



Prelom vrata butne kosti

Biomehanički eksperiment

Branko Ristić

План истраживања

1. Postavljanje istraživačkog pitanja

Na koja pitanja će studija tražiti odgovor?

2. Utvrđivanje smislenosti istraživačkog pitanja

Zašto je istraživačko pitanje bitno?

3. Izabrati vrstu studije

Kako strukturirati studiju?

4. Odrediti ispitanike (kriterijumi za selekciju, uzorkovanje)

Ko su ispitanici, i kako će biti izabrani?

5. Odrediti varijable (nezavisne varijable (uzroci), zavisne varijable (ishodi), “zbunjujuće varijable”)

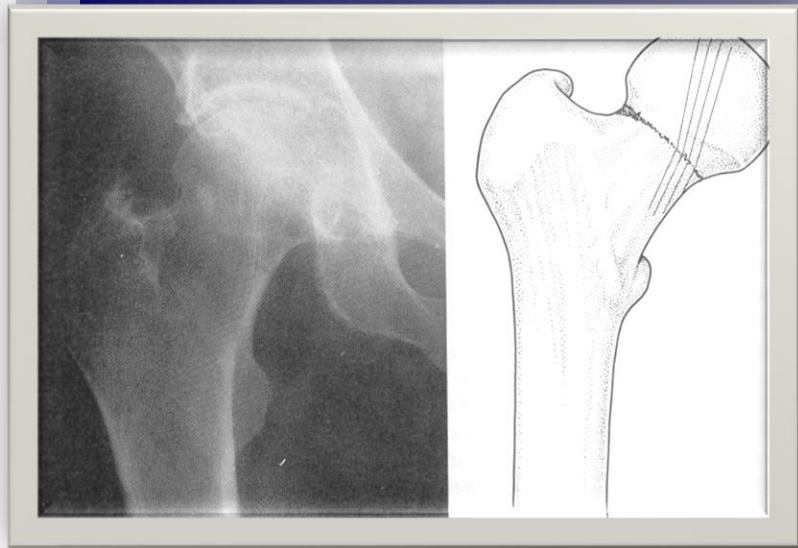
Koja merenja će se raditi?

6. Statistička pitanja (hipoteza, veličina uzorka, vrsta testa)

Koliko je veliki uzorak i kako će se analizirati?

Prelom vrata butne kosti

- veliki ortopedsko-hirurški problem
- veoma retko zarasta kada se leči neoperativnim metodama
- hirurški način lečenja je skopčan sa velikim brojem komplikacija i neuspeha u lečenju
- "nerešen prelom (the unsolved fracture)"
/Dickson 1953./

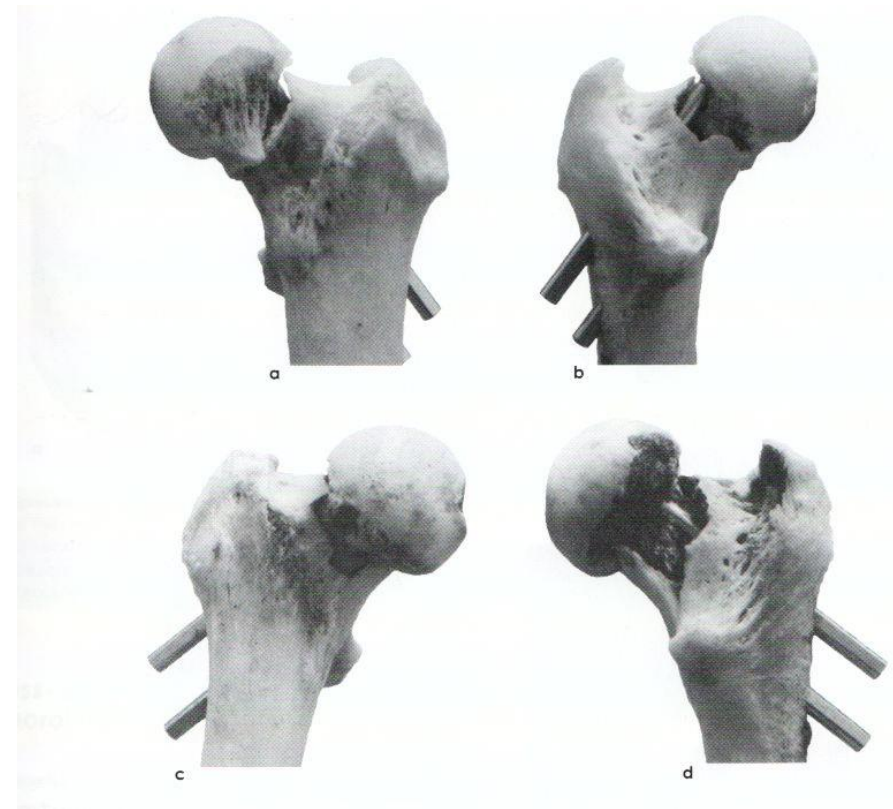


Prelomi bez dislokacije

- četvrtina svih intrakapsularnih preloma;
- niži nivo nezarastanja i avaskularne nekroze;
- **osteosinteza je metoda izbora**
- konzervativni tretman
- primarna aloartroplastika kuka nije indikovana, osim kod izražene artroze kuka.

Prelomi sa dislokacijom

- delimičan ili potpuni gubitak **vaskularizacije glave femura**
- loše biomehaničko okruženje:
 - kominuciju korteksa
 - impakciju spongiozne kosti
 - problem odgovarajuće koaptacije prelomnih fragmenata i njeno održavanje do zarastanja preloma.



Prelomi sa dislokacijom

Odluka o izboru lečenja zavisi od brojnih faktora

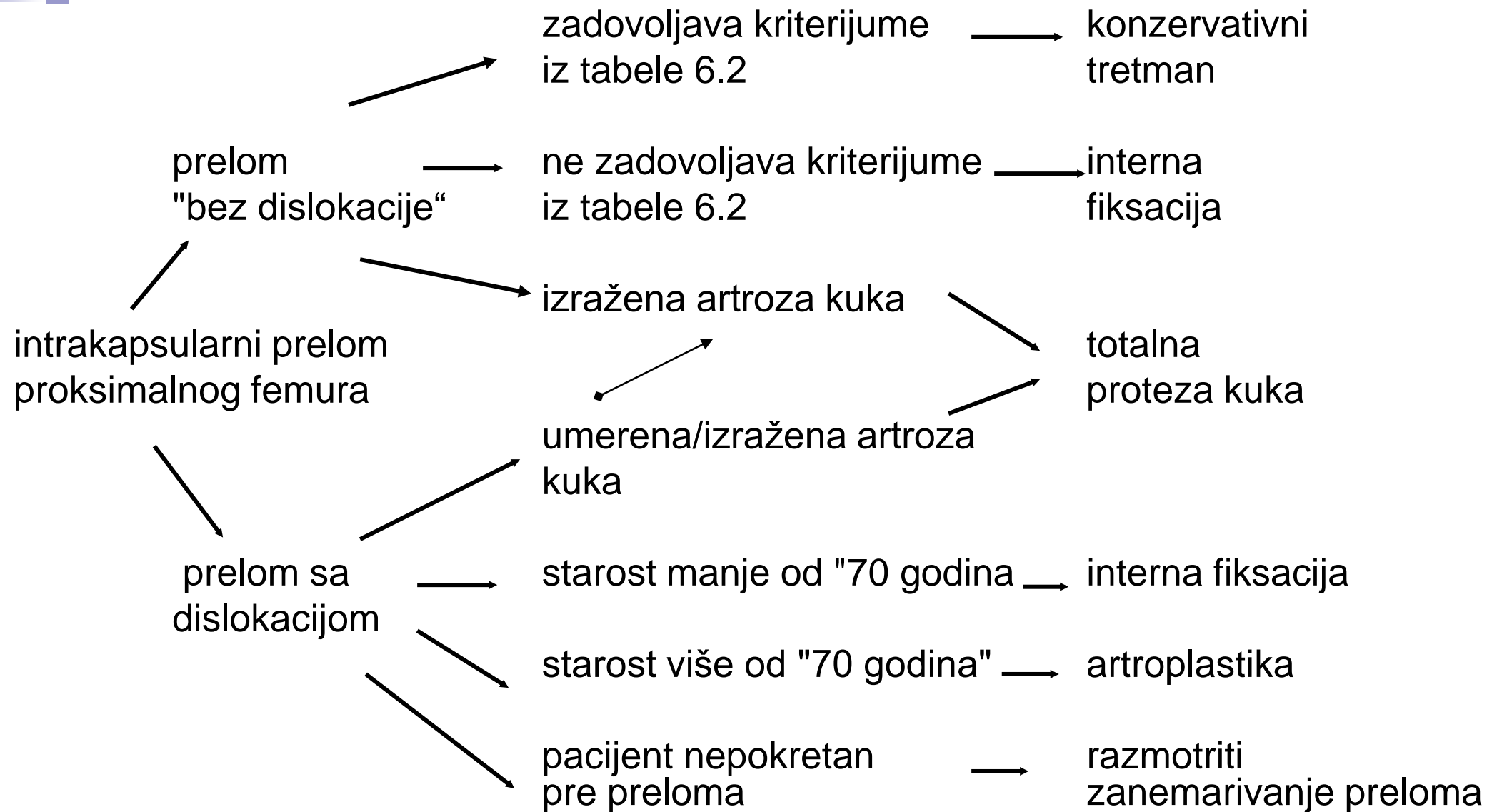
- **stanje bolesnika:**
 - starost, pokretljivost, funkcionalni, fizički i mentalni status, sposobnost da prihvati rehabilitacioni tretman;
- **karakteristike samog preloma:**
 - nivo dislokacije, kominucije, osteoporoze i "starost" preloma;
- **“ortopedska škola”, ustanova i opredeljenje hirurga**

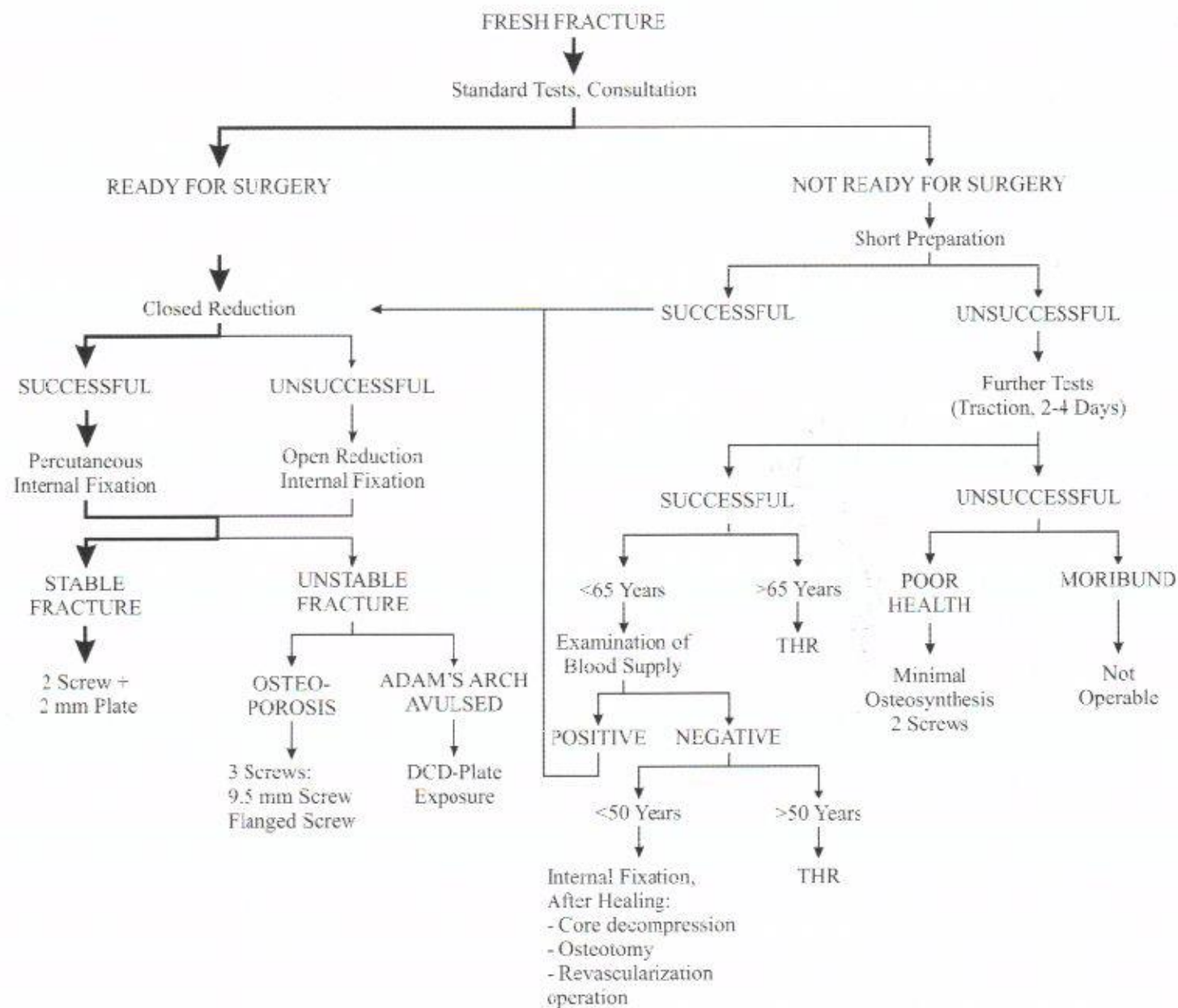
Neslaganja

u pogledu optimalnog hirurškog tretmana preloma sa dislokacijom koštanih fragmenata.

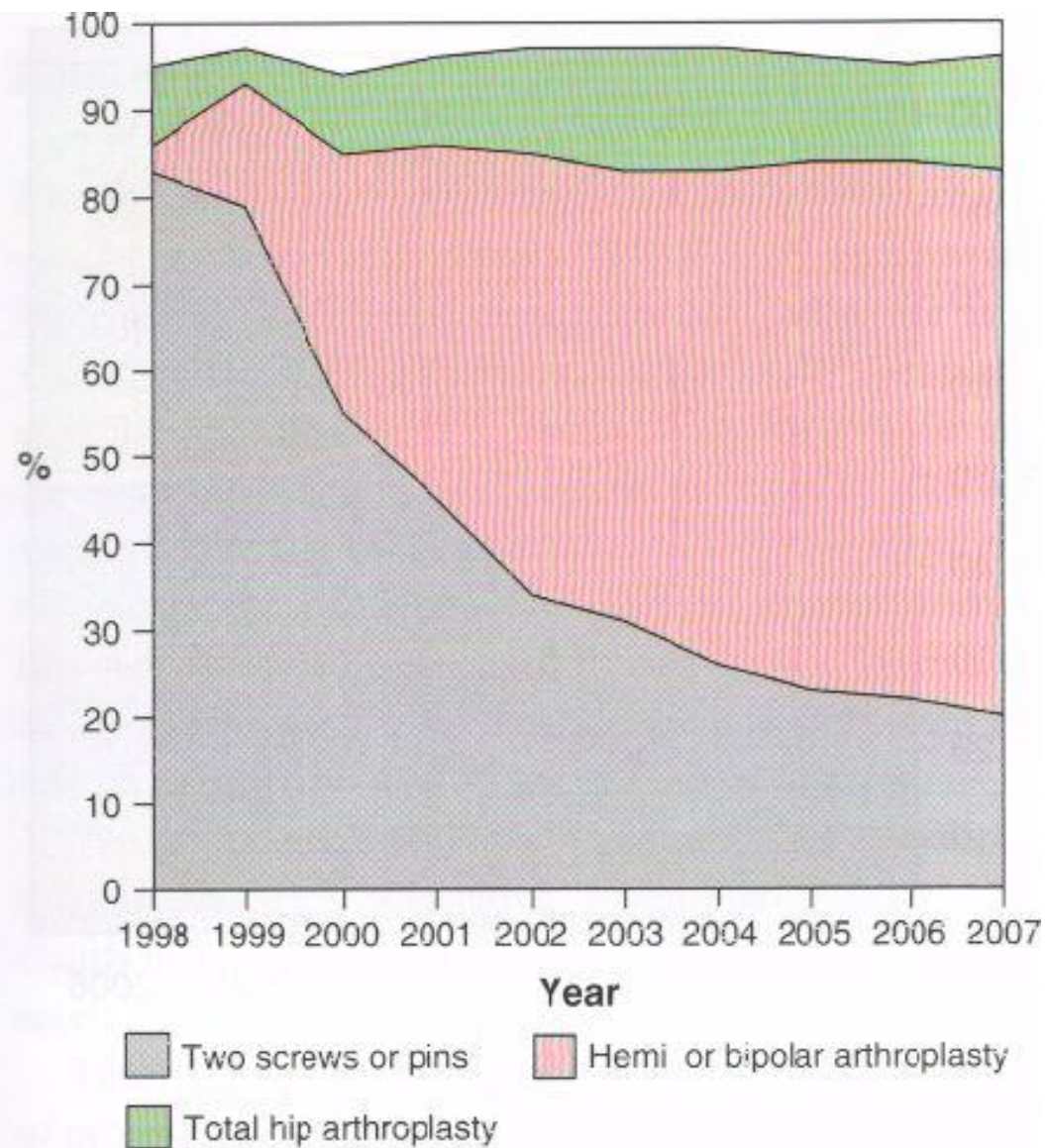
Dve osnovne dileme su:

