EAN '95

33rd Conference of Experimental Stress Analysis
33. konference o experimentální analýze napětí
5. - 8.6.1995, Třešť, Czech Republic

THE STATE OF STRESS OF THE ANKLE JOINT DURING ITS STABILIZATION
POPIS STAVU NAPJATOSTI HLEZENNÍHO KLOUBU PŘI JEHO ZNEHYBNĚNÍ

Daniel RUBRICIUS

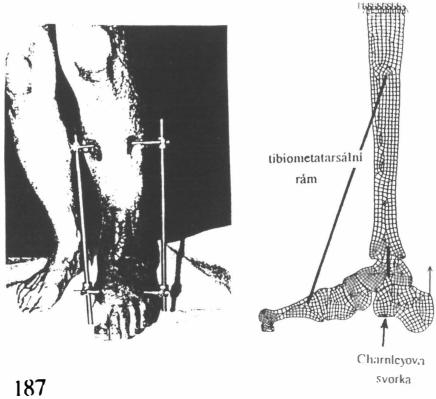
The new simple method of arthrodesis by means of a tibiometatarsal frame gives better results than hitherto used configurations of external fixation (Charnley's compression clamp). The proximal nail inserted into the diaphysis of the tibia is connected with a distal nail inserted into the base of metatarsal 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.

Úspěch aloplastik nosných kloubů (kolenní a kyčelní kloub) vedl k vývoji kloubní náhrady i pro hlezenní (tibiotalární) kloub. Výsledky totální náhrady tohoto kloubu však nesplnily očekávání [1].

Většina autorů [1] je názoru, že artrodéza představuje zatím bezpečnější způsob ošetření destrukcí hlezenního kloubu než dosud dostupné aloplastiky tohoto kloubu (obr.1). Proto artrodéza hlezna, která byla prvně popsána Albertem v roce 1879, zůstává uznávanou metodou při léčení primární i sekundární artrozy hlezna, revmatoidní artritidy, kongenitálních deformit, ankylozy v nepříznivém postavení a těžkých nestabilit hlezna.

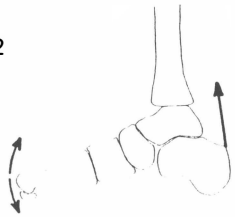
Společným problémem artrodéz hlezna je poměrně malá úspěšnost fúze. Oproti tomu vysoké procento velmi kladného hodnocení artrodézy samotnými pacienty svědčí pro tento způsob ortopedického ošetření. Nelze vyloučit, že na vysokém procentu neúspěchu se může podílet terminální typ arteriální cirkulace trochlea tali , ale podle názoru ortopédů, široký kontakt spongiozy resekovaných ploch tibie a talu představuje dobré podmínky pro kostní srůst. Proto příčina vyššího procenta neúspěchu artrodéz hlezna je spatřována pouze v nedostatečném nebo nesprávném řešení mechanického problému, tj. v neutralizaci tahových napětí v místě artrodézy [2].

Lidská noha funguje zjednodušeně jako dvojzvratná páka. Na kratší rameno páky (střed otáčení talu - úpon Achillovy šlachy) působí silový vektor musculus triceps surae, na delší rameno (střed otáčení talu - přednoží) flexory a extenzory nohy. Při artrodéze hlezenního kloubu se uplatňují nejvíce právě tyto síly v sagitální rovině.



Obr. 1

Obr. 2



Do plantární flexe je chodidlo tažené silou až 6400 N, tah svalů ve smyslu dorsální flexe dosahuje 1300 N (obr.2). Po operaci působí tyto síly proti stabilitě artrodézy a mohou negativně ovlivnit výsledek operace. Právě z tohoto důvodu je nutné volit takové metody, které stabilizují přednoží.

Zevní fixace byla k artrodéze hlezenního kloubu použita poprvé Charnleyem v roce 1951 a dnes představuje nejčastěji používaný způsob stabilizace. Dalšími, často používanými způsoby, jsou modifikovaná Charnleyova metoda (Čech), triangulární fixace a Ilizarova fixace.

V rámci spolupráce s ortopedickou klinikou byl podle požadavků ortopédů analyzován stav napjatosti na styku resekované tibie a talu a posouzeny z numerického hledika metody stabilizace artrodézy. Jejich nová metoda se modifikovaně vrací k původní Charnleyově představě tříbodové fixace jednorovinným rámem. Proximální hřeb, zavedený do diafýzy tibie, je spojen s distálním hřebem zavedeným do bazí metatarzů jednoduchou rámovou fixací (obr.1).

Lze konstatovat, že nová metoda stabilizace artrodézy hlezna tibiometatarsálním rámem nabízí jednoduchou operační techniku a minimum komplikací.

Úloha byla řešena numericky 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.

