 %). Lze tedy konstatovat, že subjektivní Harrisovo skóre vychází pro dřík CF-30 nepříznivě.

U sledovaného souboru pacientů jsme dále provedli objektivní hodnocení dle předozadního rentgenového snímku kyčle. U rentgenologického vyšetření jsme hodnotili zapadání dříku do femuru (0 – 2 mm, 2 – 4 mm, 4 – 6 mm, > 6 mm), výskyt lemů kolem implantátu (bez lemu, < 1 mm, 1 – 1,9 mm, > 2 mm), výskyt kavit a správné centrování implantátu ve femuru v předozadní projekci. Abychom přesněji popsali místo výskytu lemů a kavit, použili jsme při jejich vyhodnocování rozdělení femuru do sedmi zón dle Gruena, podobně jako je tomu u denzitometrického vyšetření. Původně jsme chtěli vyhodnotit i porušení cementové vrstvy kolem implantátu, avšak rentgenové snímky nebyly dostatečně kontrastní na spolehlivé vyhodnocení tohoto parametru. Vyhodnocení zapadání dříku je uvedeno v tab. 2, výskyt lemů v jednotlivých zónách v tab. 3 a výskyt kavit v tab. 4. Rentgenologickému vyšetření se podrobilo

celkem 55 pacientů. Korektní umístění dříku ve femuru v předozadní projekci má 50 pacientů, u zbylých 5 pacientů není dřík korektně umístěn.

Tab. 2: RTG vyšetření – zapadání dříku do femuru (soubor 55 pacientů)

Zapadání dříku	Počet pacientů	Zapadání dříku	Počet pacientů
0 - 2 mm	33	4 - 6 mm	5
2 - 4 mm	7	> 6 mm	10

Jak je vidět, dřík CF-30 zapadá do femuru o více než 2 mm u 22 pacientů (40 %). To je značné procento případů, které opět ukazuje na špatný implantát.

Tab. 3: RTG vyšetření – výskyt lemů kolem implantátu (soubor 55 pacientů)

Zóny dle Gruena	Lem				Lem
	není	< 1 mm	1 - 1,9 mm	> 2 mm	>= 1 mm
Zóna R1	0	12	13	30	43
	0,00%	21,82%	23,64%	54,55%	78,18%
Zóna R2	1	34	7	13	20
	1,82%	61,82%	12,73%	23,64%	36,36%
Zóna R3	2	29	7	17	24
	3,64%	52,73%	12,73%	30,91%	43,64%
Zóna R4	1	47	3	4	7
	1,82%	85,45%	5,45%	7,27%	12,73%
Zóna R5	1	40	6	8	14
	1,82%	72,73%	10,91%	14,55%	25,45%
Zóna R6	1	37	7	10	17
	1,82%	67,27%	12,73%	18,18%	30,91%
Zóna R7	1	34	3	17	20
	1,82%	61,82%	5,45%	30,91%	36,36%

Výskyt lemů přímo souvisí s uvolněním implantátu. V klinické praxi se lemy vyhodnocují následujícím způsobem: Pokud je lem kolem celého implantátu větší než 2 mm, pak je uvolnění implantátu jisté a pacient jde na reoperaci, pokud je lem v rozmezí 1 – 1,9 mm, uvolnění je pravděpodobné a pokud je lem < 1 mm, uvolnění se považuje za možné.

Z uvedené tabulky je zřejmé, že lem > 2 mm má 75 % pacientů v zóně R1 (oblast trochanter major), 31 % pacientů v zóně R3 (laterální strana distální třetiny dříku) a 31 % pacientů v zóně R7 (oblast calcaru).

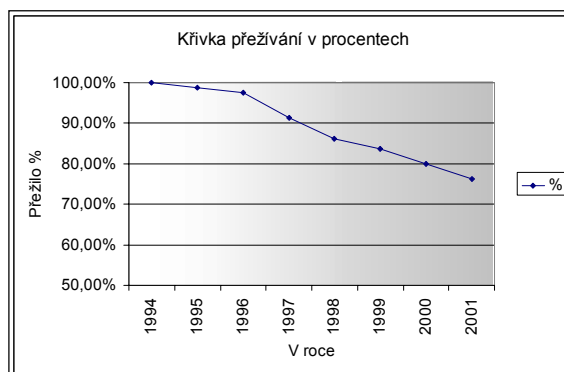
Z tab. 4 uvedené na další stránce vyplývá, že se kavity vyskytují nejvíce v zóně R1 (u 44 % pacientů) a v zóně R7 (u 31 % pacientů).