- osteosinteza ili aloartroplastika**
- tip implantata za unutrašnju fiksaciju**





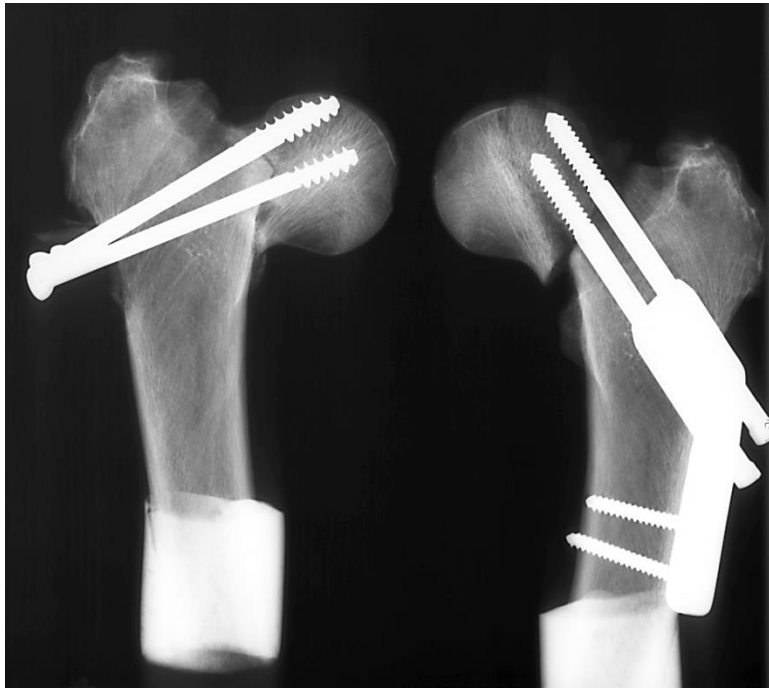
Švedski nacionalni registar



Komplikacije osteosinteze

- 1. Rani gubitak stabilne fiksacije preloma**
- 2. Nezarastanje preloma – pseudoartroza**
- 3. Avaskularna nekroza glave femura**

Komplikacije osteosinteze

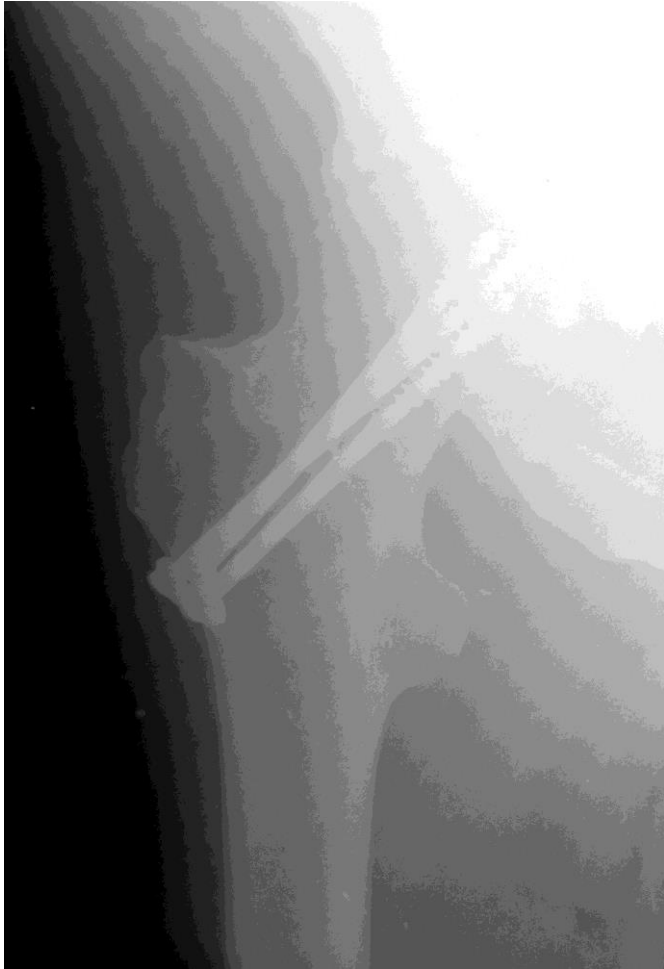


Glavni faktori koji se navode kao uzroci nezarastanja intrakapsularnih preloma su:

vrsta preloma,
stepen kominucije,
osteoporoza i
starost pacijenta.

Stabilnost osteofiksacionog sistema u ranoj fazi oporavka pacijenta ima presudan uticaj na **processe zarastanja i revaskularizacije.**

Komplikacije osteosinteze



Najbitniji faktor u zarastanju preloma vrata butne kosti na koji **hirurg može neposredno da utiče** je postizanje dobre repozicije i stabilne fiksacije.



Komplikacije osteosinteze

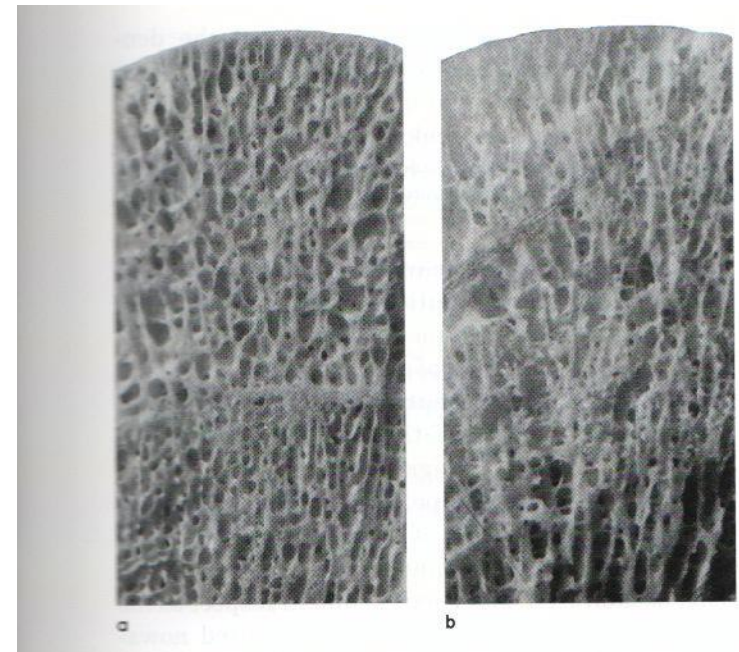
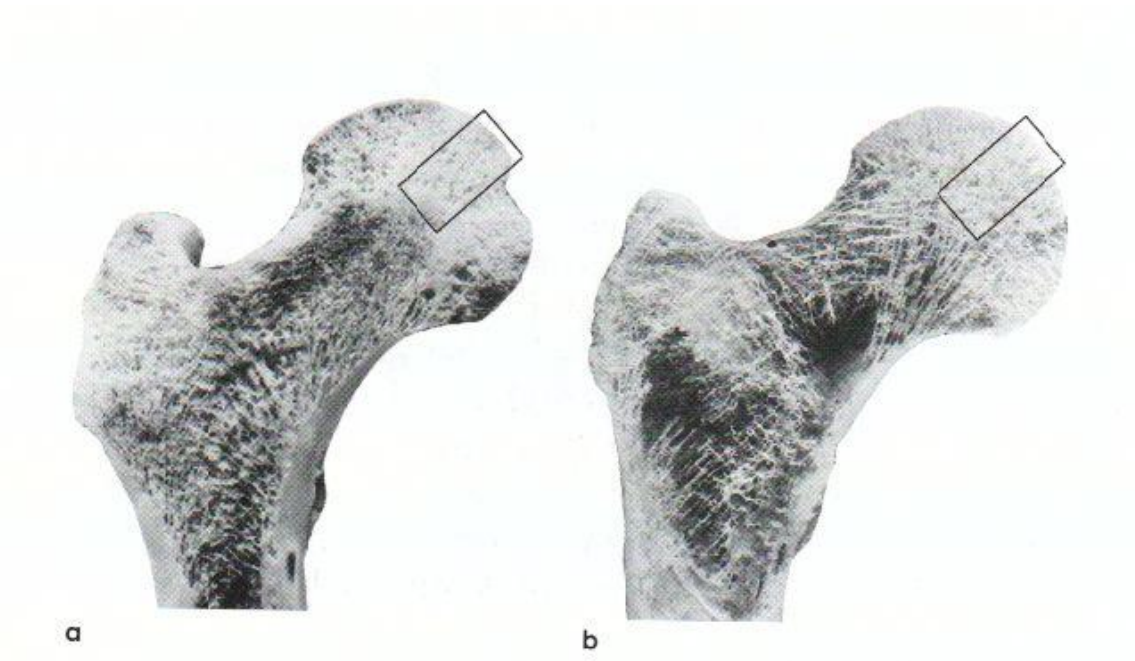


Stabilnost preloma zavisi od:
kvaliteta koštanog tkiva (osteoporoza i
kominucija),
kvaliteta repozicije preloma,
dizajna implantata i
pozicije fiksacionog materijala

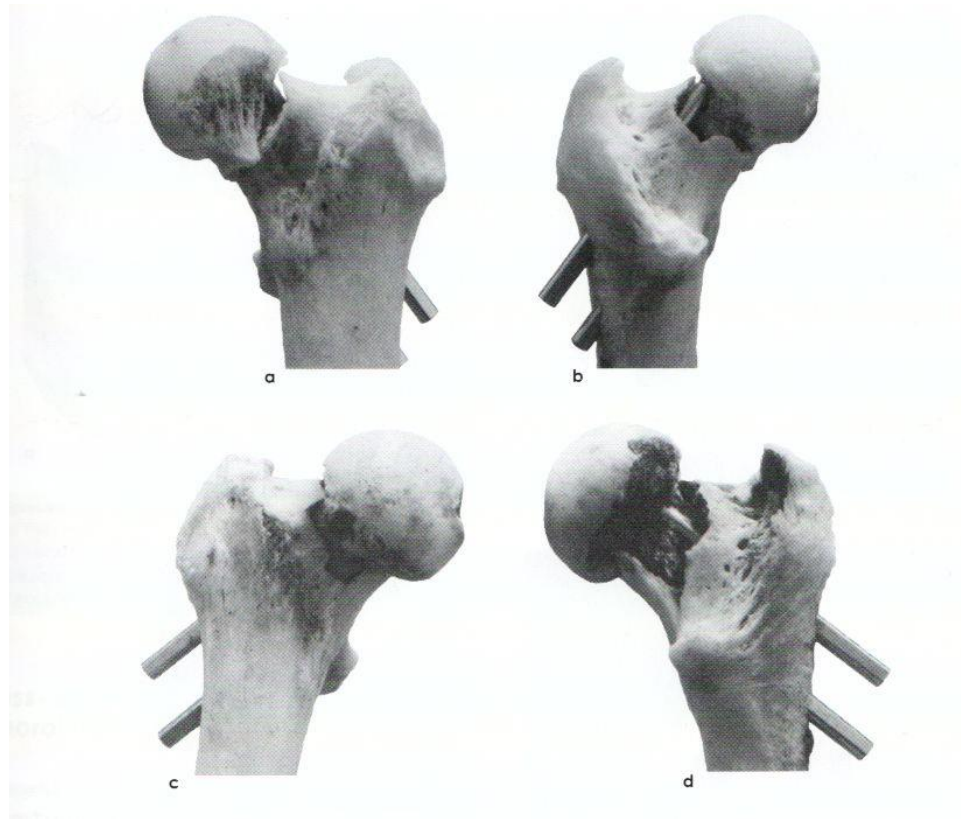
Pored *znanja i veštine hirurga*,
izbor implantata ima presudnu ulogu u
stabilnosti;

neki implantati obezbeđuju bolju stabilnost
preloma i u nepovoljnim uslovima (neadekvatna
repozicija, loš kvalitet koštanog tkiva, kominucija
preloma i dr.).

