



30th Conference of Experimental Stress Analysis  
30. konference o experimentální analýze napětí  
2. - 5. 6. 1992 ČVUT Praha Czechoslovakia

## PHOTOELASTICITY - A TOOL FOR BIOMECHANICS INVESTIGATION

## FOTOELASTICIMETRIE VE SLUŽBÁCH BIOMECHANIKY

Ing. Miloš Čenský, CSc., Ing. Václav Brož, CSc.

The report deals with applications of photoelasticity to solve the biomechanics problems in collaboration with orthopaedics clinics. It contains an example representing the stress distribution changes study after making the correction osteotomy with different surgical methods. The comparative study of two acetabular cup shapes (conic and hemispheric) and their influences to the stress distribution in surrounding bone is also mentioned.

Keywords : Biomechanics, Photoelasticity, Correction osteotomy, Prosthesis

### 1. Úvod

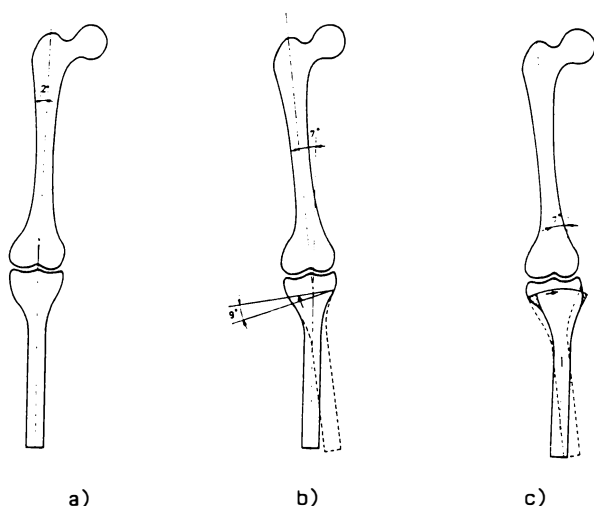
Využití fotoelasticimetrické metody pro řešení biomechanických problémů začalo na našem pracovišti před více než 20 lety, kdy nástupce profesora Tesaře, ing. Miloš Milbauer, provedl pro ortopéda MUDr. Aleše Ondroucha celkem jednoduché, ale významné studie napjatosti v kostech při různém způsobu použití šroubů při osteosyntéze. Vlastním popudem k této spolupráci byla skutečnost, že izochromaty pod soustředěným břemenem připomínaly dr. Ondrouchovi cysty v kostní hmotě, vznikající při některých chorobách či poúrazových nebo pooperačních stavech. Rozborem tohoto problému bylo konstatováno, že kost do určité hladiny namáhání odolává, případně se zesiluje. Přestoupí-li namáhání tuto hladinu, dojde k absorpci a kost z přetížené oblasti ustoupí.

Tento případ ilustruje jednu z hlavních předností fotoelasticimetrické metody, totiž její názornost, díky které i lidé nezasvěcení do fyzikálních zákonů metody vidí jasně vliv zatížení na namáhání konstrukce.

Postupem času se rozvinula spolupráce řady experimentálních pracovišť prakticky se všemi ortopedickými klinikami. V našich laboratořích jsme postupně řešili napjatost tibiální části při aplikaci umělého kolenního kloubu, podrobný výzkum napjatosti tibiálního platu prováděný metodou prostorové fotoelasticimetrie, dále dvě studie napjatosti po provedení korekční osteotomie v oblasti kolenního kloubu a vlivu způsobu provedení tohoto zákroku, vliv total-tibial platu Motorlet na namáhání tibie, dále rozdíl vlivu kónické a hemisferické jamky na napjatost pánevní kosti a konečně napjatost kostí lebky při nesymetrickém zatížení horní čelisti.

## 2. Výzkum změn napjatosti po provedení korekční osteotomie

Pokud osy femuru a tibie svírají úhel, který se od fyziologického úhlu (přibližně  $7^{\circ}$ ) nadměrně odchyloje (nad  $9^{\circ}$  je již velmi závažná odchylka), ztěžuje se pohyblivost pacienta, vada se poměrně rychle zhoršuje a chůze způsobuje pacientovi bolest. Tyto obtíže se dají odstranit či podstatně zmírnit provedením korekční osteotomie. Tato operace se provádí dvojím způsobem. Buď se z tibie případně femuru vyřízne klín odpovídající úhlu, o který je třeba polohu kostí vyrovnat, nebo se kost protne válcovým řezem a pootočením obou částí po takto vzniklé ploše o potřebný úhel se opět dosáhne žádaného výsledku.