Dále jsme se pokusili zjistit, zda existuje vztah mezi subjektivním hodnocením pacientů z Harrisova skóre a objektivním rentgenologickým nálezem. Konkrétně nás zajímaly následující vztahy: bolest v kyčli vs. zapadání dříku, bolest v kyčli vs. lemy v jednotlivých oblastech kolem implantátu, bolest ve stehně vs. zapadání dříku a bolest ve stehně vs. lemy v jednotlivých oblastech kolem implantátu. Musíme však konstatovat, že se nám nepodařilo najít významnou korelaci mezi těmito parametry. Korelační koeficienty se pohybovaly maximálně do hodnoty $r = 0,4$.

Tab. 4: RTG vyšetření – výskyt kavit kolem implantátu (soubor 55 pacientů)

Zóny dle Gruena	Kavita		Zóny dle Gruena	Kavita	
	Je	Není		Ano	Ne
Zóna R1	24	31	Zóna R5	4	51
	43,64 %	56,36 %		7,27 %	92,73 %
Zóna R2	7	48	Zóna R6	6	49
	12,73 %	87,27 %		10,91 %	89,09 %
Zóna R3	9	46	Zóna R7	17	38
	16,36 %	83,64 %		30,91 %	69,09 %
Zóna R4	2	53			
	3,64 %	96,36 %			

Úspěšnost implantátu lze s výhodou vyhodnotit pomocí tzv. křivky přežívání. Ta v závislosti na čase udává procentuální podíl implantátů, které přežily. Pro dřík CF-30 je tato závislost uvedena na obr. 2. Na křivce je patrný zlom po druhém roce užívání, který časově odpovídá přechodu mezi primární a sekundární fází fixace. Za tímto zlomem křivka klesá mnohem strměji. Po sedmi letech sledování je hodnota křivky přežívání 76 %, což znamená, že dřík CF-30 přežil pouze u 76 % odoperovaných pacientů. Pro srovnání, dřík Poldi má po sedmi letech hodnotu křivky přežívání 96 % (soubor 462 nemocných). Explantace potvrdily aseptické uvolnění na rozhraní cement-femur. Všechny implantáty byly z těla vyjmuty s pevně navázaným cementovým toulcem.



Obr. 2: Křivka přežívání dříku CF-30 – po sedmi letech přežívá pouze 76 % odoperovaných dříků

Poněvadž soubor pacientů byl obdobný jako u jiných implantátů, operační technika a technika cementování byla stejná a navíc všechny operace prováděli zkušení operatři, je zřejmé, že za vysoké procento selhávání může samotný implantát. To lze považovat za jednoznačný závěr klinických výsledků.

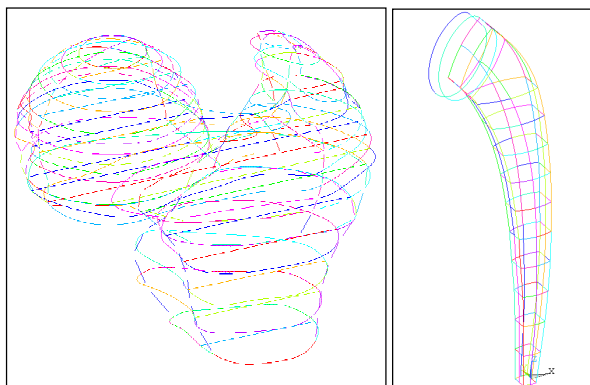
Výpočtové modelování

Klinické výsledky jednoznačně prokázaly, že za vysoké procento komplikací může samotný implantát CF-30. Proto byla navázána spolupráce s Ústavem mechaniky těles FSI VUT Brno s cílem vyhodnotit mechanickou interakci mezi implantátem a okolními materiály – cementem a kostní tkání. Protože v současné době neexistují jednoznačná kritéria pro vyhodnocení průběhů napětí a deformací v kostní tkáni, byly vytvořeny modely i s jinými implantáty (Poldi, MS-30), o nichž z klinické praxe víme, že jsou úspěšné. Mechanická interakce je pak vyhodnocena porovnáním průběhů napětí, deformací a stykových tlaků u jednotlivých modelů.

Geometrie soustavy

Úloha je kvůli své složitosti řešena jako prostorová (3-D). Geometrie proximální epifysy a metafysy byla získána ve formě křivek popisujících transversální řezy přímým převodem z počítačové tomografie (CT). Transversální řezy diafysy byly zrekonstruovány podle reálného femuru, viz obr. 3. Vnější plochy byly přetaženy přes zrekonstruované řezy.