Osteoporoz

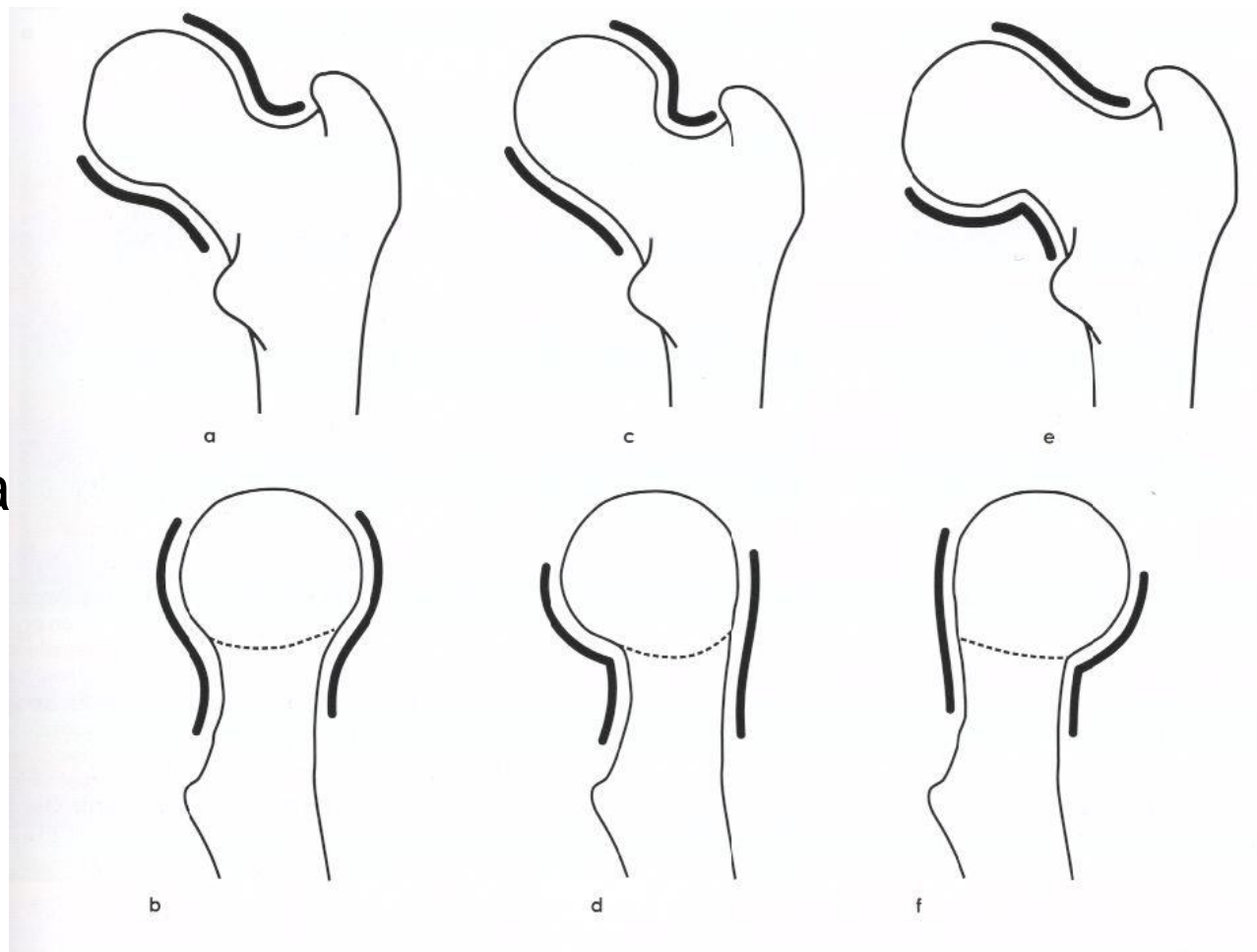


Kominucija



Repozicija

najvažniji deo
operativnog zahvata



Repozicija - Garden alignment index

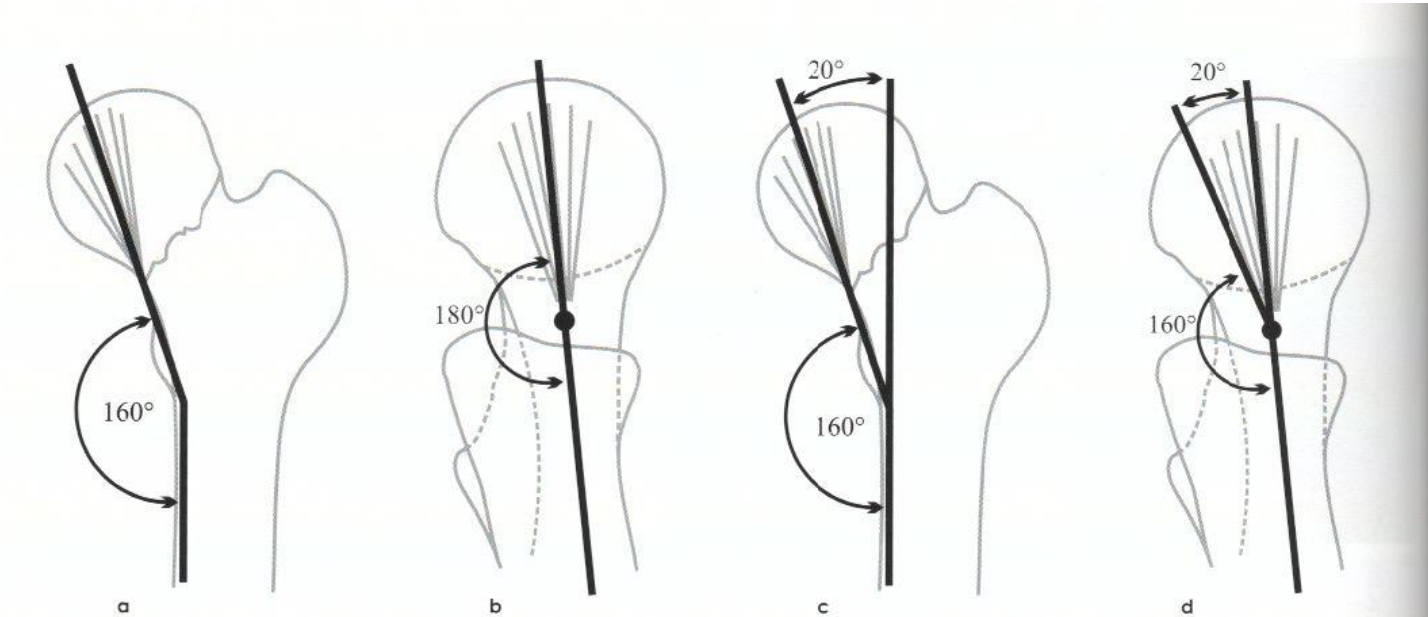
AP

■ Dobro

- Anatomska repozicija
- Valgus do 180

■ Prihvatljivo

- Varus –valgus 150 – 190
- Impakcija ili trakcija do debljine korteksa
- Medijalni *gap* do 3 mm



Profil

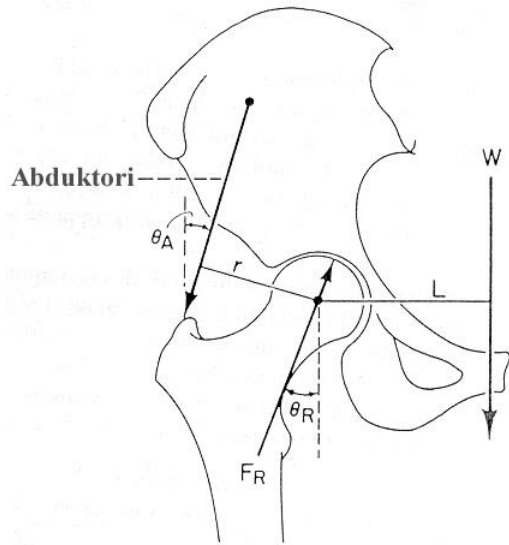
Dobro

- Anatomska repozicija
- Antekurvatum do 170

Prihvatljivo

- Antekurvatum do 160
- Rekurvatum do 190
- Rotacija do 1/4

Izbor implantata



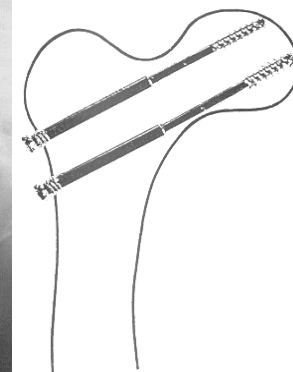
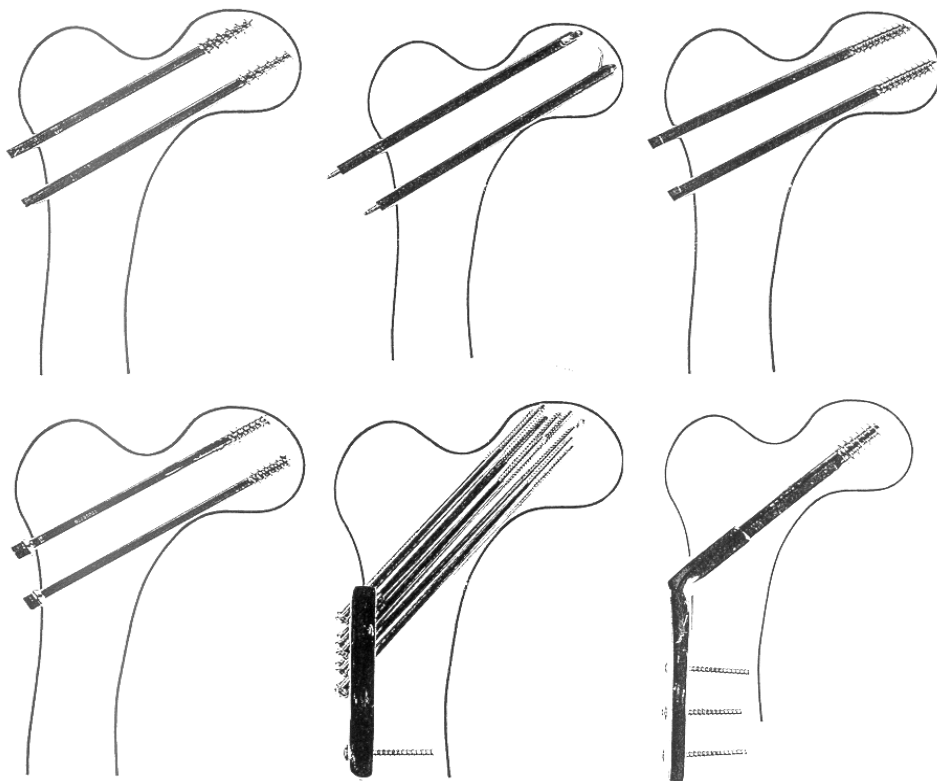
- Osnovna funkcija implantata je da zadrži koštane fragmente u reponiranom odnosu do zarastanja preloma.
- ne smeju da se ugroze procesi zarastanja i vaskularizacija glave femura.

Osteosintetsko sredstvo mora da održi stabilnost preloma tako što će da:

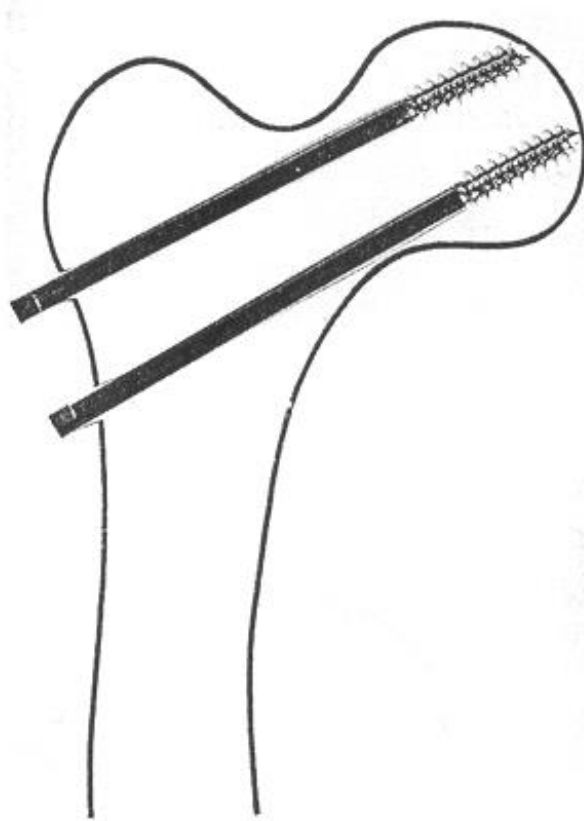
- neutrališe dejstvo sila koje deluju na kuk (load bearing) ili
- da dejstvo sila usmerava tako da se dobije impakcija prelomnih površina i oslonac kost na kost (load sharing).

Implantat mora da izdrži **višestruko veće sile od težine** tela kojima je zglob kuka izložen prilikom hoda.

Izbor implantata



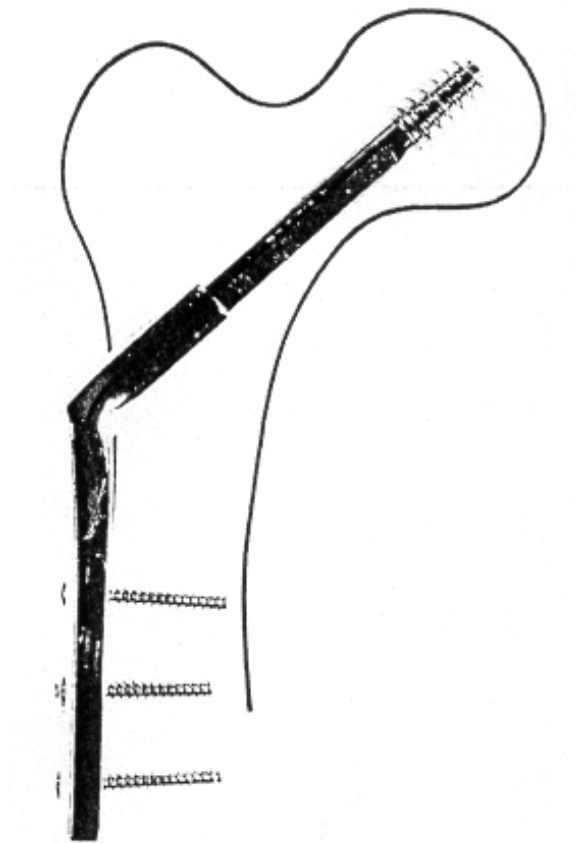
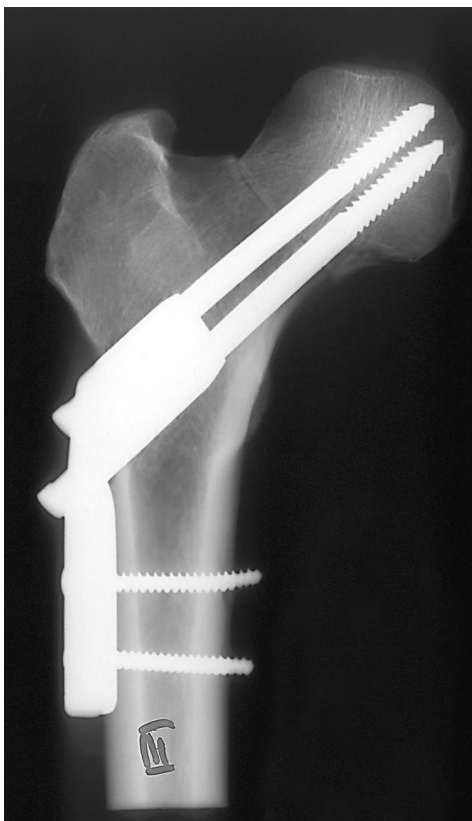
Izbor implantata



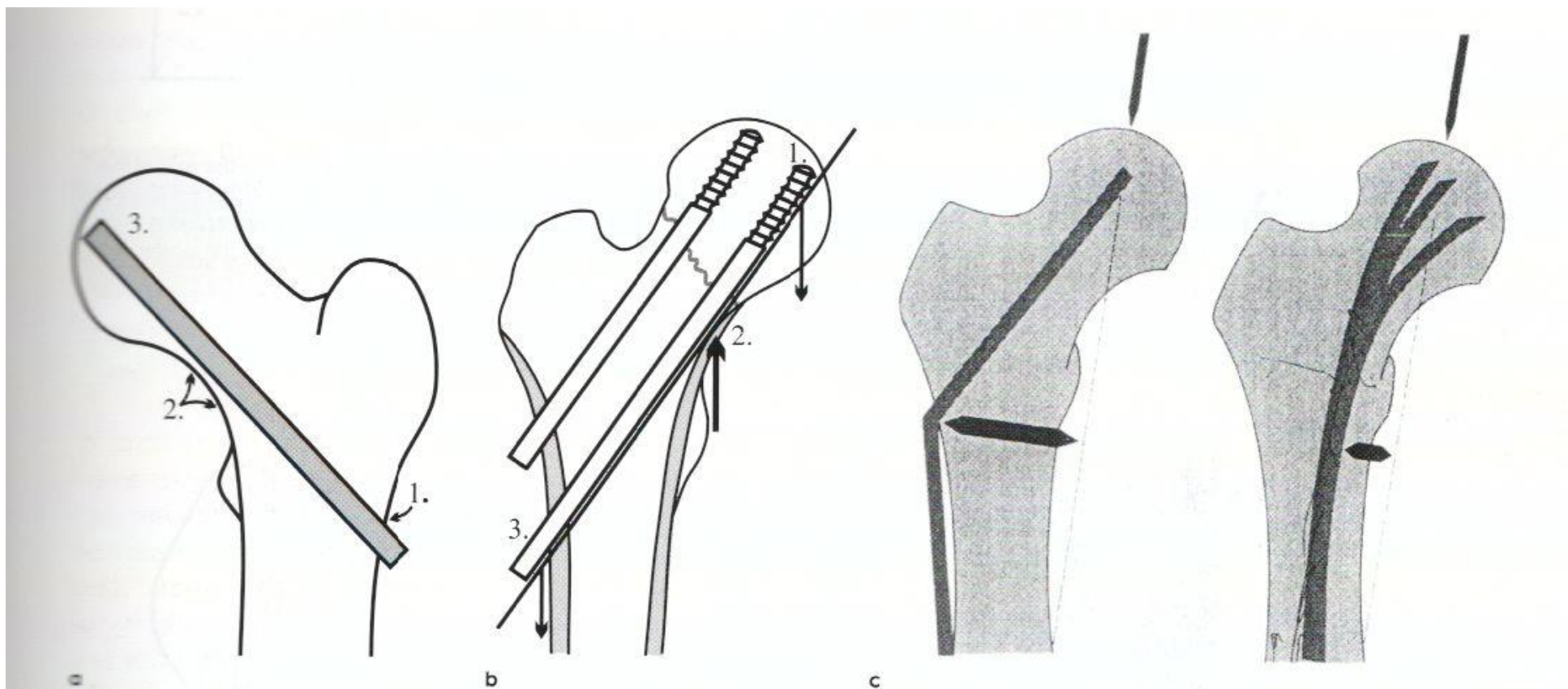
Fiksacija paralelnim zavrtnjevima predstavlja danas najčešće korišćeni metod

- aplikacija je relativno jednostavna i atraumatska
- navoji na vrhu smanjuju rizik od proboja u acetabulum.
- bolji rezultati u lečenja u odnosu na druge metode
- neslaganja po pitanju optimalnog broja zavrtnjeva (2 do 4) i njihovoj veličini