Obr.1

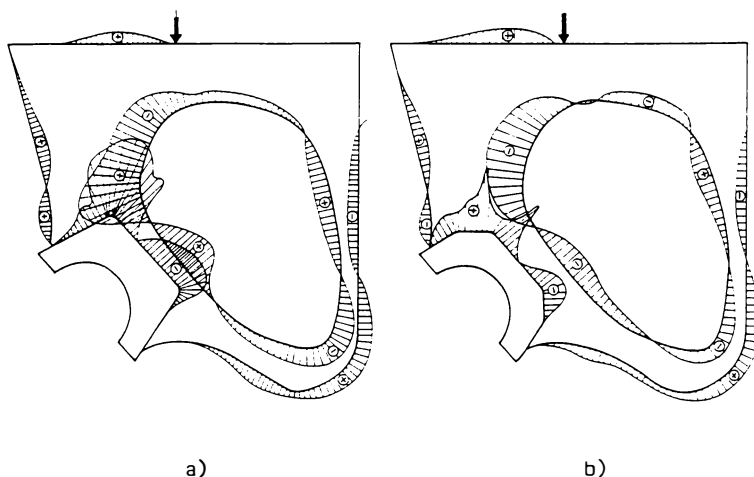
V obou případech je nutné novou polohu kostí do zhojení fixovat vhodnými prostředky osteosyntézy. Úkolem našeho výzkumu bylo jednak zjistit změnu napjatosti, která nastane po provedení této korekční osteotomie, jednak porovnat vhodnost obou používaných způsobů z hlediska napjatosti. Postup naší práce byl takový, že jsme podle rentgenového snímku pacienta před operací vyrobili první model. Další dva modely jsme vyrobili tak, že jsme na výkrese vykonstrovali jejich tvary stejně jako operatér - to jest jednou vyříznutím klínu, podruhé posunutím po válcové ploše do žádaného korigovaného tvaru a podle těchto výkresů jsme ze stejného materiálu jako u tvaru před operací vyrobili další dva modely. Tvary všech tří variant a schema jejich konstrukce jsou na obr.1a,b,c. Na těchto modelech jsme při stejném svislém zatížení zjistili fotoelasticimetrickou metodou průběhy izochromat celých a polovičních řádů a průběhy izoklin. Z celkového obrazu izochromat jsme vynesli průběhy obvodových napětí a z izoklin jsme vykreslili průběhy izochromatických křivek. Výsledky ukázaly jednak, že korekcí o úhel  $9^{\circ}$  se namáhání kostí snížilo o více než 30 % a dále, že rozdíly namáhání při klínovité a válcové korekční osteotomii jsou minimální, takže volba způsobu provedení se může řídit potřebami operatérů a jejich zkušenostmi. Při obou způsobech dojde k vyrovnání os do žádaného směru, takže osa femuru bude svírat s osou tibie úhel  $7^{\circ}$ . Při klínovité korekční osteotomii zůstává v horní části tibie osa blízko původní polohy, v dolní části se však musí značně odchýlit. Při válcovém provedení se osa tibie poněkud posune k mediální straně, tibie se musí v oblasti kolenního kloubu podstatně více přestavět, ale osa zůstává celkově blíže původnímu postavení, což může mít příznivý vliv na postup rehabilitace.

### 3. Porovnávací studie dvou typů jamky necementované kyčelní endoprotézy

Pro možnost praktického využití kónické kyčelní jamky československé výroby, která je z ekonomického hlediska značně výhodnější, bylo třeba porovnat její vliv na napjatost pánevní kosti s působením dosud používané zahraniční hemisferické jamky.

Za tím účelem jsme podle rentgenového snímku vyrobili z materiálu BZM tloušťky 9 mm dva modely pánevní kosti, do nichž jsme vložili zvláště vyrobené rovinné elementy ve tvaru středního řezu obou porovnávaných typů jamky. Na každém z těchto modelů jsme pak zjistili průběhy izoklin a izochromat při osmi různých polohách zatěžovací síly. Větší počet zatěžovacích stavů jsme zvolili proto, aby byla vystižena napjatost při všech možných kombinacích pohybové aktivity, které prakticky přicházejí v úvahu. Z celkových obrazů izochromat byly vyneseny průběhy obvodových napětí,

kteřé podávají dostatečně přesný názorný obraz o rozložení a velikosti namáhání. Dále byly z obrazů izoklin vyneseny průběhy izostatických křivek, které ukazují způsob roznášení sil z femuru přes kyčelní kloub a umělou kloubní jamku do pánevní kosti. Vyhodnocení výsledků ukázalo velmi názorně změnu napjatosti pánevní kosti v závislosti na změně směru působící síly. Dále se prokázalo, že napětí na styku jamky s kostí nevykazují podstatné rozdíly ve velikosti koncentrací napětí. Kónická jamka vytváří pochopitelně maxima v oblasti poloměru mezi kónickou stěnou a rovným dnem jamky. U hemisferické jamky jsou přibližně stejně velká maxima v ostrém přechodu mezi částí kulovitou a kónickou stěnou opatřenou závitem. Pro názornější představu uvádíme na obr.2a,b průběhy napětí od kónické a hemisferické jamky alespoň při jednom směru zatížení.



Obr.2