Pro vytvoření geometrie implantátů byly použity reálné endoprotézy středních velikostí. Geometrie endoprotéz POLDI, CF-30 a MS-30 byla vytvořena zrekonstruováním transversálních řezů, viz obr. 3. Vnější plochy byly přetaženy přes tyto řezy. U žádné z endoprotéz nebyly uvažovány otvory sloužící k jejich vytažení a středící otvory (CF-30 a MS-30). Otvory nebudou mít podstatný vliv na získané výsledky, a tak jejich uvažování by jen zbytečně zkomplikovalo generaci sítě MKP. Základní konstrukční parametry jednotlivých endoprotéz uvádí následující tabulka.



Obr. 3: Transversální řezy femuru získané z CT a zrekonstruované řezy dřívku Poldi

Tab. 5: Základní konstrukční parametry totálních endoprotéz.

	POLDI	CF-30	MS-30
Tvar dřívku:	banánový	rovný	rovný
Límec:	ano	ne	ne
Konstrukce dvojitého klínu:	ano	ne	ano
Ostré hrany:	ano	ano	ne
Povrch:	leštěný	matný	matný
Kolodíafysární úhel:	135°	126°	130°

Geometrie cementu je volena tak, aby respektovala obecně doporučované hodnoty pro tloušťku cementové vrstvy. Tloušťka cementu je tedy 4 – 7 mm v proximální části, 1 – 3 mm v distální části. Cement zatéká přibližně 10 mm pod implantát.

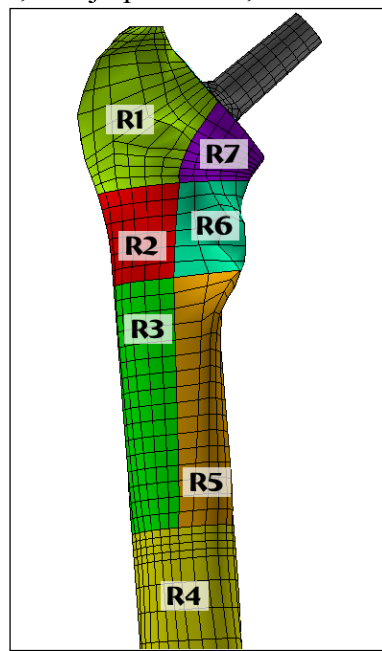
Všechny zkoumané dřívky jsou korektně zasazeny na střed dřevňového kanálu do femuru. Výjimkou je endoprotéza Poldi, která je zasazena valgusně, což je postavení, které se u tohoto implantátu používá v současné době.

Materiálové charakteristiky

Všechny tři dřívky jsou zhotoveny z FeCrNi tvářené slitiny s tím rozdílem, že dřívky CF-30 a MS-30 dle normy ISO 5832-9 a dřív Poldi z materiálu s označením AKV Ultra 2. Norma ISO 5832-9 předepisuje minimální mez pružnosti 430 MPa, zatímco reálná mez pružnosti materiálu AKV Ultra 2 je 213 MPa. Moduly pružnosti a Poissonova čísla jsou však přibližně stejné.

Ve výpočtových modelech je použit cement Palacos-R firmy Biomet-Merck, jehož mechanické charakteristiky známe jak od výrobce, tak z vlastních experimentálních měření. Tento typ cementu je také velmi dobře hodnocen mezi chirurgy a ortopedy.

Materiálové charakteristiky kostní tkáně představují již tradiční problém. Kostní tkáň je materiál s výraznými anizotropními vlastnostmi, které se navíc topologicky mění. Většinou se ale řeší jako materiál izotropní



Obr. 4: MKP model soustavy s vyznačením Gruenových zón

s konstantní hodnotou modulu pružnosti v celé řešené oblasti, poněvadž přesnější vstupní data nejsou v současné době k dispozici. V našem případě používáme topologicky zpřesněné izotropní materiálové charakteristiky, které lineárně závisí na minerální hustotě kostní tkáně (BMD) získané z denzitometrického vyšetření. Minerální hustota BMD se měří metodou DEXA kolem implantátu v sedmi oblastech femuru, v tzv. Gruenových zónách. Mezi minerální hustotou BMD a modulem pružnosti E byla v minulosti mnoha autory prokázána velmi vysoká korelace ($r > 0,8$). Na obr. 4 umístěném na předchozí stránce je zobrazen MKP model soustavy s endoprotézou CF-30, na němž je barevně označeno všech sedm Gruenových zón.