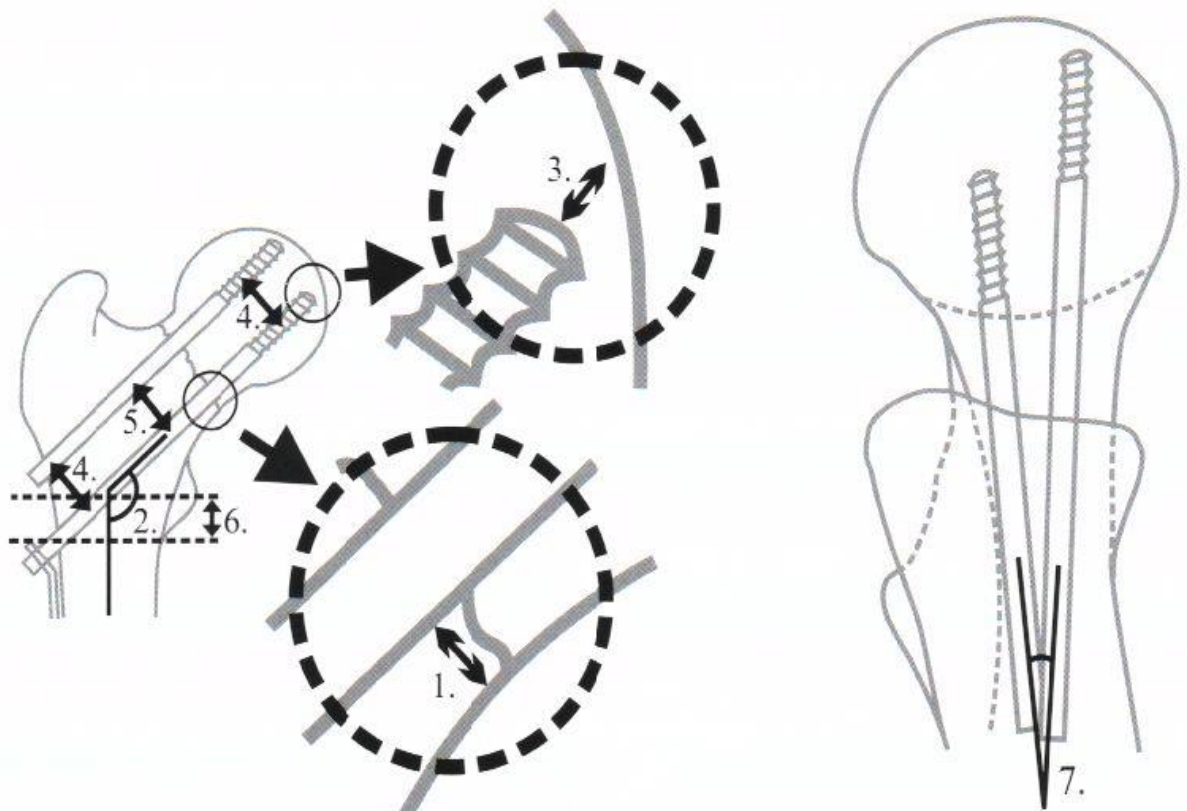
Izbor implantata - DHS



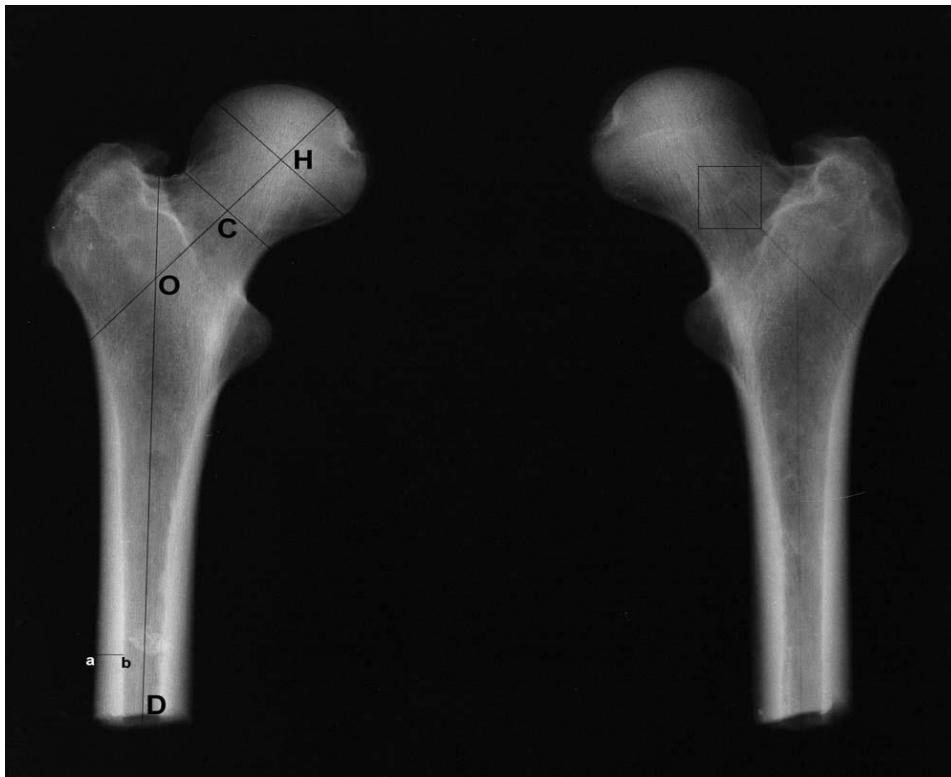
Princip 3 tačke oslonca



- 1 do 1 mm
- 2 SDAA 135 – 145
- 3 SCD 1mm
- 4 CDS 2 mm
- 7 0-5 st



Uzorak



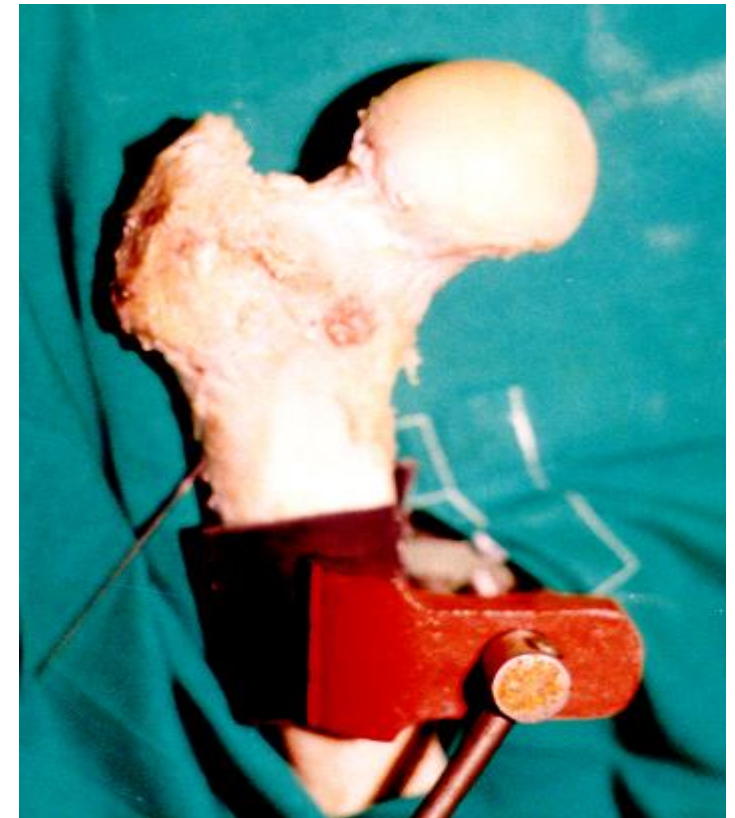
Razlike između levih i desnih femura uzetih sa istog kadavera :

- merenje osnovnih anatomske karakteristika;**
- upoređenje relativne gustine koštanog tkiva**
- određivanje čvrstine intaktne kosti (u N/mm)**

Metodologija

Tehnika ugradnje 3 SPZ:

- pod uglom od 135° uvede se K-igla sa lateralne strane proksimalnog femura u visini malog trohantera, odmah iznad medijalnog korteksa vrata, a centralno postavljena u sagitalnoj ravni.
- kanuliranom burgijom i ručnom frezom preko K-žice se napravi ležište za zavrtnj odgovarajuće dužine.
- dva proksimalna zavrtnja se plasiraju na isti način

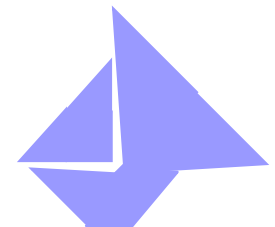


Metodologija

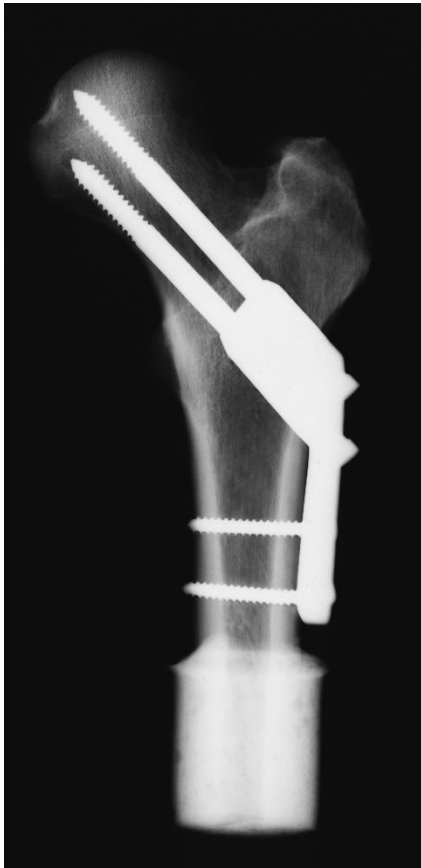


Kod svih preparata postignuto je:

- da su vrhovi zavrtnjeva plasirani u **subhondralnoj zoni** glave femura;
- da su navoji locirani medijalno od planirane osteotomije;
- da su zavrtnjevi plasirani u **triangularnom rasporedu (jedan zavrtnj distalno i dva proksimalno)** i postavljani paralelno, uz maksimalno odstupanje od 5 stepeni;
- da distalni zavrtnjevi leže uz medijalni korteks vrata, odnosno da imaju tzv. **medial calcar support**.

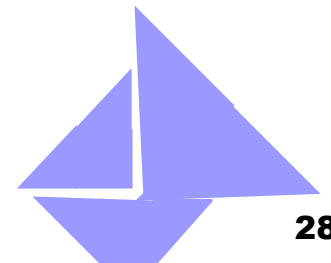


Metodologija



Kod svih preparata postignuto je:

- da su vrhovi zavrtnjeva plasirani u subhondralnoj zoni glave femura;
- da su navoji locirani medijalno od planirane osteotomije;
- da distalni zavrtnjevi leže uz medijalni korteks vrata, odnosno da imaju tzv. medial calcar support;
- paralelnost zavrtnjeva obezbeđuje dizajn implantata.



Metodologija

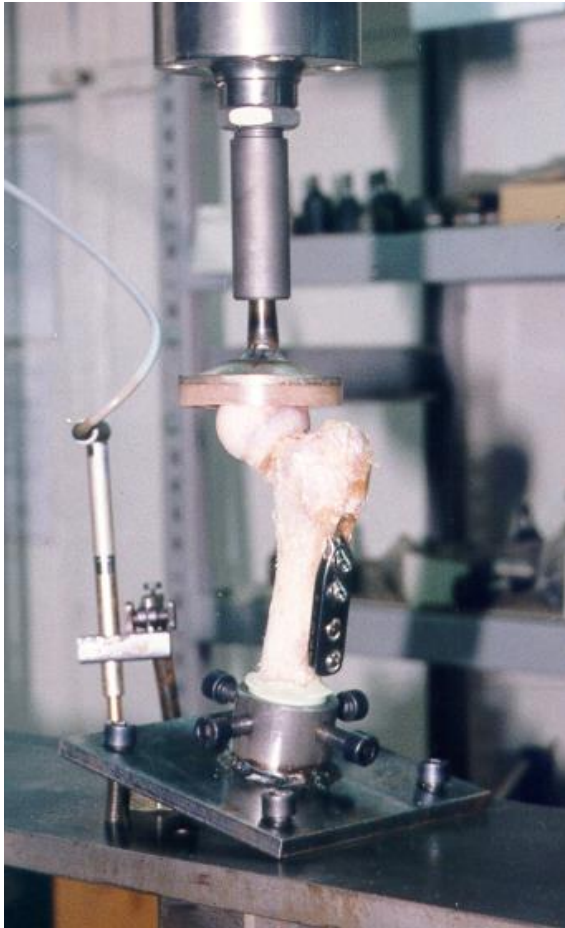


Osteotomija je vršena (nakon vađenja implantata) testerom upravno na uzdužnu osovinu vrata butne kosti na sredini između hrskavice glave i intertrohanterne linije .

Po izvršenoj osteotomiji urađena je anatomska repozicija; u prethodno napravljena ležišta su plasirani zavrtnjevi i učinjena sinteza preloma

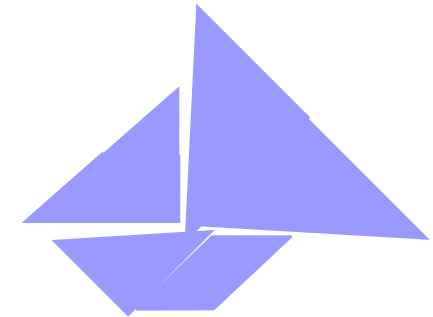
Kompresija na mestu osteotomije je dozirana tako da se postigne kontakt između prelomnih površina

Metodologija



Prvo je preparat podvrgnut jednom ciklusu opterećenja od 1500N, da bi se odredio početni varus pomak (displasman) glave femura, kao i da bi se odredila preostala čvrstina preparata (u odnosu na čvrstinu intaktne kosti) izražena u %.

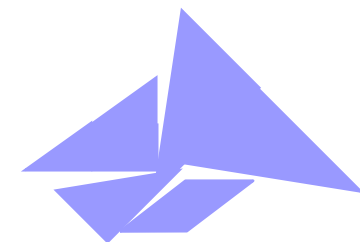
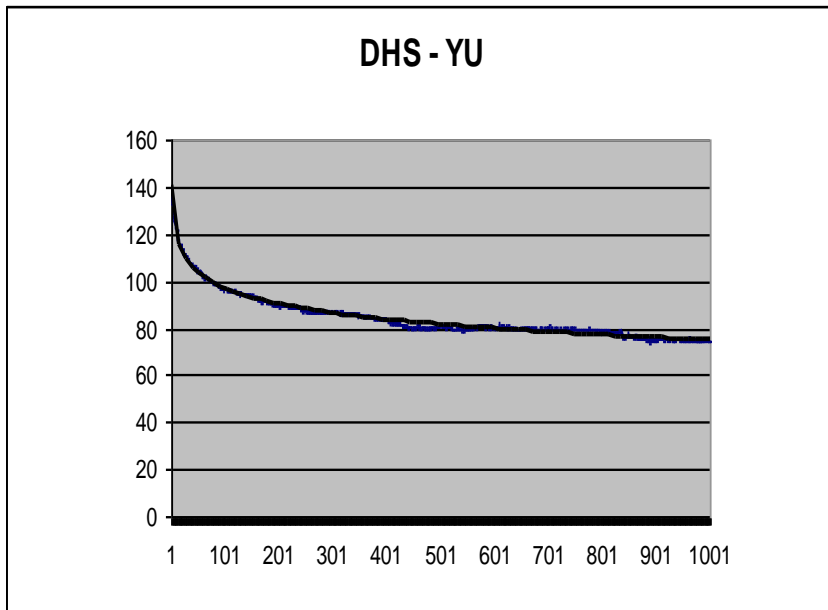
Vršno aksijalno opterećenje od 2,2 težine tela (1500 N) odgovara opterećenjima koje trpi proksimalni femur pri brzom hodu ili uspinjanju uz niske stepenice.



Test cikličnog opterećenja

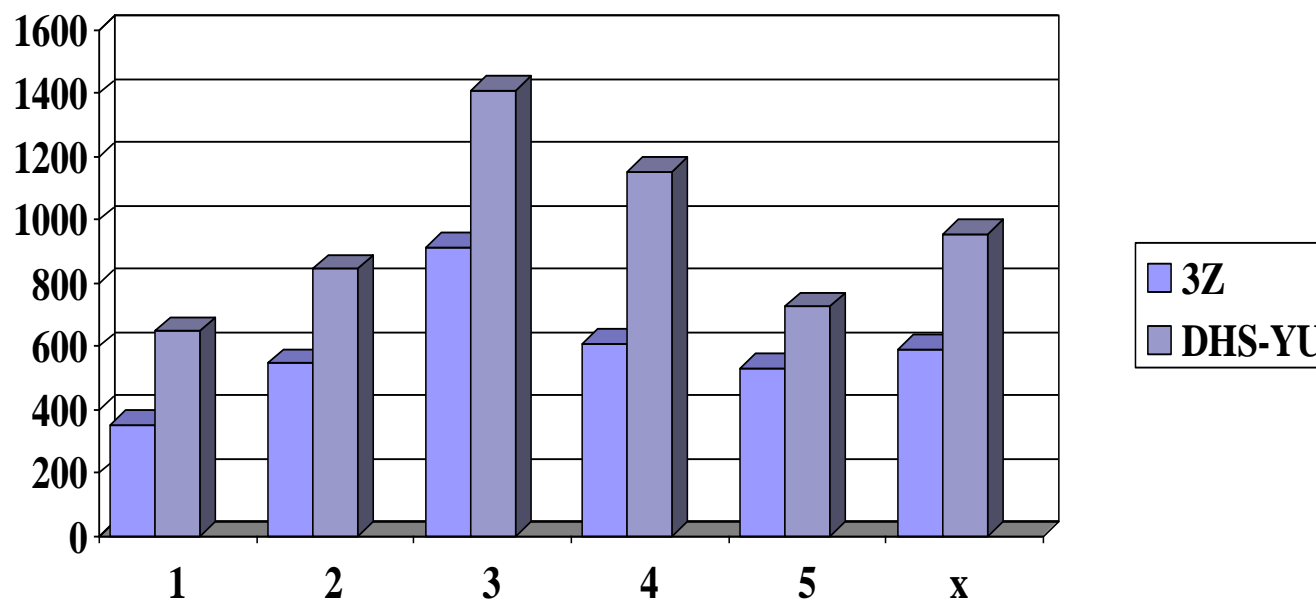
Zatim sledi 1000 ciklusa opterećenja na prethodno određenom pomaku aktuatora (pokretača), brzinom od jednog Hertz-a.

