EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. ko ference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

PHOTOELASTIC AND NUMERICAL STRESS ANALYSIS OF ARTHRODESIS OF THE ANKLE
FOTOELASTICKÁ A NUMERICKÁ ANALÝZA STAVU NAPJATOSTI ARTRODÉZY HLEZENNÍHO KLOUBU

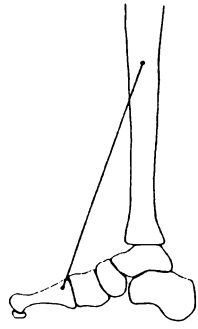
Daniel RUBRICIUS, Jindřich KRATĚNA

The new simple method of arthrodesis by means of a tibiometatarsal frame gives better results than hitherto used configurations of external fixation (Charnley's compression clamp). The proximal nail inserted into the diaphysis of the tibia is connected with a distal nail inserted into the base of metatarsal bones by a simple frame fixation. The aim of our research was to describe the stress state in the lower part (foot and tibia) of the lower extremity by means of numerical analysis and photoelastic measuring.

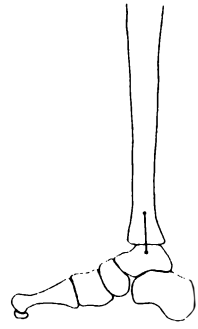
ÚVOD

Kloub je definován jako pohyblivé spojení dvou nebo více kostí volně se dotýkajících styčnými plochami krytými chrupavkou. Při artrodéze - ztuhnutí kloubu - se ruší základní kloubní účel - pohyb v anatomicky určeném místě končetiny. Artrodéza je proto závažným zásahem do biomechaniky ztužovaného kloubu.

V literatuře je popsáno více než 30 různých operačních technik k dosažení artrodézy. Tato skutečnost naznačuje, že zatím nebylo nalezeno univerzální, jednoduché a spolehlivé řešení. Jednou z nově navržených metod stabilizace je použití tibiometatarsálního rámu, podle návrhu ortopédů z ortopedické kliniky 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy Praha. Na základě požadavku



Obr. 1



Obr. 2

ortopédů bylo cílem práce posoudit stav napjatosti v místě styku tibie a talu pro nově navrženou metodu ztužení hlezenního kloubu pomocí tibiometatarsálního rámu (obr.1) a srovnat ji s nejčastěji používanou metodou stabilizace artrodézy hlezna pomocí Charnleyovy svorky (obr.2).

NUMERICKÝ VÝZKUM

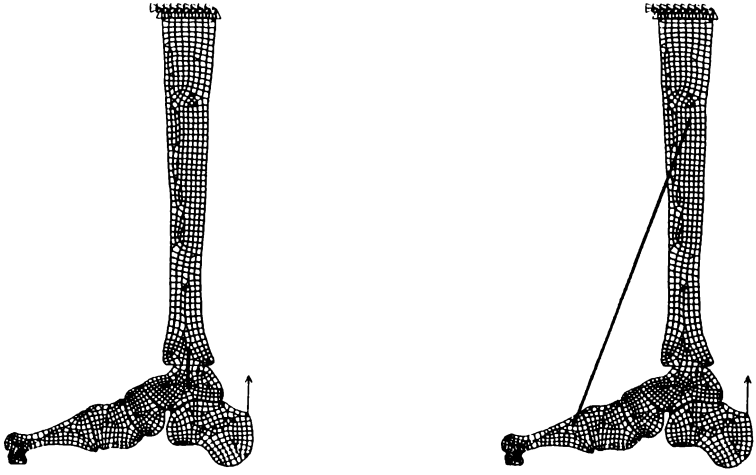
Úloha byla řešena na osobním počítači PC 486 / 33 MHz pomocí programu ANSYS (Swanson Analysis System). Tento program je určen pro řešení inženýrských úloh metodou konečných prvků. K výpočtu byla použita verze 4.4.A.

Problém byl řešen jako dvourozměrný, při použití prvků pro rovinnou napjatost. Mezi jednotlivými kostmi nohy je utvořena vrstva s materiálovými vlastnostmi chrupavky. Všechny materiálové charakteristiky pro prvky (spongióza, chrupavka a ocel) jsou zřejmé z tab. 1.

	modul pružnosti (MPa)	Poissonovo číslo
spongiózní kost	300	0.3
chrupavka	1.84	0.3
ocel	210000	0.3

Tab.1. Materiálové vlastnosti

V modelu jsou použity 3 typy prvků: dvourozměrný isoparametrický prvek, dvourozměrný kontaktní prvek a dvourozměrný prutový prvek. Oba modely se skládají z 1455 uzlových bodů a 1441 prvků (obr.3).



Obr. 3.

Použitý dvourozměrný isoparametrický prvek se užívá (jako dvouosý rovinný prvek) pro popis rovinné napjatosti nebo rovinné deformace nebo jako osově symetrický element. Prvek je definován čtyřmi uzlovými body, které mají dva stupně volnosti: posun ve směru osy x a posun ve směru osy y.

Dvourozměrný kontaktní prvek reprezentuje dvě plochy, které mají buď udržovat nebo přerušovat kontakt mezi sebou a mají možnost se vzájemně posouvat. Prvek má dva stupně volnosti: posun ve směru osy x a posun ve směru osy y.

Dvourozměrný prutový pružný prvek je jednoosý element (tlačený, tažený nebo ohýbaný) s třemi stupni volnosti: posun ve směru osy x, posun ve směru osy y a pootočení kolem osy z.