V diafyse a proximální metafyse femuru je uvažována pouze kompaktní kostní tkáň. Zbytky spongiózní kostní tkáně v trochanterech major a minor respektovány nejsou. Rozsah použitých modulů pružnosti je zatím volen velmi konzervativně, a to tak, aby odpovídal výsledkům z měření závislosti mechanických vlastností na poloze, kterou již v roce 1951 zkoumali u femuru F. G. Evans a M. Lebow.

Tab. 6: Materiálové charakteristiky implantátu a cementu

	Poldi	CF-30, MS-30	Cement Palacos-R
Materiál:	AKV Ultra 2	ISO 5832-9	PMMA
Modul pružnosti E:	203 000 MPa	210 000 MPa	2 320 MPa
Poissonovo číslo μ:	0,30	0,30	0,29
Mez kluzu $R_p0,2$:	213 MPa	430 MPa (min.)	-
Mez pevnosti R_m:	711 MPa	740 MPa (min.)	87,8 MPa (v tlaku)
Tažnost A:	68 %	35 % (min.)	-

Tab. 7: Přiřazení modulů pružnosti kostní tkáně ke změřeným hodnotám BMD

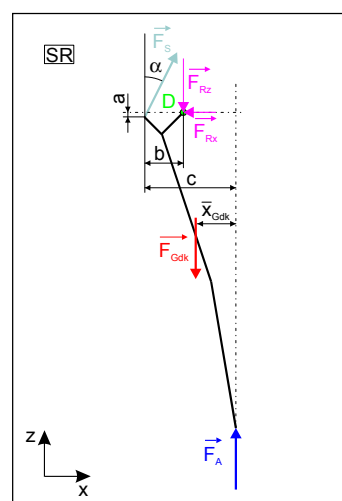
Zóny dle Gruena	BMD [g·cm⁻²]	E [MPa]	Zóny dle Gruena	BMD [g·cm⁻²]	E [MPa]
Zóna R1	1,415	15 144	Zóna R5	1,204	14 515
Zóna R2	1,146	14 343	Zóna R6	1,501	15 400
Zóna R3	1,037	14 018	Zóna R7	1,261	14 685
Zóna R4	1,031	14 000			

V tab. 6 a 7 jsou uvedeny materiálové charakteristiky jednotlivých komponent soustavy.

Zatížení

Zatížení v oblasti kyčelního kloubu je zjednodušeno, ze svalů se uvažuje pouze působení abduktorů (*m. gluteus medius*, *m. gluteus minimus* a zčásti i *m. gluteus maximus*) upnutých na trochanteru major. Výsledná styková síla působící na hlavici endoprotézy je vyjádřena ze statické rovnováhy člověka při stoji na jedné dolní končetině.

Při vyjadřování statické rovnováhy uvažujeme sílu v abduktorech upnutých na trochanteru major F_s , tíhu člověka F_G a tíhu dolní končetiny F_{Gdk} . Stykovou sílu působící na hlavici endoprotézy F_R stanovujeme z rovnic statické rovnováhy, viz obr. 5. Zatížení soustavy odpovídá člověku o hmotnosti 75 kg.



Obr. 5: Schématický model uvolněné dolní končetiny

Vazby

Celý model MKP je vetknutý v distální rovině. Jsou vytvořeny dvě varianty modelů. Varianta V1 uvažuje kontakt na rozhraní endoprotéza-cement (E-C) a varianta V2 na rozhraní cement-femur (C-F). Prezentované výsledky se omezují pouze na variantu V1.