Kako je pomak aktuatora konstantan, vršna sila se smanjuje u svakom narednom ciklusu i stoga je to indirektna mera varus pomaka, slična onom pomaku koji se viđa i kod pacijenata sa osteosintezom preloma kuka.



Rezultati

Prosečna vršna sila

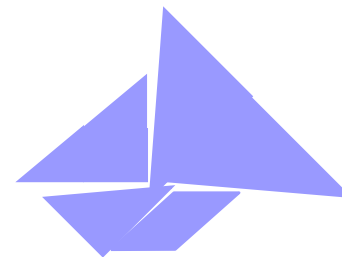


Prosečna vršna sila se izračunava zbrajanjem najviših vrednosti sila izmerenih u svakom ciklusu opterećenja podeljenom sa brojem ciklusa.

$$X_{sr} (DHS) = 955,96 \text{ N}$$

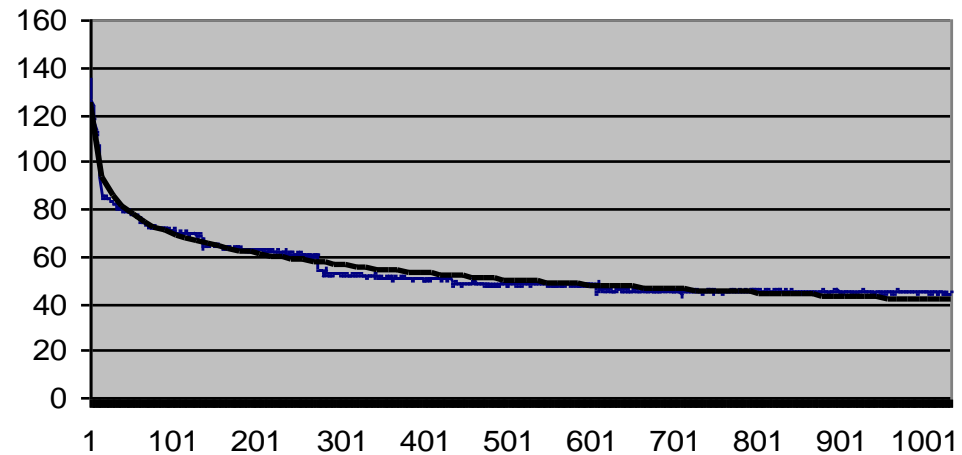
$$X_{sr} (3Z) = 591,2 \text{ N}$$

$$P < 0.01$$



Izbor implantata

3 zavrtnja



Vrednosti vršnih sila opadaju logaritamski tokom cikličnog testa kod svih preparata.

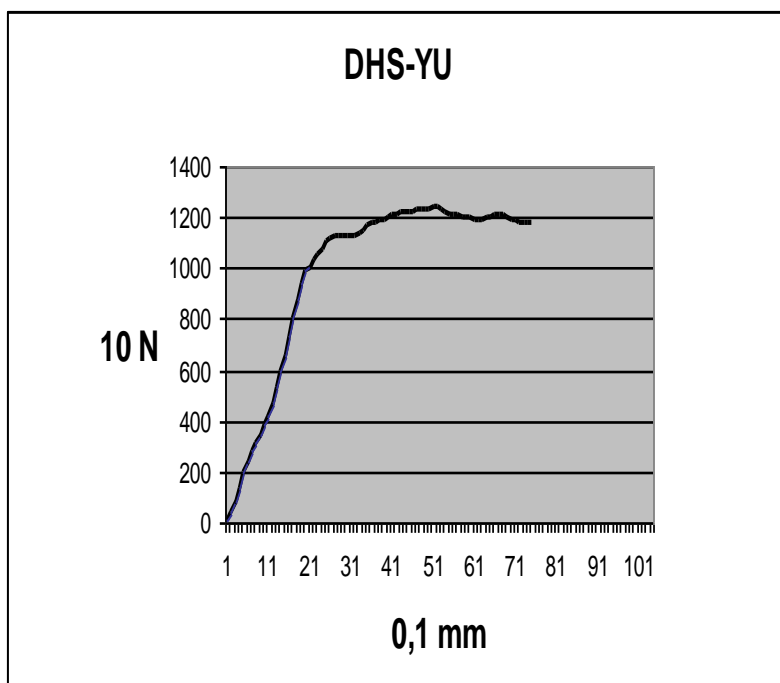
Tipično je da u prvih 100 ciklusa dolazi do velikog pada vršne sile, a zatim se kriva ustaljuje na određenoj vrednosti sa minimalnom tendencijom pada.

■ Uzrok smanjenja vršne sile je

- impakcija koštanih fragmenata na mestu preloma (kod obe grupe) i/ili
- varus pomak glave usled rotacije zavrtnjeva u transverzalnoj ravni kroz trabekularnu kost vrata (u grupi preparata fiksiranih sa 3Z)
- Kod jednog preparata (DHS-YU) uzrok pomaka je bila i početna protruzija zavrtnja kroz glavu femura.

- ***Dinamička ispitivanja*** su pokazala da dinamički ugaoni implantat ostvaruje značajno bolju stabilnost fiksacije preloma vrata butne kosti od fiksacije sa 3 paralelna zavrtnja ($p = 0.0027$) .

Izbor implantata

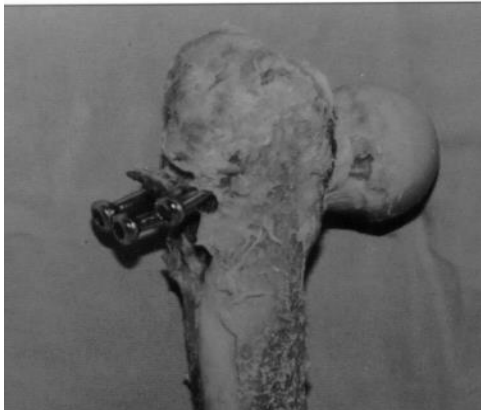
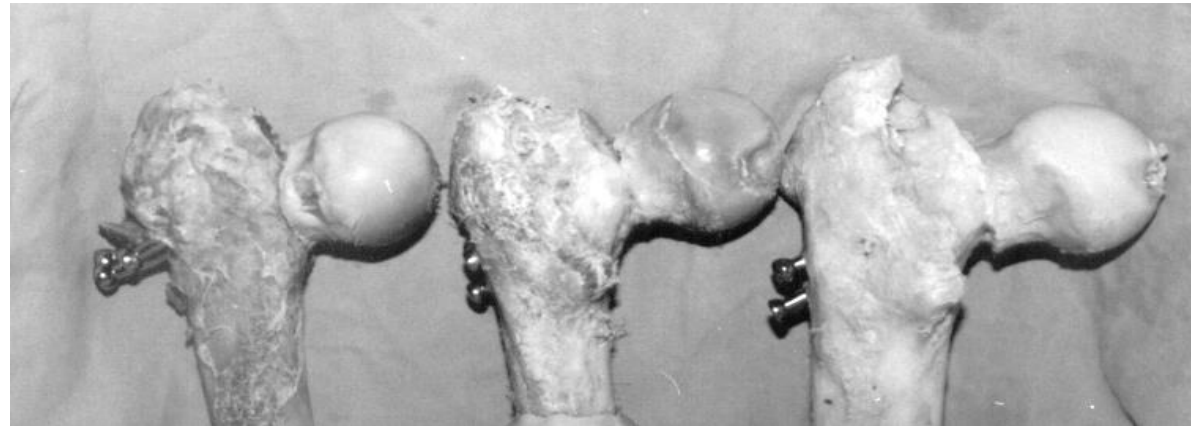


Maksimalna sila koju može da izdrži fiksacija preloma vrata kadaveričnog femura iznosi od 3025 N do 12236 N.

Svi uzorci su izdržali značajno veća opterećenja nego što je opterećenje koje trpi proksimalni femur u toku hoda ili uspinjanja uz niske stepenice.

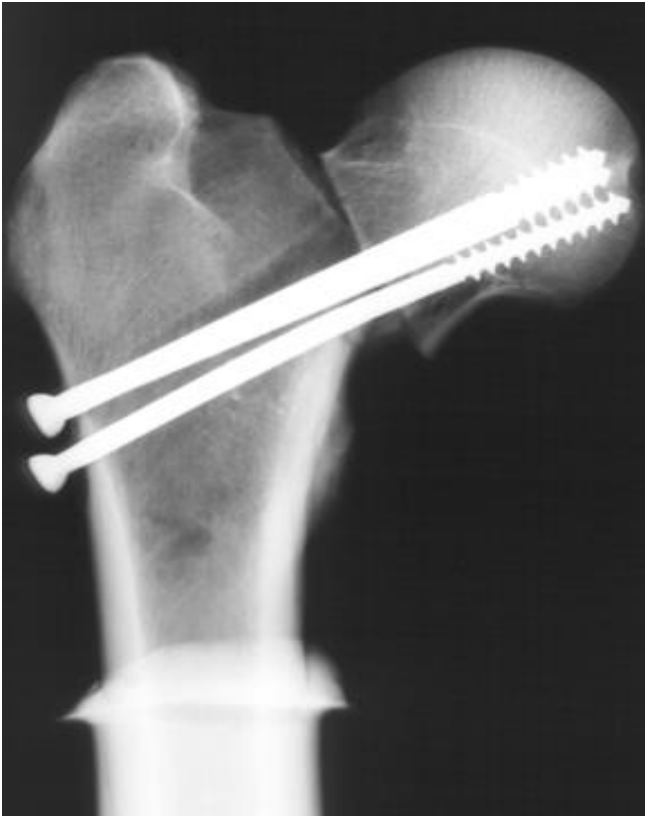
Prosečna vrednost sile maksimalnog opterećenja je 4386 N za 3Z, odnosno 8335 za DHS-YU ($p = 0.02$).

Mehanizam sloma



- dislokacija glave nadole,
- varus angulacija i rotacija glave
- migriranja distalnog pola zavrtnja kroz lateralni korteks ka velikom trohanteru ("toglling")

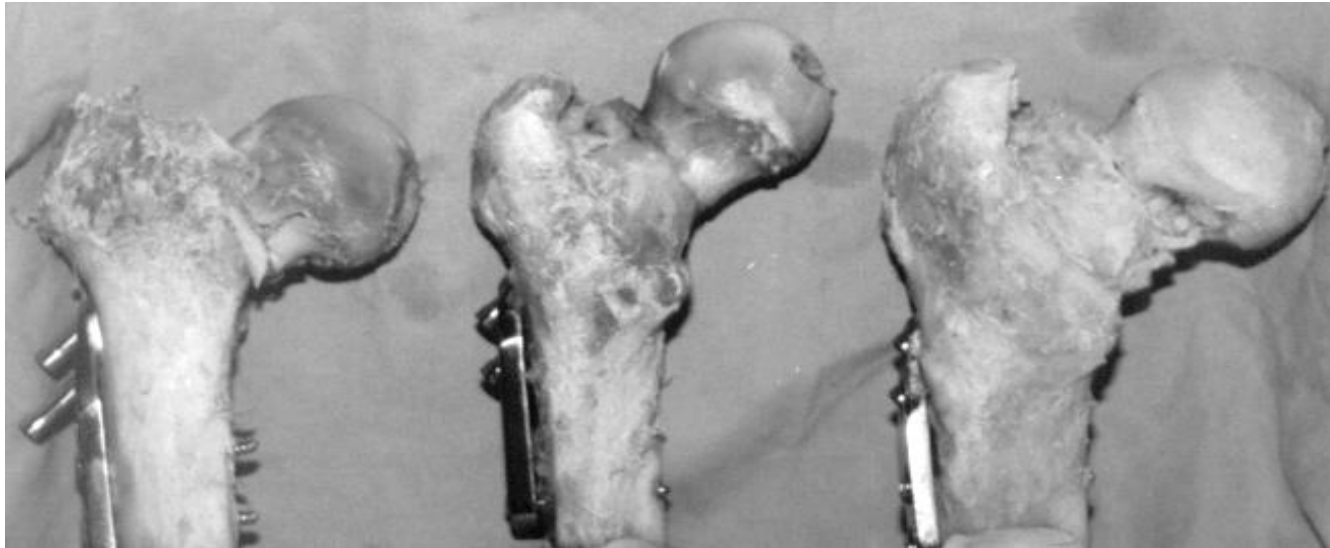
Mehanizam sloma



Tipičan mehanizam sloma za fiksaciju sa 3 spongiozna zavrtnja je

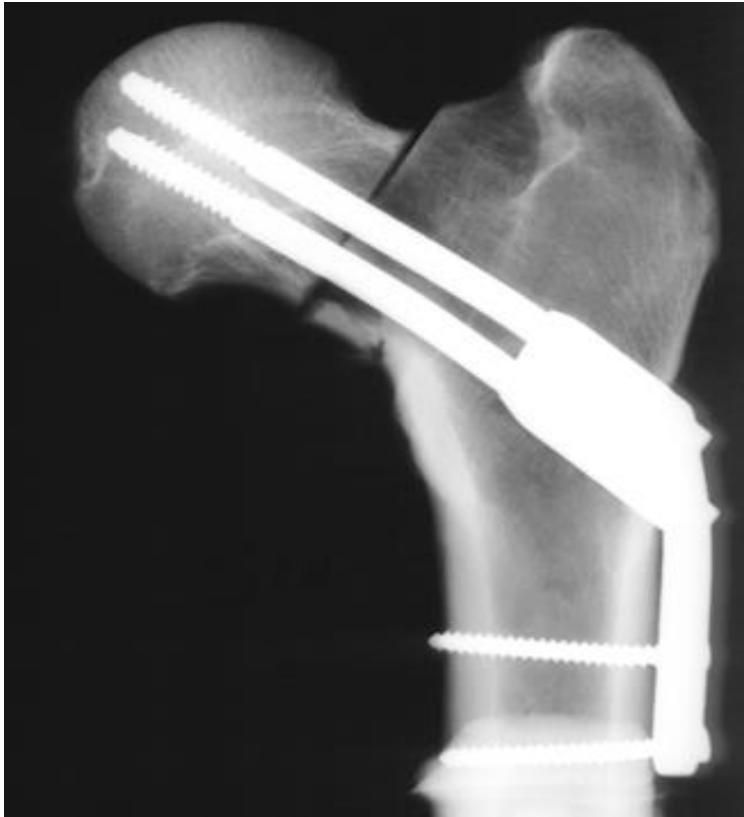
- dislokacija glave nadole,
- varus angulacija vrata i rotacija glave ka pozadi.
- migriranje distalnog pola zavrtnja kroz lateralni korteks ka velikom trohanteru ("toggling").
- Kada se primeni maksimalna sila dolazi do preloma medijalnog korteksa vrata

Mehanizam sloma



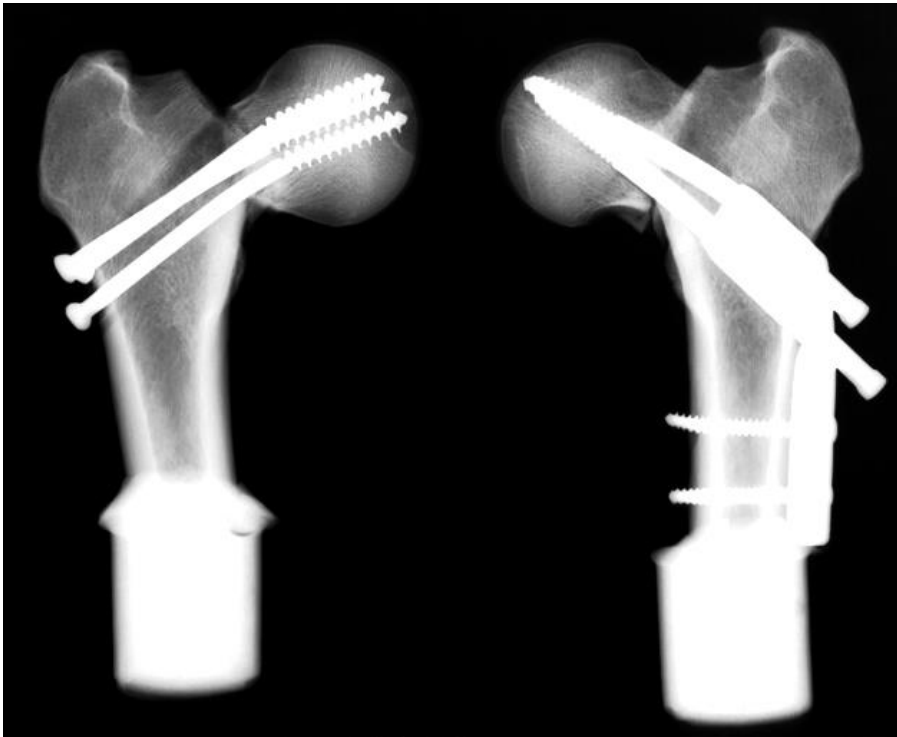
- **impakcija prelomnih površina sa migracijom klinova kroz vrat ploče**
- **preloma medijalnog korteksa vrata femura pri većim silama**

Rezultati



Kod preparata fiksiranih sa DHS-YU dolazi do impakcije prelomnih površina sa migracijom klinova kroz vrat ploče, a pri većim silama i do preloma medijalnog korteksa vrata femura.