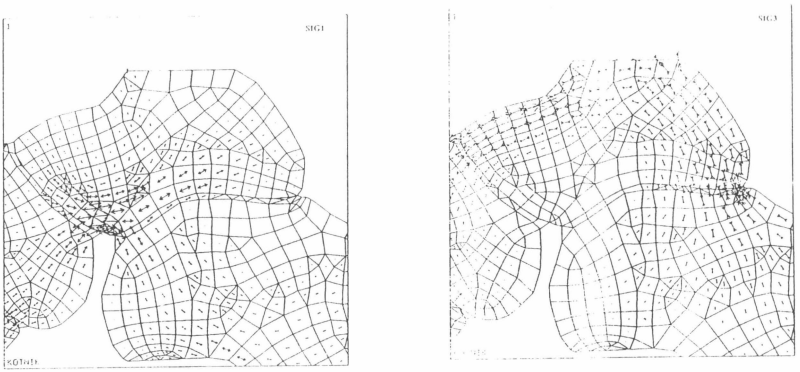
Problém byl řešen jako dvourozměrný, při použití prvků pro rovinnou napjatost. Mezi jednotlivými kostmi nohy je utvořena vrstva s materiálovými vlastnostmi chrupavky. V modelu jsou použity 3 typy prvků: dvourozměrný isoparametrický prvek, dvourozměrný kontaktní prvek a dvourozměrný prutový prvek. Oba modely se skládají z 1455 uzlových bodů a 1441 prvků.

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.

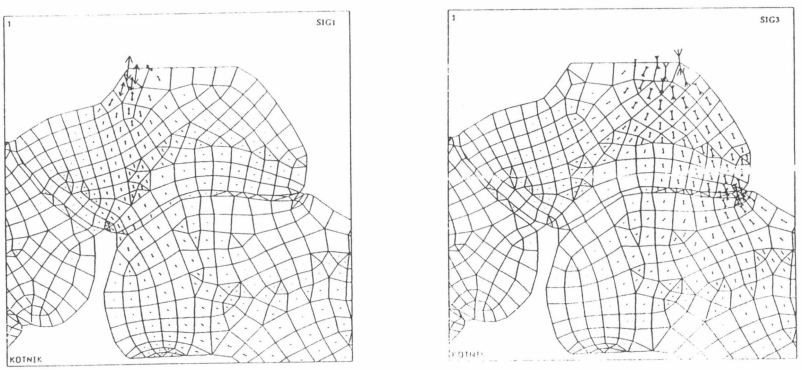
Výsledkem numerické analýzy je průběh napětí SIG1 (maximální hlavní napětí), SIG3 (minimální hlavní napětí), SXY (smykové napětí) a směry hlavních napětí (obr.3). Z porovnání výsledků vyplývá, že při použití Charnleyovy svorky dochází k výskytu maximálních hlavních napětích v přední třetině styku tibie 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.

Tibiometatarsální rám



Charnleyova svorka



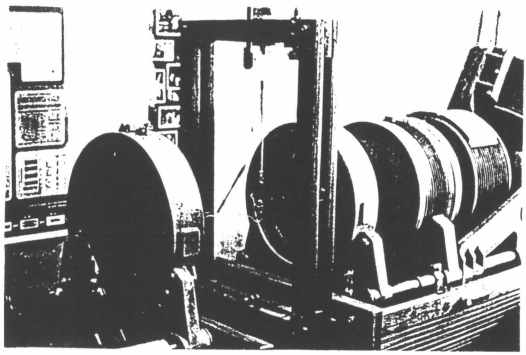
Obr. 3 Směry hlavních napětí

Model pro fotoelasticimetrická měření 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.

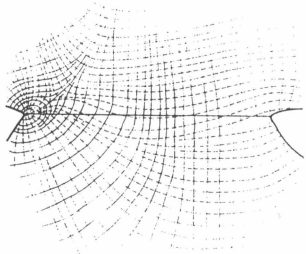
Pro Achillovu šlachu bylo též vyrobeno ocelové táhlo, které je upnuto v místě úponu Achillovy šlachy a v horní části modelu pomocí šroubu. Pro odečítání velikosti zatížení byl umístěn v táhle dynamometr ze stejného materiálu. Model byl zavěšen v

rámu pomocí otvoru v místě kolena do velkoplošného polariskopu typ FMB. Byla zvolena metoda transmisní fotoelasticimetrie (obr.4).

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.



Obr.4



Obr.5

Provedená fotoelasticimetrická analýza potvrdila závěry numerického modelování na styku resekovaných kostí. Při zatížení Achillovou šlachou nedochází k výskytu tahových napětí a významných koncentrací napětí. Obrázek izostat ukazuje složitější pole napětí pouze v malé oblasti přední části tibie v rovině sagitální (obr.5). Kvantitativně však ani tato lokalita není významná, což je opět v souladu s numerickým výpočtem.

Jak numerická analýza, tak fotoelasticimetrické měření potvrzují v této 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.

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.

Literatura:

[1] Richtr M., Sosna A., Ryšavý M.: Artrodéza hlezna tibiometatarsálním rámem. Acta Chirurgiae Orthopedicae, 1992, č.59, s. 272-279

[2] Rubricius D.: Analýza stavu napjatosti artrodézy hlezna tibiometatarsálním rámem. ÚTAM, Praha, 1995.

Ing. Daniel RUBRICIUS
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, 190 00 Praha 9, Prosecká 74
tel.: 88 39 34 l. 272, fax.: 88 46 34