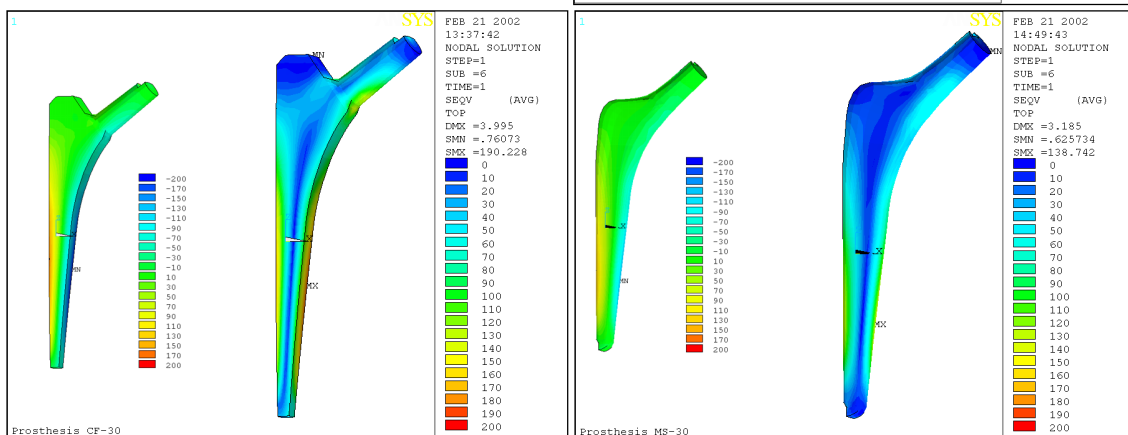
Řešení

Úloha je řešena pomocí výpočtového systému na bázi MKP ANSYS 5.7. Modely MKP tvoří prostorové prvky SOLID45 (8-mi uzlový šestistěn) a kontaktní prvky CONTA174 a TARGE 170 (pružný kontakt typu plocha-plocha).

Prezentace a analýza výsledků

Na obr. 6a, 6b a 6c jsou zobrazeny průběhy redukovaných napětí dle HMM (na obrázcích vpravo) a průběhy dominantní složky napětí σ_z (na obrázcích vlevo) v jednotlivých implantátech.

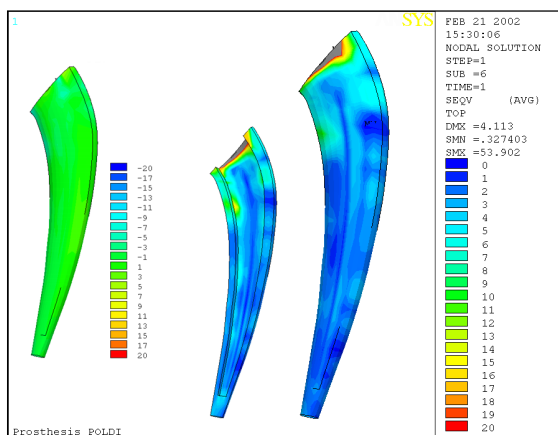
Nejvíce je namáhán dřík CF-30 ($\sigma_{red, max} = 190$ MPa), naopak nejméně dřík MS-30 ($\sigma_{red, max} = 139$ MPa). U všech tří endoprotéz se nachází maximální hodnota redukovaného napětí i napětí σ_z ve střední



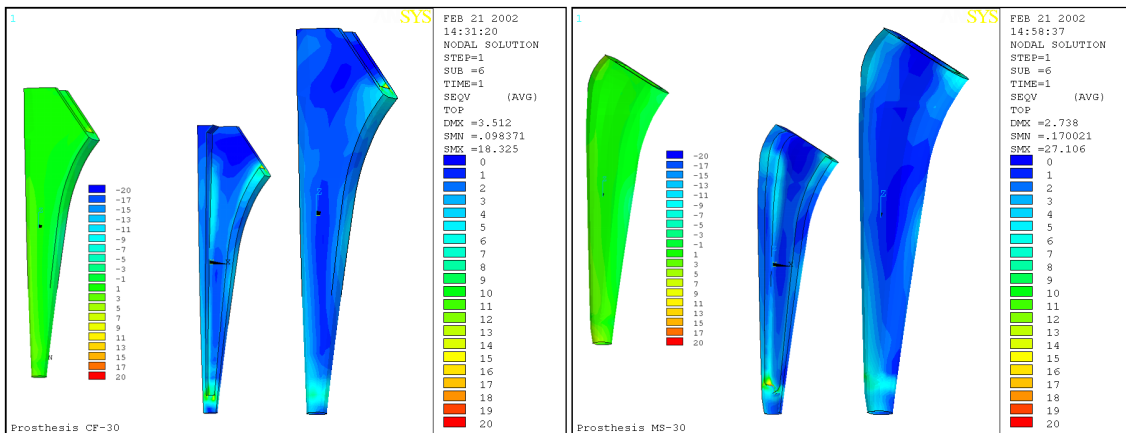
Obr. 6a, 6b, 6c: Průběhy redukovaného napětí dle HMM a dominantní složky σ_z v endoprotézách Poldi (vpravo nahore), CF-30 (vlevo dole) a MS-30 (vpravo dole)

části dříku. Distální konec dříku je v případě endoprotéz Poldi a MS-30 prakticky nezátžen, pouze u dříku CF-30 je výrazná napjatost. Po délce dříku jsou průběhy redukovaného napětí u všech tří endoprotéz rovnoměrné bez lokálních extrémů, což je příznivý stav. Po průřezu jsou však jednoznačně nejvyšší gradienty napětí u dříku CF-30, a to kvůli ostrým hranám, které působí jako koncentrátoři napětí. U dříku Poldi dochází pod límcem k výraznému lokálnímu extrému napětí.