Mehanizam sloma

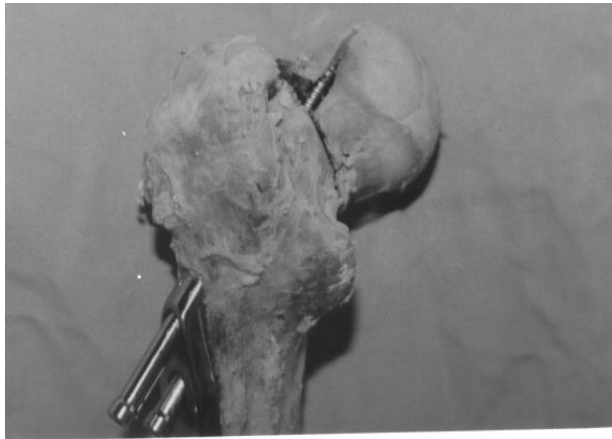


Dizajn i materijali od kojih su napravljeni moderni implantati mogu sa lakoćom da podnesu fiziološka opterećenja kojima je izložen proksimalni femur u toku rehabilitacije i uobičajenih životnih aktivnosti.

Ni u jednoj biomehaničkoj studiji se kao uzrok slabosti konstrukcije ne navodi lom sredstva za fiksaciju

Pri višestruko većem opterećenju od fiziološkog obično dolazi do krivljenja prvo distalnog, a potom i ostalih zavrtnjeva

Mehanizam sloma



Struktura i kvalitet koštanog tkiva u glavi femura (posebno u subhondralnom delu) ima mogućnosti da zadrži zavrtnjeve u implantiranoj poziciji i pri veoma velikim opterećenjima (osim kod veoma izražene osteoporoze).

Proboj vrha zavrtnjeva kroz glavu na gore (tzv. cut off), desio se samo kod jednog preparata (DHS-YU), što je i bio glavni razlog sloma konstrukcije



Mehanizam sloma

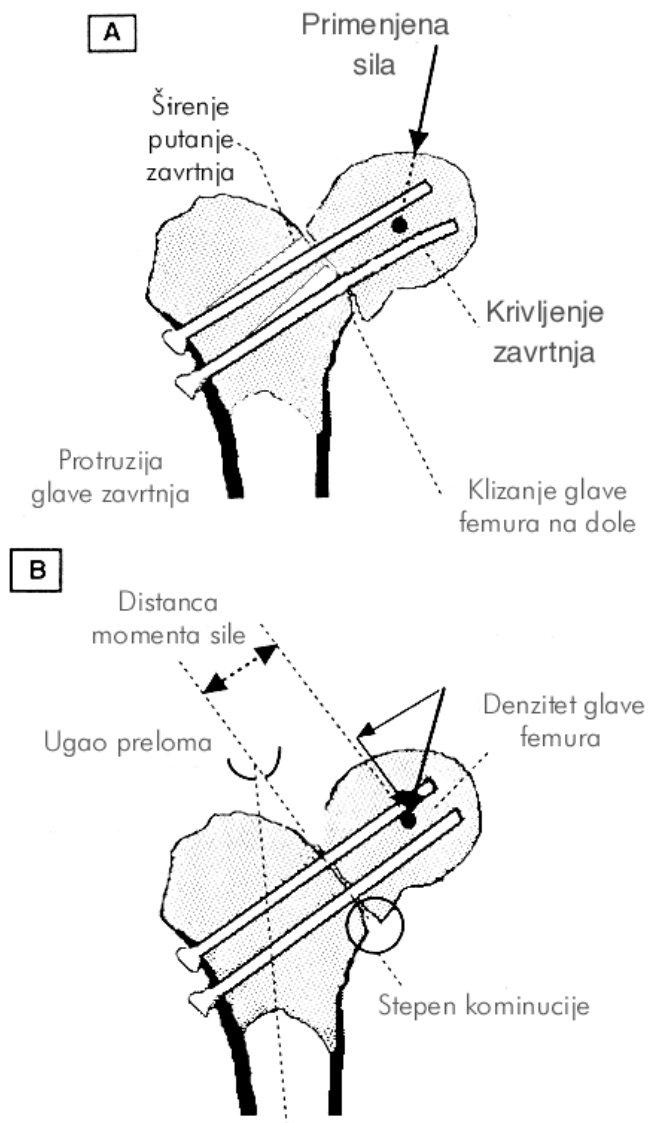


Očigledno je da je *lokus minoris rezistencije* konstrukcije prelom vrata butne kosti - implantat slabost trabekularne kosti u vratu femura.

U predelu vrata se nalazi veoma mali broj koštanih gredica, koje su uglavnom raspoređene po periferiji vrata.

Ukoliko implantat nema kortikalni oslonac dolazi do preloma krhke trabekularne kosti u predelu vrata i glava zajedno sa vrhom zavrtnja (koji ostvaruju čvrstu vezu sa kompaktnom spongiozom glave) se rotira na dole (varus)

Mehanizam sloma

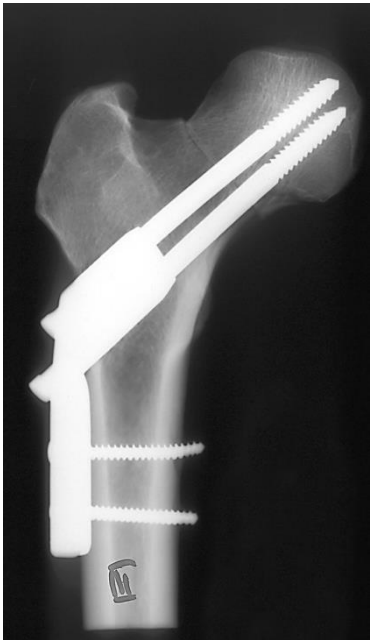


Pri **adekvatnoj repoziciji** preloma i aplikaciji implantata, veći deo opterećenja koji deluje na kuk preuzima sama kost.

Kod dobro postavljenog distalnog zavrtnja (**medijalni kalkar oslonac**), gotovo celokupno opterećenje je usmereno na medijalni korteks vrata, na koji deluje ekscesivna kompresivna sila, jer preuzima i deo opterećenja koji u zdravom kuku raspoređen na lateralni korteks.

Kada dejstvujuća sila prevaziđe otpornost koštanog tkiva dolazi do pucanja medijalnog korteksa, što je i najčešći razlog potpunog gubitka stabilnosti sinteze u ovom eksperimentu.

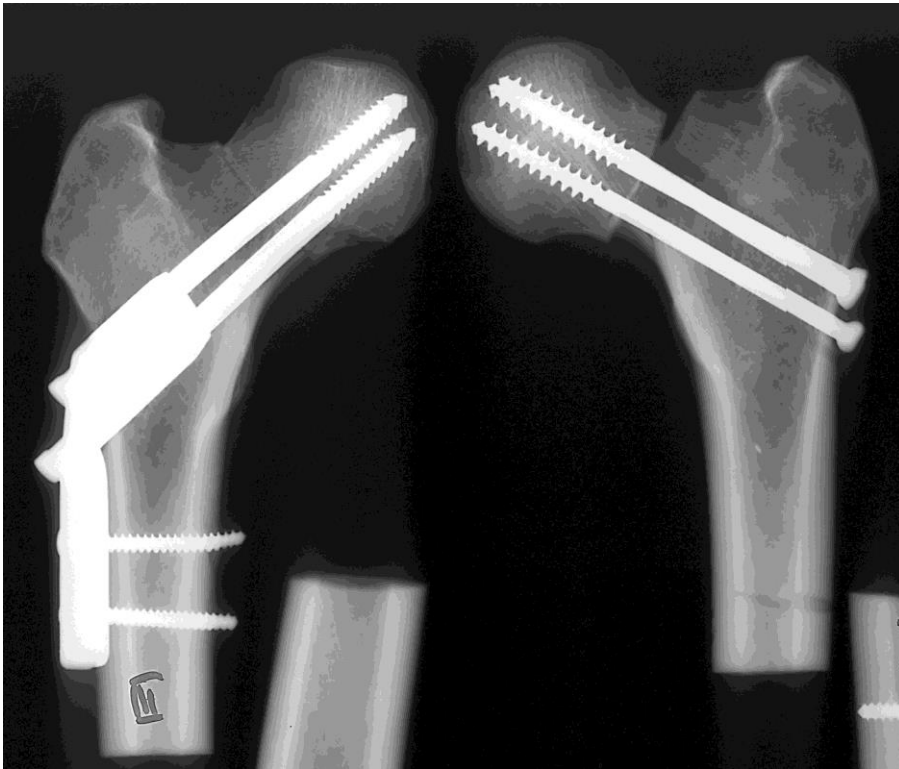
Mehanizam sloma



Osnovna prednost ugaonog dinamičkog implantata u odnosu na paralelne slobodne zavrtnjeve je *prisustvo lateralnog oslonca* (lateralna kortikalna ploča sa vratom).

Kod DHS-YU implantata pri početnom opterećenju zavrtnjevi slobodno klize kroz vrat uganog implantata; dolazi do sleganja glave zajedno sa zavrtnjevima i apozicuje prelomnih površina.

Mehanizam sloma



Drugi razlog koji obezbeđuje prednost dinamičkoj fiksaciji je mogućnost *teleskopiranja* implantata.

Time se obezbeđuje progresivna impakcija preloma, povećava se njegova stabilnost i ostvaruju se najpovoljniji uslovi za zarastanje.

Ukoliko se postigne dobra **paralelnost** slobodnih zavrtnjeva (do 5°) može se takođe postići teleskopski efekat (*efekat železničkih šina*).

Mehanizam sloma

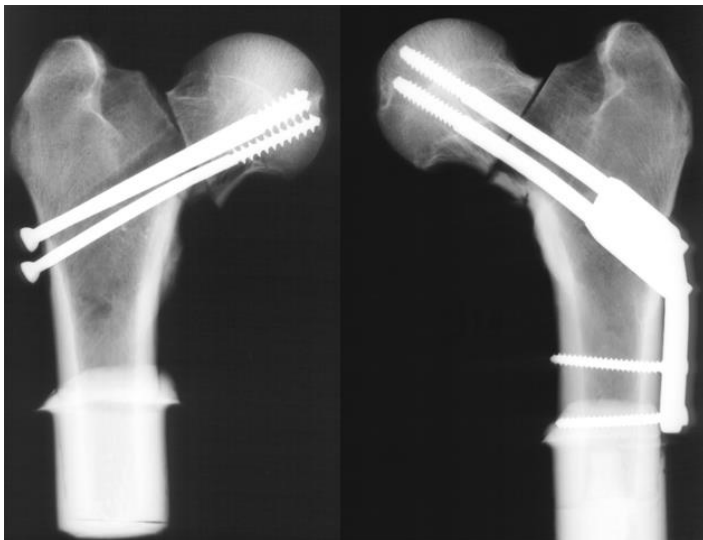


Međutim, ako se to ne postigne, dobija se efekat *ukrštenih skija*. Osteosinteza poprima svojstva statičke fiksacije i umesto progresivne impakcije preloma prisutna je tendencija ka razdvajanju frakturnih fragmenata.

Paralelno postavljanje slobodnih zavrtnjeva u nekim slučajevima predstavlja značajan problem, bez obzira na tehničku opremu.

Kod izražene osteoporoze, već kod početnih opterećenja dolazi do konvergencije proksimalnih zavrtnjeva ka distalnom i gubi se teleskopski efekat fiksacije

Mehanizam sloma



Treći razlog koji objašnjava zašto dinamički ugaoni implantat izdržava značajno veći maksimalni stres od 3 paralelna zavrtnja je *smanjenje kraka momenta sile* koja deluje na zavrtnjeve

Krak momenta sile kod DHS-YU se pruža od vrha femoralne glave do vrha medijalnog kraja vrata na lateralnoj ploči implantata.

Krak momenta sile kod slobodnih zavrtnjeva se pruža od vrha femoralne glave do lateralnog korteksa femura i duži je za oko 2 cm. To povećava silu koja deluje na zavrtnjeve i medijalni korteks pri istom opterećenju, što i dovodi do ranijeg gubitka stabilne fiksacije.



ZAKLJUČAK

Postoji značajna razlika u biomehaničkim svojstvima dinamičkog ugaonog implantata DHS-YU i 3 paralelna zavrtnja.

Fiksacija preloma vrata butne kosti učinjena sa DHS-YU implantatom omogućava *bolju čvrstinu i bolju stabilnost* osteosinteze u toku dinamičkog testiranja i izdržava gotovo *dvostruko veća maksimalna opterećenja* u odnosu na sintezu učinjenu sa 3 spongiozna paralelna zavrtnja.


Kako je ranijim studijama pokazana pozitivna korelacija između zarastanja preloma i postoperativne stabilnosti preloma, može se izvesti zaključak da se *primenom DHS-YU implantata može značajno smanjiti učestalost ranog gubitka stabilnosti sinteze i pseudoartroza kod intrakapsularnih preloma lečenih unutrašnjom fiksacijom.*



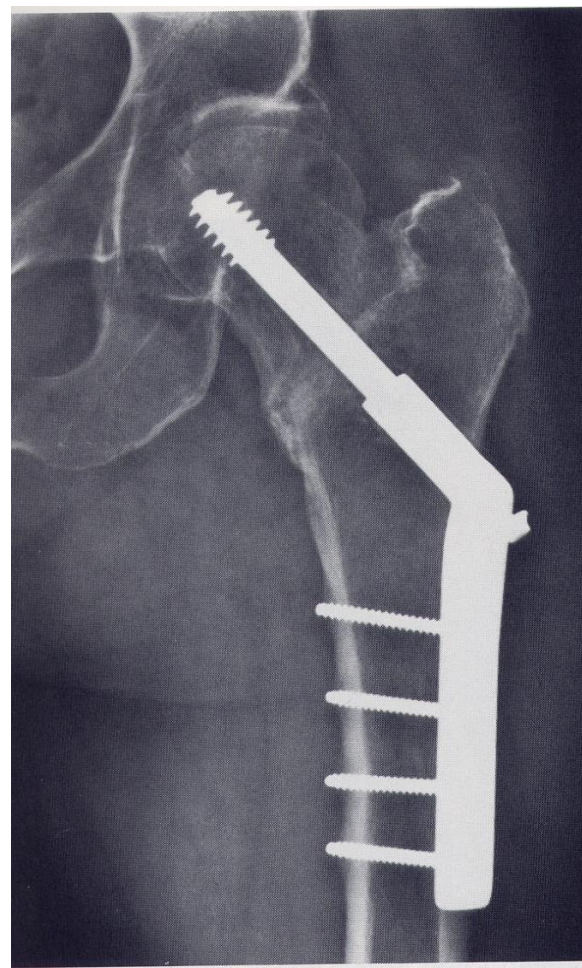
ZAKLJUČAK


Fiksacija preloma sa DHS-YU implantatom i sa 3 paralelna spongiozna zavrtnja obezbeđuje stabilnost sinteze preloma pri fiziološkim opterećenjima kuka (oko 1500 N).

Drugim rečima, sa biomehaničke tačke gledišta, *moguć je rani oslonac* na povređenu nogu posle osteosinteze preloma vrata butne kosti pod uslovom da proksimalni femur nema izraženu osteoporozu i da je postignuta dobra repozicija preloma, a implantat postavljen u odgovarajuću poziciju.