Při srůstání resekovaných ploch kostí artrodézy je nepříznivý výskyt tahových napětí v této oblasti. Příznivý je pro srůst výskyt pouze tlakových napětí v celé oblasti. Pak dochází k řádnému srůstu kostí v požadovaném devadesáti stupňovém úhlu.

Výsledkem numerické analýzy je průběh napětí SIG1 (maximální hlavní napětí), SIG3 (minimální hlavní napětí), SXY (smykové napětí) a směry hlavních napětí. Z porovnání výsledků vyplývá, že při použití Charnleyovy svorky dochází k výskytu maximálních hlavních napětích v přední třetině styku tibie a talu ve směru předo - zadním. Naproti tomu u metody tibiometatarsálního rámu jsou maximální hlavní napětí nulová na styku kostí. Ke koncentraci maximálních (tahových) napětí dochází v oblasti subtalárního kloubu.

Minimální hlavní napětí při použití Charnleyovy svorky se vyskytují v zadních dvou třetinách styku kostí při pohledu na řez v sagitální rovině, přičemž největší hodnota tohoto (tlakového) napětí je v posledním bodě styku kostí. U metody znehybnění tibiometatarsálním rámem se vyskytují minimální hlavní napětí po celé délce styku resekovaných kostí.

Z výsledků numerické analýzy vyplývá, že při použití tibiometatarsálního rámu k docílení znehybnění hlezenního kloubu jsou napětími, která převažují na styku kostí, napětí tlaková. Při použití Charnleyovy svorky je spára z části tlačena a z části tažena.

FOTOELASTICIMETRICKÝ VÝZKUM

Model byl vyříznut v měřítku 1:1 z desky Araldid B s konstantou optické citlivosti K = 10,5 N / mm a konstantní tloušťkou 10 mm (obr.4). Větší tuhost modelu než je skutečný stav byla zvolena z důvodu lepší možnosti kvalitativního posuzování vyšetřovaného místa. Pro vzpěru tibiometatarsálního rámu bylo vyrobeno ocelové táhlo s možností zmenšování a zvětšování délky pomocí rektifikačního šroubu. Horní hřeb táhla je umístěn 25 cm od linie styku resekovaných kostí.

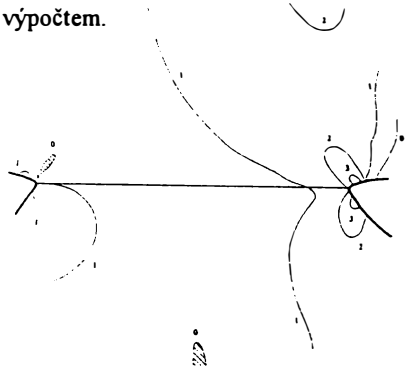
Obr. 4

Pro Achillovu šlachu bylo též vyrobeno ocelové táhlo, které je upnuto v místě úponu Achillovy šlachy a v horní části modelu pomocí šroubu. Pro odečítání velikosti zatížení byl umístěn v táhle dynamometr ze stejného materiálu. Model byl zavěšen v

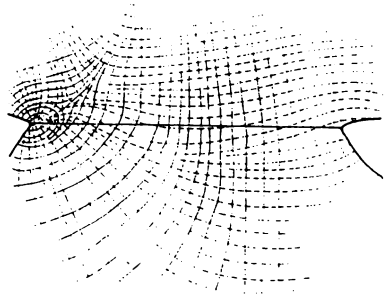
rámu pomocí otvoru v místě kolena do velkoplošného polariskopu typ FMB. Byla zvolena metoda transmisní fotoelasticimetrie.

Celá konstrukce byla zatížena táhlem (Achillova šlacha) velikostí 1. řádu izochromat. Druhé táhlo (tibiometatarsální rám) pak bylo dotaženo až do velikosti 1,5. řádu izochromat. Potom byla konstrukce přenesena do profilprojektoru Zeiss, na který byl nasazen polarizační adaptér s možností kompenzace, kde pomocí zvětšení 1:10 byly vykresleny isochromaty a izokliny.

Provedená fotoelasticimetrická analýza potvrdila závěry numerického modelování na styku resekovaných kostí. Při zatížení Achillovou šlachou nedochází k výskytu tahových napětí a významných koncentrací napětí. Na obr. 5 jsou vykresleny izochromaty a na obr. 6 jsou podle izoklin vyneseny izostaty. Tento obrázek izostat ukazuje složitější pole napětí pouze v malé oblasti přední části tibie v rovině sagitální. Kvantitativně však ani tato lokalita není významná, což je opět v souladu s numerickým výpočtem.



Obr. 5



Obr. 6

Jak numerická analýza, tak fotoelasticimetrické měření potvrzují v této malé oblasti výskyt velmi malých tahových napětí, které však pro celkové pole napětí kolem vyšetřované spáry nemají podstatný význam. Na zadní straně spáry je potvrzen výskyt tlakového napětí.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo posoudit stav napjatosti v místě styku tibie a talu pro nově navrženou metodu ztužení hlezenního kloubu tibiometatarsálním rámem pomocí numerické analýzy a fotoelasticimetrického měření.

Závěrem lze konstatovat, jak z hlediska provedené numerické a fotoelasticimetrické analýzy, tak podle lékařských výsledků, že metoda znehybnění hlezenního kloubu pomocí tibiometatarsálního rámu dává dobré výsledky pro široké použití v praxi.

Ing. Daniel RUBRICIUS, Ing. Jindřich KRATĚNA, CSc.
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, 182 00 Praha 8, Pod vodárenskou věží 4
tel.: 66 05 24 50, 66 05 28 46, fax.: 798 72 61