Na obr. 7a, 7b a 7c jsou zobrazeny



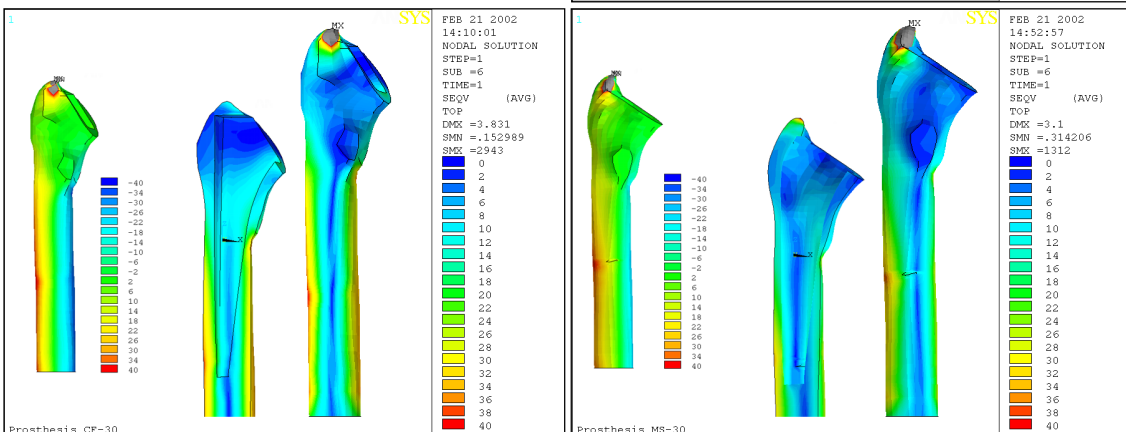
Obr. 7a: Průběhy redukovaného napětí dle HMM a napětí σ_z v cementovém toulci endoprotézy Poldi



Obr. 7b, 7c: Průběhy redukovaného napětí dle HMH a dominantní složky σ_z v cementovém toulci endoprotézy CF-30 (vlevo) a MS-30 (vpravo). Prostřední obrázky zobrazují cementovou vrstvu v řezu

průběhy redukovaných napětí dle HMH (na obrázcích vpravo) a průběhy dominantní složky napětí σ_z (na obrázcích vlevo) v cementových toulcích.

Podíváme-li se na průběhy redukovaných napětí v cementových toulcích, vidíme, že u endoprotézy s rovným dřikem (CF-30 a MS-30) si jsou průběhy kvalitativně velmi podobné. Velké hodnoty napětí jsou v oblasti calcaru (zóna R7), na laterální straně proximální třetiny dříku (zóny R1 a zčásti R2) a v oblasti distálního konce dříku, zejména na laterální straně (zóna R3). Kvantitativně jsou průběhy redukovaných napětí podstatně vyšší u endoprotézy CF-30 ($\sigma_{red, max} = 17,0$ MPa), než u endoprotézy MS-30 ($\sigma_{red, max} = 9,8$ MPa) – neuvažuje se lokální extrém napětí na distálním konci dříku MS-30, za který může namodelovaná geometrická konfigurace mezi koncem dříku, centralizérem a cementovou vrstvou. U endoprotézy Poldi je maximální hodnota dosažena v místě kontaktu límce se seříznutým femurem. V tomto místě vzniká velmi ostrý extrém redukovaného napětí, což není dobré. Nejvíce je namáhána proximální třetina. Jinak jsou průběhy napětí v cementovém toulci endoprotézy Poldi rovnoměrné – příznivý stav.



Obr. 8a, 8b, 8c: Průběhy redukovaného napětí dle HMH a složky σ_z ve femuru s implantáty Poldi (vpravo nahoře), CF-30 (vlevo dole) a MS-30 (vpravo dole). Prostřední obrázky zobrazují femur v řezu