Analiza interne fiksacije preloma gornjeg okrajka femura metodom konačnih elemenata

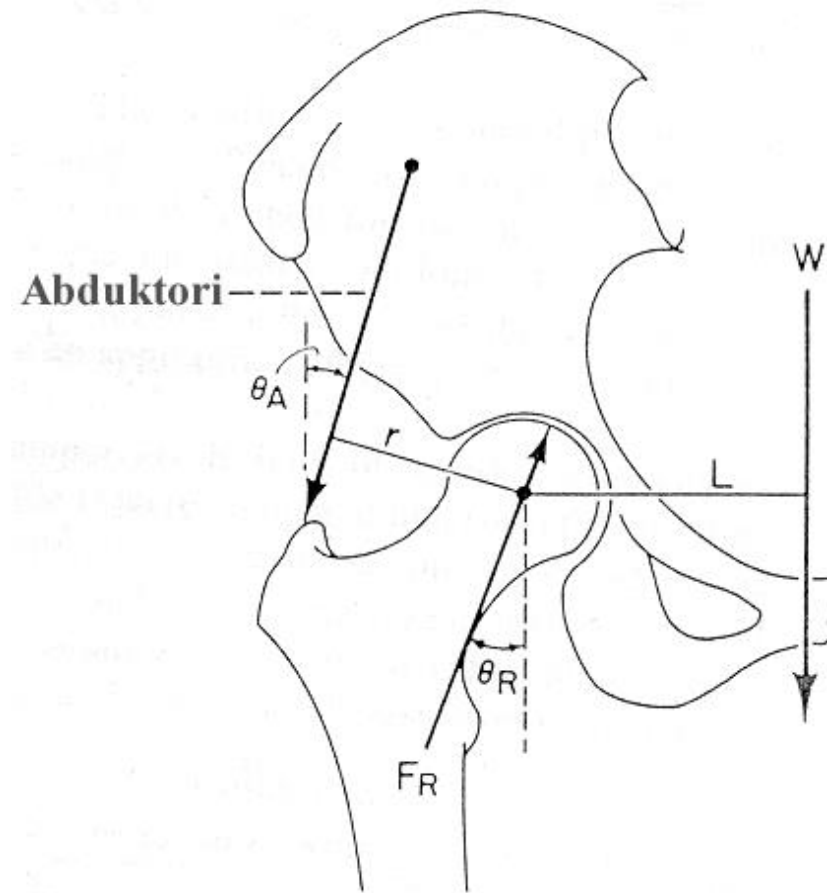




Koristeći anatomske parametre gornjeg okrajka butne kosti, karakteristike datih osteofiksacionih sredstava i uz pomoć podataka iz literature napravljen je uprošćeni FE model.

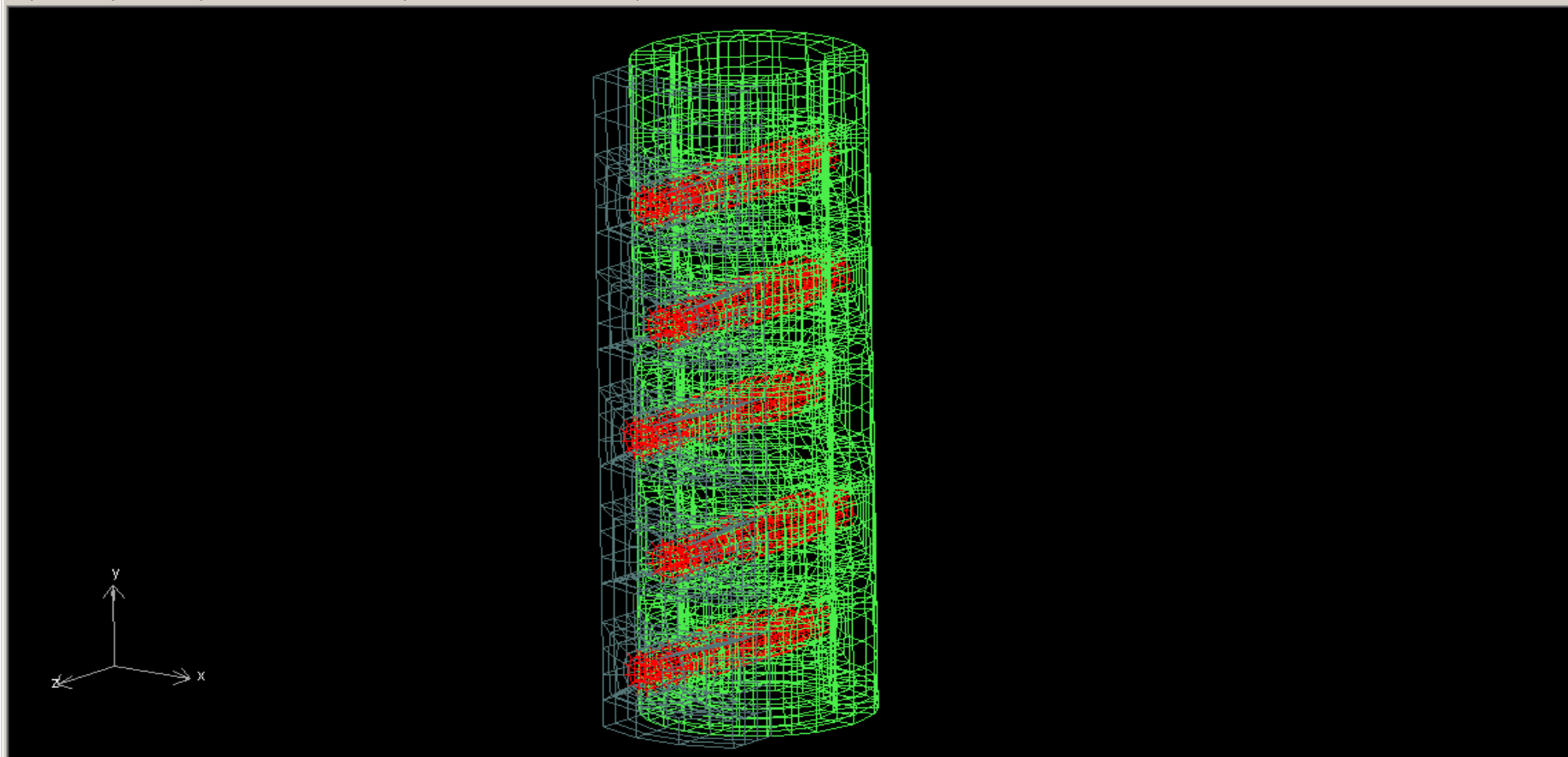
U cilju efikasnog generisanja 3D modela gornjeg okrajka femura i jednostavne analize rezultata dobijenih proračunom, razvijen je specijalan CAD softver.

Odnosi sila u kuku



Bone Implant - Bone Implant

Fajl Editovanje Geometrija Model Mreza Modifikacija Obrisi Rezultati Prikaz Help



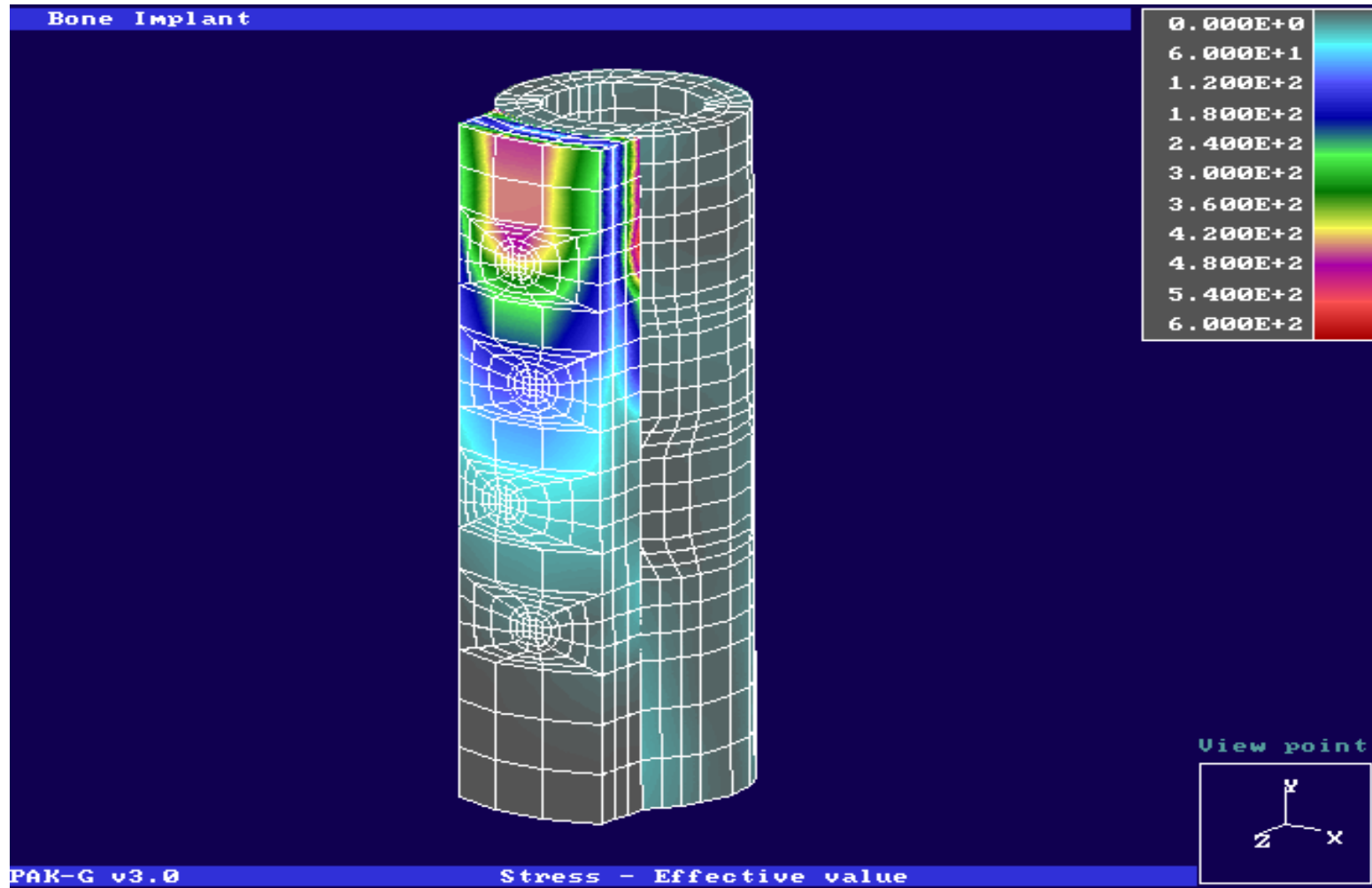
Body Weight <input type="text" value="70"/> L <input type="text" value="95.5"/> Abd. Lever <input type="text" value="47.8"/> Abd. Angle <input type="text" value="30"/>	Bone Diameter <input type="text" value="28"/> Thickness <input type="text" value="5"/> Head Length <input type="text" value="80"/> Head Angle <input type="text" value="45"/> E <input type="text" value="18000"/> Nu <input type="text" value="0.3"/>	Implant Length <input type="text" value="89"/> Width <input type="text" value="19"/> Thickness <input type="text" value="6"/> E <input type="text" value="200000"/> Nu <input type="text" value="0.3"/>	Screws <input type="button" value="Positions"/>	Prescribed displacement Value <input type="text"/> <input type="button" value="Function >>"/> Results <input type="button" value="Volume / Pressure"/> <input type="button" value="Surf. tens. / Area ratio"/> <input type="button" value="Disp. In / Disp. Out"/> <input type="button" value="Area / Volume"/>	<input type="button" value="Preview"/> <input type="button" value="Calculate"/>
--	---	---	---	---	--

