

НОВ МЕТОД:

Метод идентификације референтних геометријских ентитета у поступку реверзног моделирања хумане бутне КОСТИ

Руководилац пројекта: Проф. др Мирослав Трајановић

Одговорно лице: Проф. др Мирослав Трајановић

Аутори: Проф. др Мирослав Трајановић, мр Милош Стојковић, мр Јелена Миловановић, Никола Витковић

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-12012

Година: 2008. – 2010.

Примена: **Април 2009.**

ОБЛАСТ ПРИМЕНЕ

У хирушкој ортопедији, али и у другим гранама хирургије, где постоји потреба за израдом имплантата и фиксатора посебно прилагођених анатомији појединог пацијента, постоји и потреба за реверзним моделирањем и реверзним инжењерингом ткива. У општем случају, могу се уочити два главна правца примене реверзног инжењерства. Први правац се односи на реверзни инжењеринг тврдих ткива какве су, на пример, кости, док се други правац примене односи на реверзни инжењеринг меких ткива каква је, на пример, кожа или, пак, ткиво крвних судова (Sun и други, 2004 а, б). У оба правца примене, реверзно инжењерство се бави геометријом ткива. Израда костних имплантата и спољашњих и унутрашњих фиксатора прилагођених анатомији пацијента у случају оперативног третмана фрактуре захтева реверзно моделирање геометрије кости. Са друге стране, израда имплантата меких ткива захтева реверзно моделирање геометрије матрице или скафолда за раст и обнову ткива, која, такође, треба да буде прилагођена анатомији оштећеног ткива појединог пацијента. Према томе, и код реверзног инжењеринга меких ткива, неопходно је бавити се геометријом ткива.

Реверзно моделирање геометрије ткива (у овом случају, хумане бутне кости) коришћењем CAD софтвера подразумева стварање геометријски-експлицитно дефинисаног дигиталног 3D модела ткива – дакле, не геометријски-инваријантног полигоналног модела (тзв. рендеровани полигонални модел) – на основу радиолошког снимка, што укључује снимке добијене X-зрацима, компјутерском томографијом или магнетном резонанцом (Goh и други, 1990).

КРАТАК ОПИС

Техничко решење представља јединствен и једнозначан *поступак* или *метод* за утврђивање референтних геометријских ентитета (РГЕ) фемура који је обавезно претходи поступку реверзног моделирања, као и евентуалне параметризације геометрије фемура уз помоћ CAD софтвера. РГЕ

фемура чине карактеристичне тачке, правци, равни и погледи. Сви други геометријски ентитети, вишег реда, какви су криве, површине и солиди се просторно референцирају у односу на референтне геометријске ентитете. Поступак утврђивања РГЕ фемура има за циљ да предложи начин идентификације минималног скупа РГЕ-ова како би се, њему следствени, поступак реверзног моделирања и параметризације геометрије фемура учинио што је могуће више робустним у погледу захтеваних геометријских адаптација спрам специфичне анатомије поједног пацијента. Према томе, сва друга геометријска ограничења и релације, која ће, касније, постојати у 3D моделу фемура и контролисати измене, се имају заснивати на овом минималном скупу РГЕ-ова. У исто време, овај метод треба да омогући параметризацију геометрије модела хумане бутне кости (Kurazume и други, 2009), те брзе и једноставне измене према специфичној морфологији фемура код поједног пацијента. Такође, исправна идентификација РГЕ-ова непосредно утиче на брзину и тачност реверзног инжњеринга имплантата и фиксатора, што је основни императив у ургентним случајевима.

У анатомији се дефинишу два основна погледа на фемур, посматрајући просторну оријентацију фемура. Први је тзв. *антериорно-постериорни* поглед или оријентација (А-Р) а други је латерално-медијални (L-M) поглед или оријентација. За реверзно моделирање геометрије фемура неопходно је формирати неколико (не увек ортогоналних) праваца и њима одговарајућих пројекција кости или дела кости. За разлику од ситуација у медицини, реверзни инжењеринг и израда прилагођених имплантата и фиксатора захтева веома прецизно дефинисана правила за израду свих праваца и погледа које је потребно користити, укључујући и А-Р и L-M, (Kwak и други 1995, Schmutz и други 2006).

РЕАЛИЗАЦИЈА

Техничко решење је проистекло из геометријске и морфолошке анализе спољашње површине фемура. Истраживање је обухватило геометријску анализу фемура на бази од 20 узорака фемура потеклих од европских (српских) одраслих здравих особа различите старосне доби и пола (леви и десни фемур). Посебно треба нагласити намеру да се користе узорци добијени од особа различите старосне доби и пола како би се обезбедио довољно геометријски разнолик скуп из којег треба извући најмањи потребни скуп РГЕ који се могу сматрати заједничким за све:

- 4 × 2 женска узорка, леви и десни, старосне доби од 25 до 67
- 6 × 2 мушка узорака, леви и десни, старосне доби од 22 -72

Два пара узорака, који су били тзв. *суви* узорци (кадаверски), су били скенирани ласерским скенером Atos 2E у резолуцији 0,02mm. Остала осам пара узорака су скенирани компјутерском томографијом у резолуцији 0,5mm.