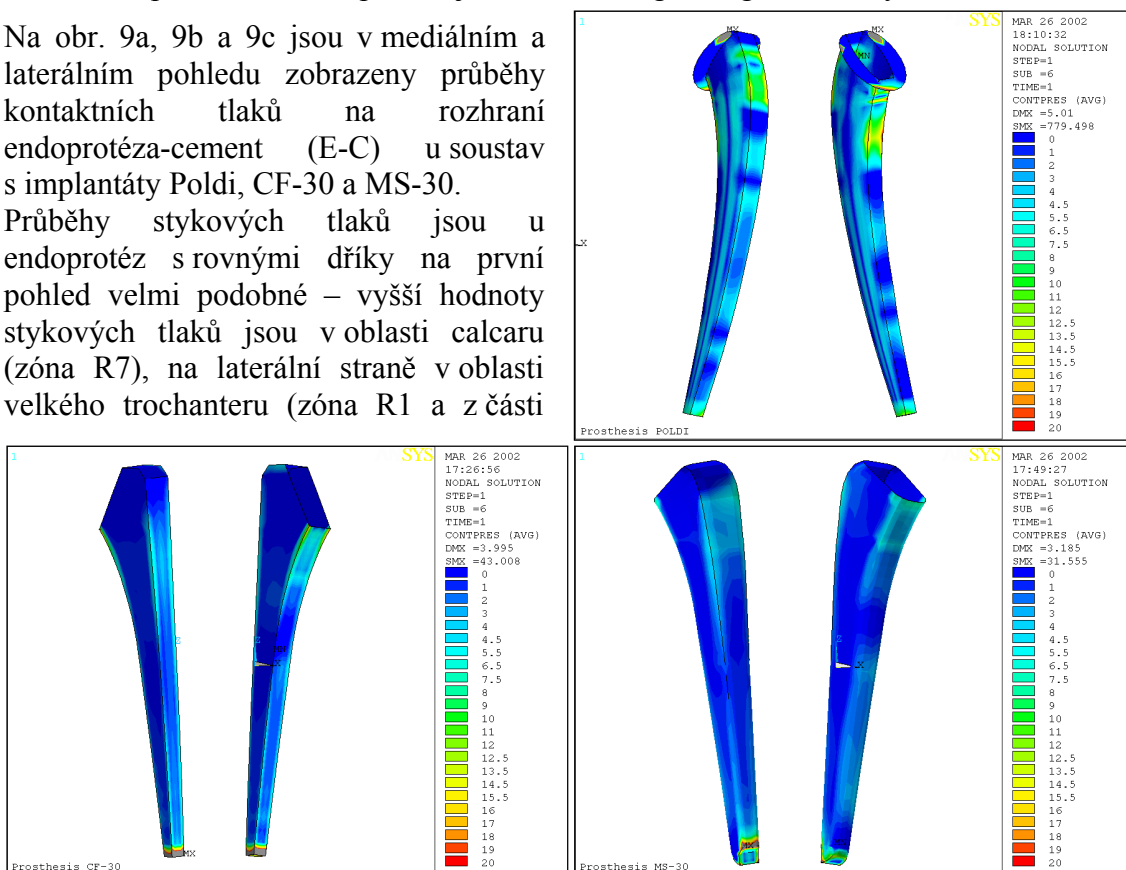
Na obr. 8a, 8b a 8c jsou zobrazeny průběhy redukovaných napětí dle HMH (na obrázcích vpravo) a průběhy dominantní složky napětí σ_z (na obrázcích vlevo) ve femuru.

Nejvyšších hodnot opět dosahují průběhy redukovaného napětí a hlavní složky σ_z ve femuru s implantátem CF-30 ($\sigma_{red, max} = 39,4$ MPa), naopak nejnižších ve femuru s implantátem Poldi ($\sigma_{red, max} = 31,5$ MPa). U endoprotéz s rovným dříkem (CF-30 a MS-30) dochází k mírnému lokálnímu extrému napětí v oblasti distálního konce dříku. Poněvadž v těchto místech je napjatost o něco vyšší než v okolních oblastech, mohl by tento jev vysvětlovat zbytnění kostní tkáně v této oblasti, k němuž dochází u některých pacientů. Podíváme-li se na oblast proximální metafysy, zjistíme, že je v ní femur s dříkem CF-30 mnohem více namáhán, než femur s dříkem MS-30. U masivního dříku MS-30 lze velmi dobře pozorovat efekt, který se v lékařské literatuře označuje jako stress-shielding. Znamená, že se zatížení z endoprotézy do kosti přenáší převážně ve střední a distální třetině dříku, přičemž oblast calcaru je implantátem „stíněna“.

U endoprotézy Poldi dochází ke značnému lokálnímu extrému v místě kontaktu límce se seříznutým femurem. Poněvadž pod límcem vzniká značný lokální extrém napětí jak v cementu, tak v kostní tkáni, můžeme konstatovat, že původní záměr límce – stimulovat přilehlou kostní tkáň – se nezdařil a límec endoprotézy Poldi spíše škodí, než prospívá, poněvadž pod ním může dojít k patologickému odbourávání kostní tkáně v důsledku přetěžování. To potvrzují i některé rentgenologické nálezy.