Ready

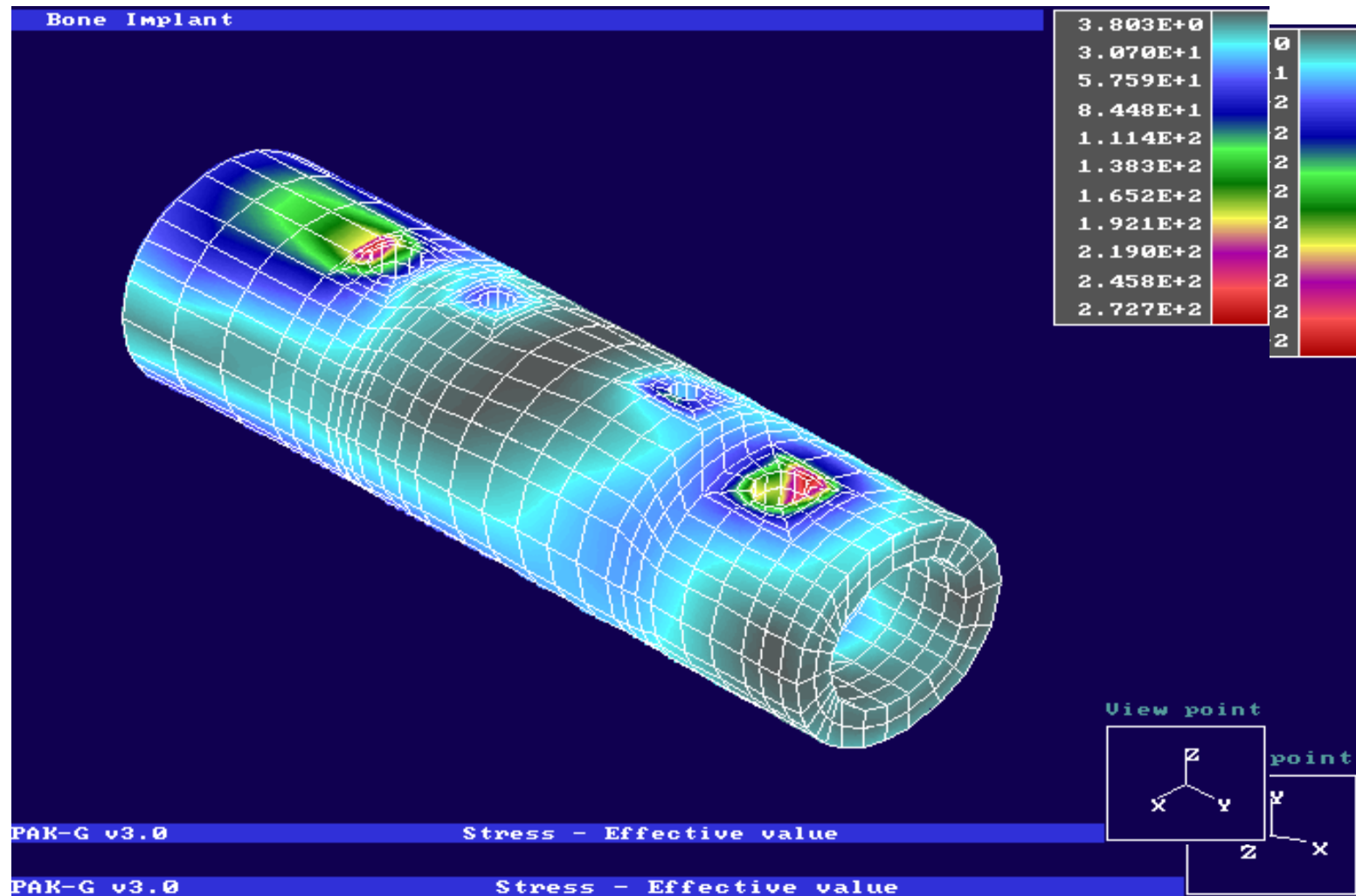
Ready

Ln 1, Col 1

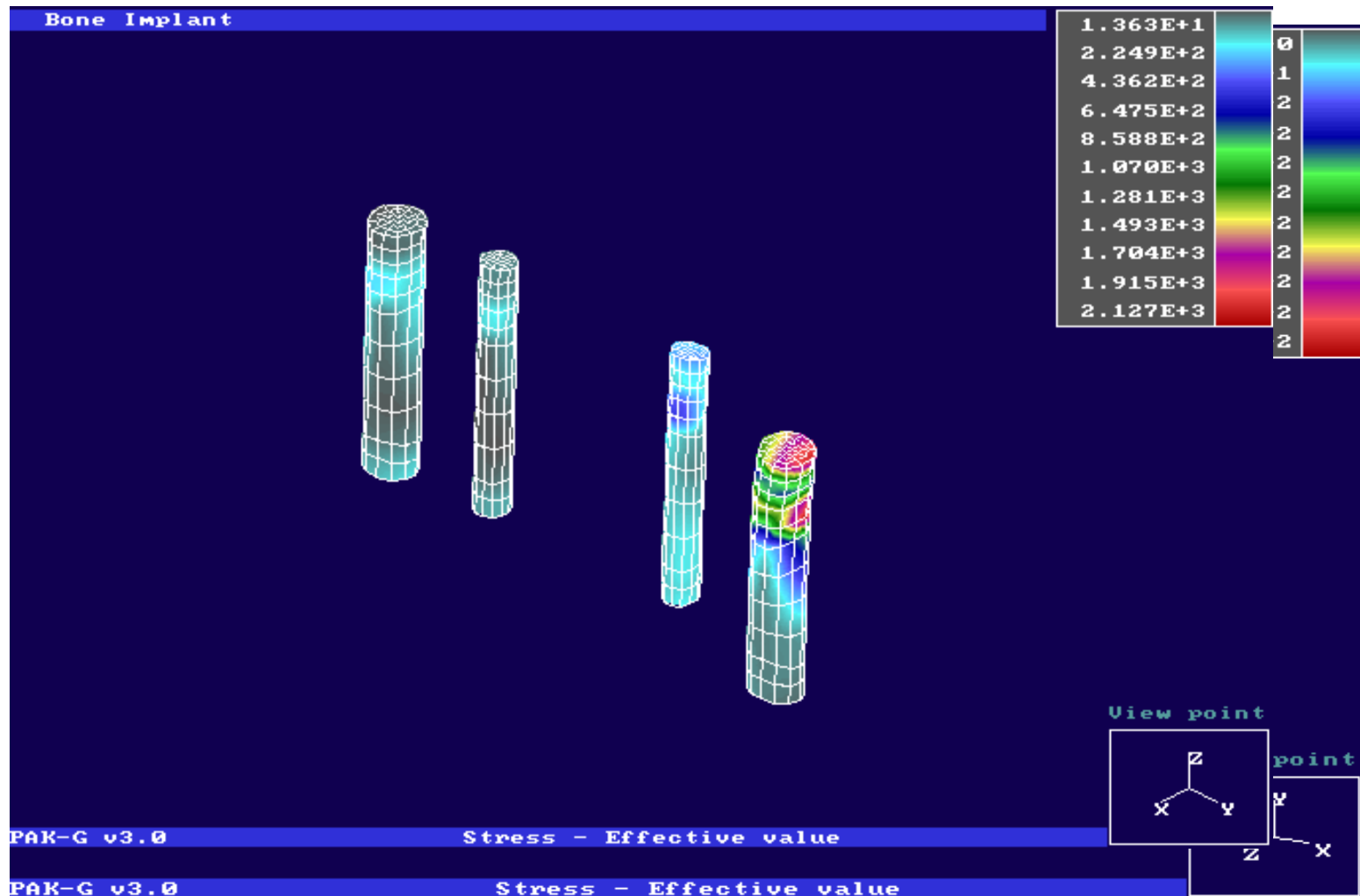
Effective stress field - 4 screws



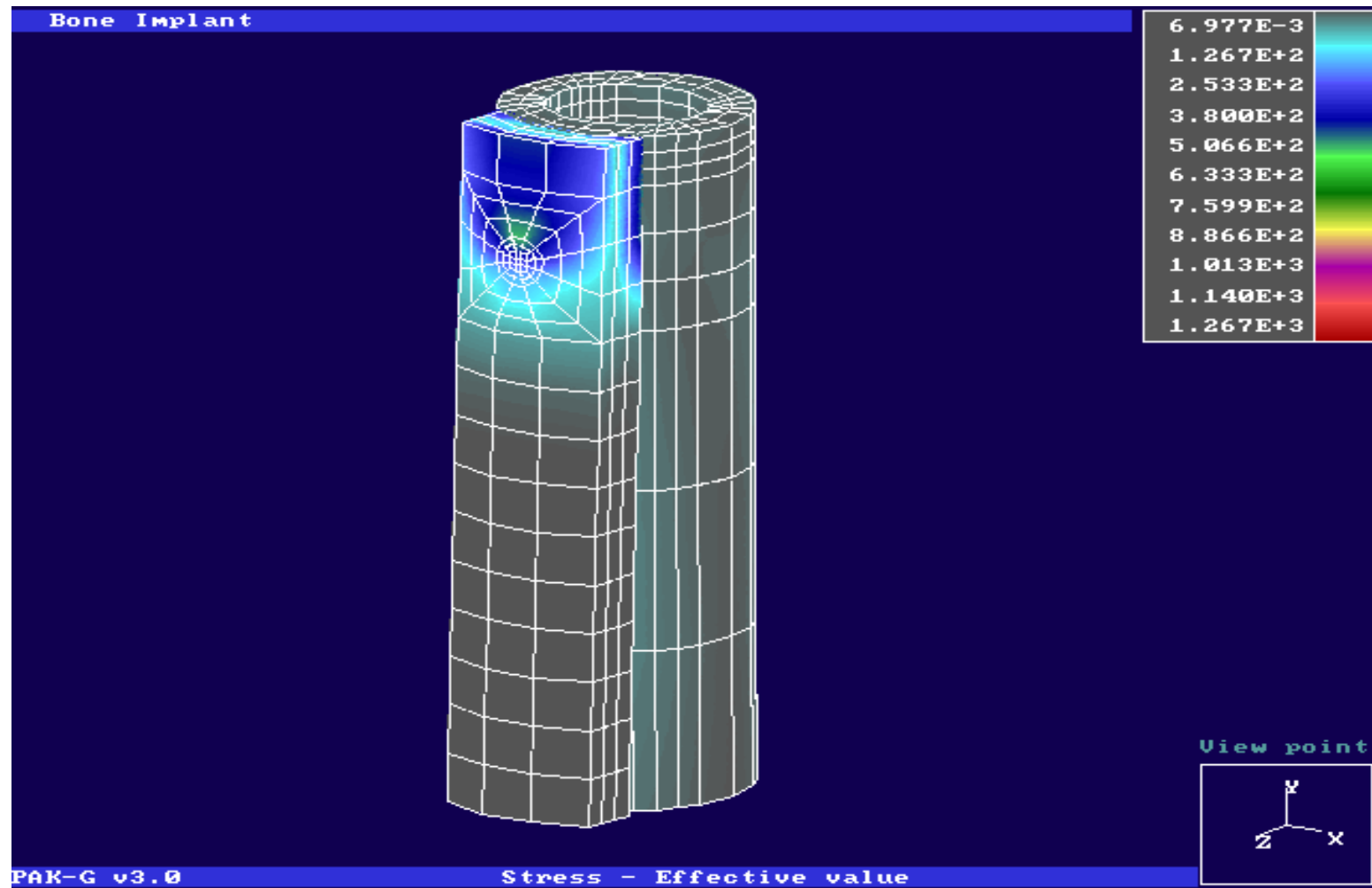
Effective stress field - 4 screws



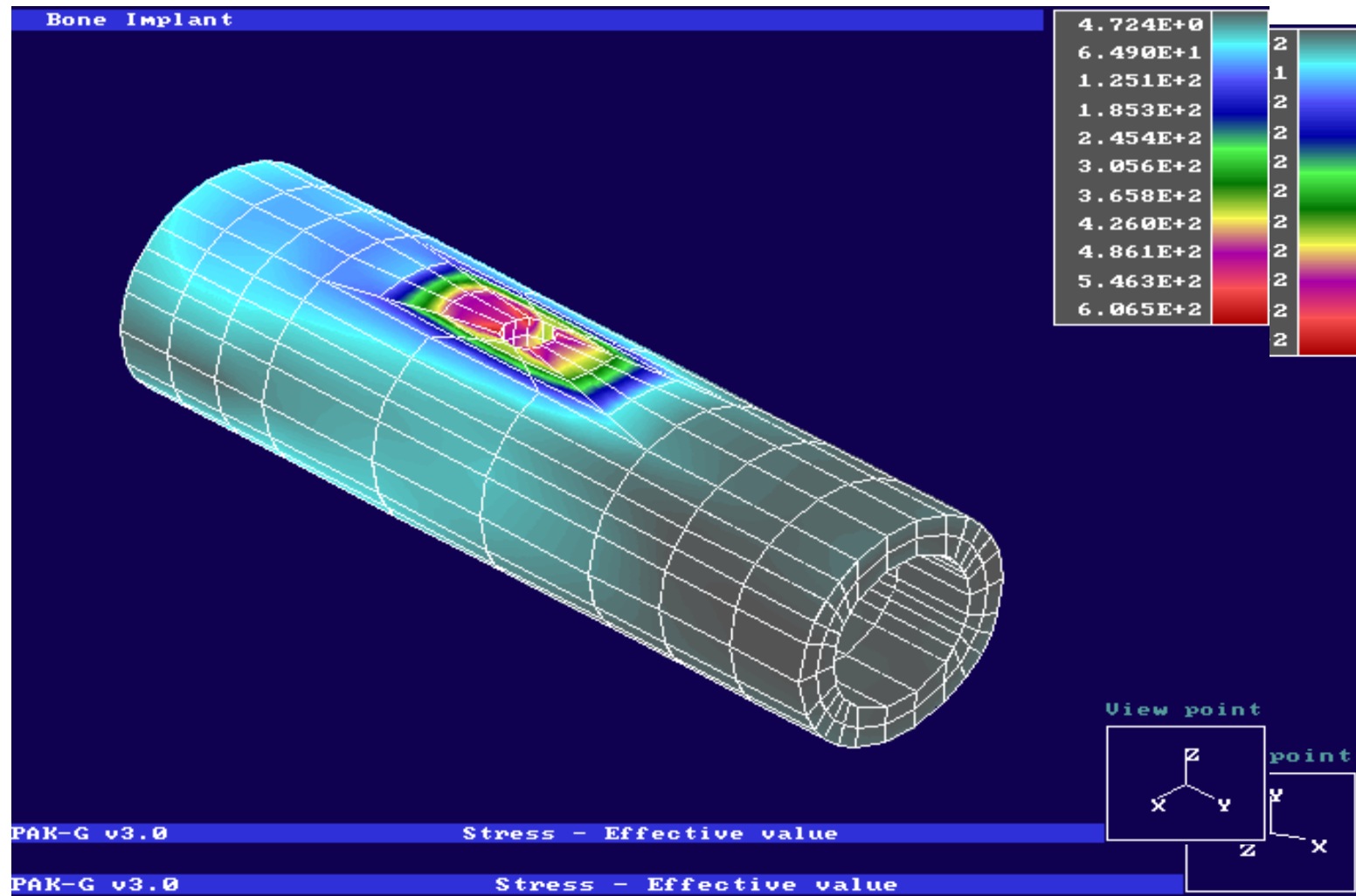
Effective stress field – 4 screws



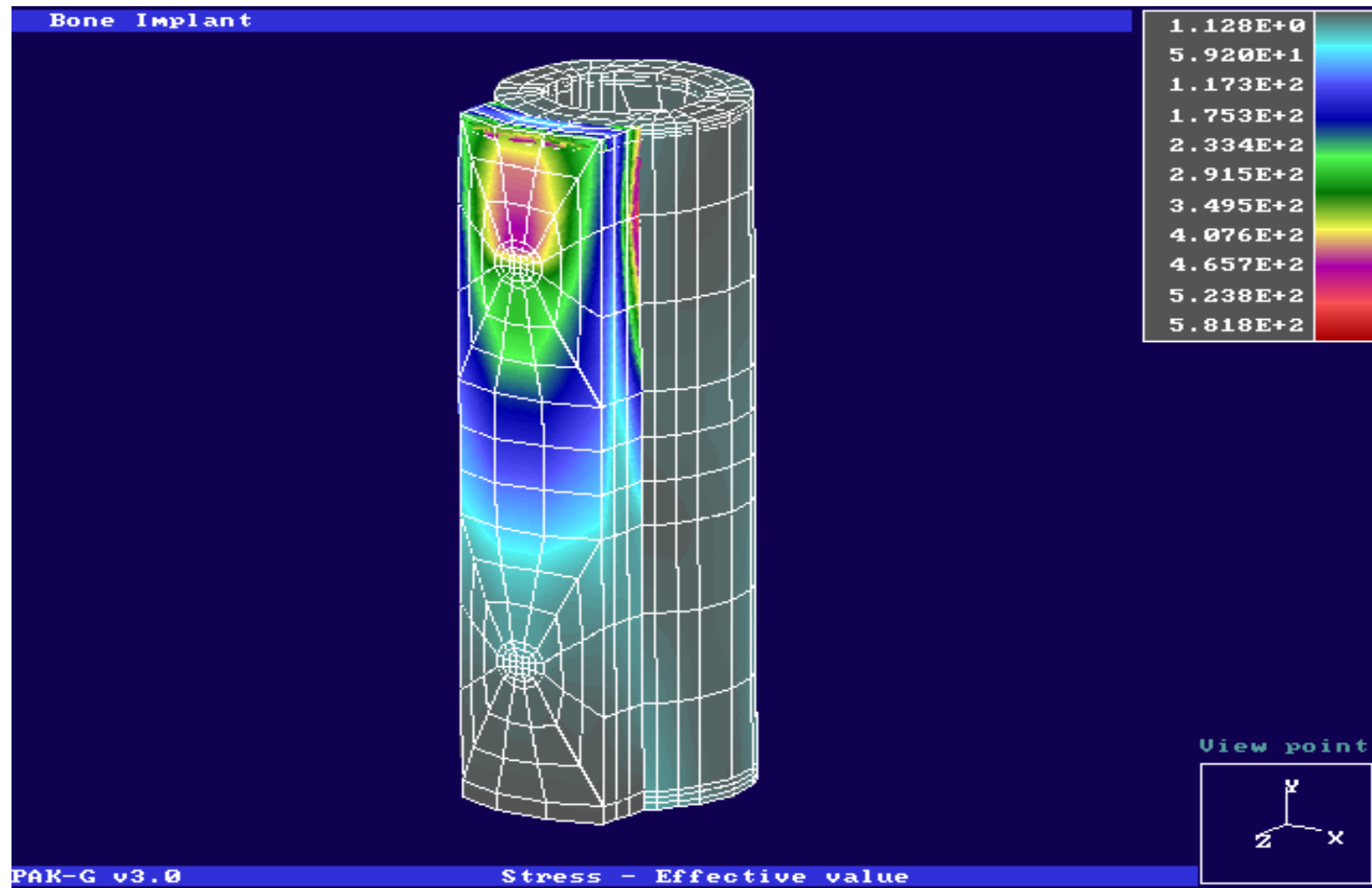
Effective stress field - 1 screw

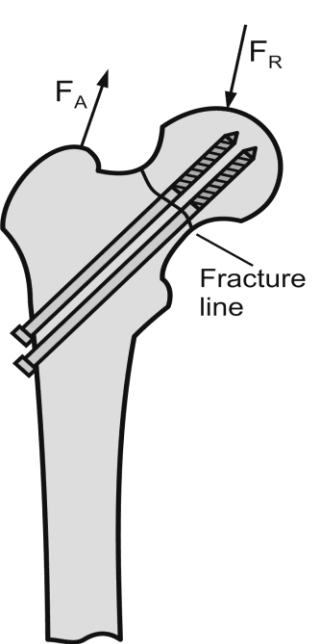


Effective stress field - 1 screw

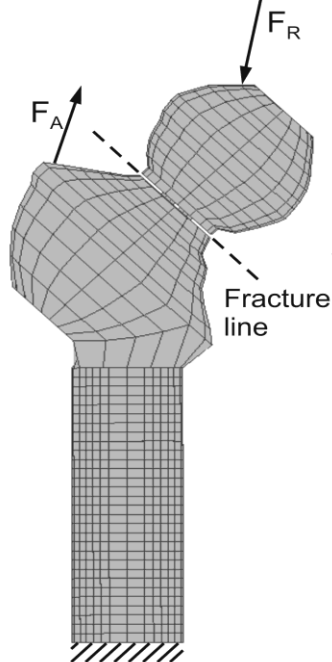


Effective stress field - 2 screws

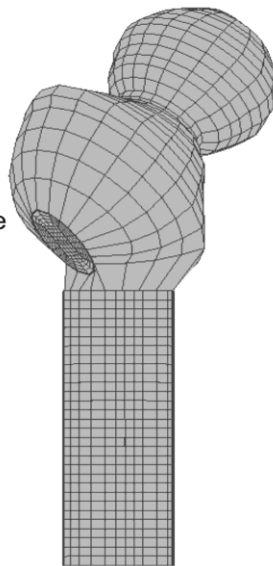




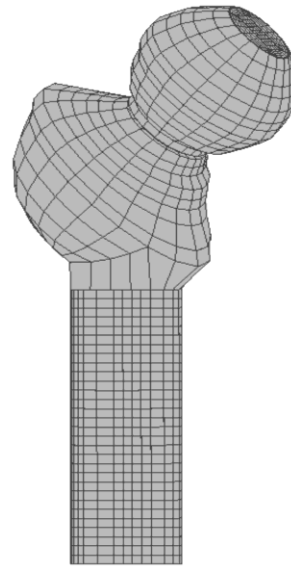
a)



b)



c)



d)