Na obr. 9a, 9b a 9c jsou v mediálním a laterálním pohledu zobrazeny průběhy kontaktních tlaků na rozhraní endoprotéza-cement (E-C) u soustav s implantáty Poldi, CF-30 a MS-30.

Průběhy stykových tlaků jsou u endoprotéz s rovnými dříky na první pohled velmi podobné – vyšší hodnoty stykových tlaků jsou v oblasti calcaru (zóna R7), na laterální straně v oblasti velkého trochanteru (zóna R1 a z části



Obr. 9a, 9b, 9c: Mediální a laterální pohled na průběhy stykových tlaků na rozhraní endoprotéza–cement (E-C) u soustav s implantáty Poldi (vpravo nahoře), CF-30 (vlevo dole) a MS-30 (vpravo dole)

R2), v oblasti distálního konce dříku a po hranách na mediální a laterální straně distální třetiny dříku (zóny R3, R5). S výjimkou zóny R5 se tedy jedná přesně o ty zóny, kde klinické výsledky ukazují nejvyšší procento výskytu lemů > 2 mm. I když jsou průběhy

stykových tlaků kvalitativně podobné, rozdíl v jejich velikostech je mezi dříkem CF-30 a MS-30 markantní. Zatímco u dříku MS-30 jsou stykové tlaky na celé mediální a laterální straně rovnoměrně rozložené bez lokálních extrémů, u dříku CF-30 dochází v důsledku ostrých hran v jejich okolí ke zvýšení stykových tlaků až na trojnásobek původní hodnoty, resp hodnot srovnatelných s dříkem MS-30. To je velmi nepříznivý stav, který je s velkou pravděpodobností příčinou tak vysokého procenta selhávání implantátu CF-30. U varianty V2, která zde není prezentována, je situace velmi podobná.

Závěr

V tomto příspěvku byly prezentovány klinické výsledky implantátu CF-30 a následně výsledky deformačně-napěťově analýzy soustavy s tímto implantátem. Lze konstatovat, že mezi klinickými výsledky a biomechanickými výpočty je velmi dobrá shoda. Místa s nejčastějším výskytem lemů na RTG snímcích, které jsou známkou uvolnění implantátu, se velmi dobře shodují s místy, kde působí nejvyšší stykové tlaky.

Pro srovnání průběhů napětí, deformací a stykových tlaků byla zvolena endoprotéza Poldi, která patří mezi klinicky úspěšné implantáty a s níž jsou dlouhodobé klinické zkušenosti již několik desetiletí. Další, tvarově příbuznější srovnávanou endoprotézou byla MS-30. Ta se používá poměrně krátkou dobu (několik let), takže od ní nejsou k dispozici dlouhodobé klinické výsledky. Zatím se však jeví jako dobrý implantát. Ze srovnávací analýzy plyne jednoznačný závěr: Průběhy napětí, deformací a stykových tlaků v implantátu, okolním cementu a v kostní tkáni vychází pro dřík CF-30 nejhůře ze všech tří srovnávaných endoprotéz.

Hlavním problémem dříku CF-30 jsou jeho ostré hrany, které měly podle původního záměru zlepšit rotační stabilitu, avšak které ve skutečnosti působí jako koncentrátoři napětí a možná příčina uvolnění dříku. Dalším problémem může být malá tloušťka dříku v distální části, která vede k vyšší napjatosti nejen v samotném implantátu, ale i v okolním cementu a kostní tkáni. Navíc distální konec dříku je výrazně namáhán pouze u endoprotézy CF-30. Posledním problémem je absence konstrukce dvojitého klínu, která ještě zdůrazňuje vliv ostrých hran.

Poděkování

Práce vznikla za podpory grantového projektu č. 101/01/0974 a výzkumného záměru č. MSM 262100024.

Literatura

- [1] Valenta J. a kol.: Biomechanika, Praha, Academia Praha, 1985
- [2] Lespessailles E. a kol.: Biomechanical properties of human os calcanei...., Journal of Biomechanics 31, 1998
- [3] Stenström M.a kol.: Bone mineral density and bone structure parameters as predictors of bone strength...., Journal of Biomechanics 33, 2000
- [4] Hudec J.: Analysis of the mechanical interaction between total prosthesis and proximal part of the femur, Svratka, Engineering Mechanics 2000 – Volume III, 15 – 20
- [5] Hudec J., Kovanda M.: Analýza mech. interakce cementované endoprotézy s femurem se zaměřením na zpřesněné mech. vlastnosti kostní tkáně, Nečtiny, Aplikovaná mechanika 2000