За развој метода идентификације референтних геометријских ентитета (РГЕ) фемура и, касније, реверзног моделирања фемура, коришћен је CAD софтвер: CATIA V5 R19, односно његов скуп модула за реверзно моделирање. Поступак идентификације РГЕ започиње увозом и геометријском обрадом облака тачака (уклањање редундатних тачака и просторно *подвезивање* облака са постојећим иницијалним геометријским ентитетима модела). Пре него што се приступи самој идентификацији РГЕ креира се полигонални модел над облаком тачка тесалацијом, односно креирањем великог броја полигона (у овом случају троуглова), између одговарајућих тачака. У

овој фази врши се и додатна обрада полигоналног модела, у смислу корекција одговарајућих неправилности, нормализације, и др.

ТЕХНИЧКЕ МОГУЋНОСТИ

Метод утврђивање референтних геометијских ентитета (РГЕ) фемура, описан у техничком решењу дефинише јединствени и стандардни поступак прелиминарне анализе геометрије хумане бутне кости на радиолошким снимцима, што, последично, решава:

- a. Ефикасно креирање „скелетон“ CAD модела фемура као основе (потке) за реверзно моделирање имплантата и конструисања фиксатора, прилагођених јединственој анатомији пацијента,
 - i. Брзо и тачно реверзно моделирање површинског и солид модела фемура одређеног пацијента,
 1. Конструисање и израда имплантата и фиксатора, прилагођених јединственој анатомији пацијента,
 2. Ефикасну припрему оперативног захвата
 - a. 3D симулација корекција дислокација насталих преломима или деформитетима,
 - b. Лоцирање места анкерних тачака фиксатора,
 3. Ефикасно зонирање запремине ткива фемура у циљу припреме модела за детаљну анализу напонско-деформационих стања у кости методом коначних елемената.
 - ii. Креирање параметарског модела обвојне површине фемура
 1. Аутоматизовано апроксимативно моделирање површинског и солид модела фемура одређеног пацијента на основу само 2 пројекције дигиталног рентгенског (X-гау) записа (А-Р и L-M пројекције)
 - a. Примена реверзног моделирања фемура у условима слабе опремљености (поседовања само уређаја за рентгенске снимке, не и 3D компјутерске томографије)
 2. Израда фамилије стандардних модела спољашњих и унутрашњих фиксатора.

Реализатори:

Машински факултет у Нишу

Корисници:

Клинички центар Ниш

ОБЈАШЊЕЊЕ СУШТИНЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

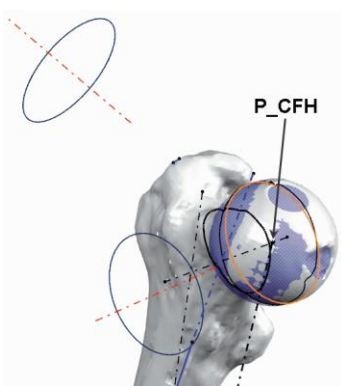
УТВРЂИВАЊЕ А-Р РАВНИ И ПРАВЦА

Полазни РГЕ фемура је А-Р раван. Све остале равни и погледи и правци увезио са тим равнима су у непосредној зависности од А-Р равни и А-Р правцем (линија нормална на А-Р раван). За дефинисање А-Р равни (правца и погледа) користе се три тачке -референтни геометријски ентитети геометрије фемура:

- Тачка центра главе фемура (Point of the center of the femoral head (P_CFH)),
- Тачка латералне епикондиле(Point of the lateral epicondyle (P_LEc))- најпроминантија тачка у области латералне епикондиле,
- Тачка медијалне епикондиле(Point of the medial epicondyle (P_MEc))- најпроминантија тачка у области медијалном епикондиле.

ЦЕНТАР ГЛАВЕ ФЕМУРА (P_CFH)

Најважнија референтна тачка геометрије фемура је центар главе фемура (P_CFH). Ова тачка настаје у пресеку оса кругова који представљају апроксимативне обвојнице главе фемура изграђене на иницијално ортогоналним пројекцијама¹ полигоналног модела фемура (приближне А-Р и L-M пројекције), слика 1.



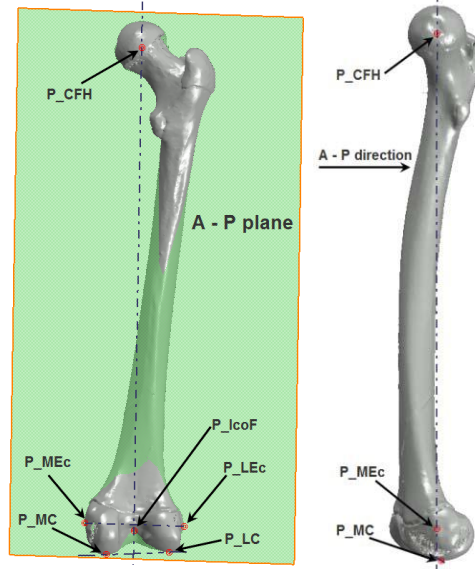
Слика 1. Центар главе фемура

ТАЧКЕ ЛАТЕРАЛНЕ И МЕДИЈАЛНЕ ЕПИКОНДИЛЕ (P_LEc , P_MEc)

Тачке P_LEc и P_MEc се налазе у пресеку кружница које додирују најпроминантије тачке на дисталном крајку фемура, а које се конструишу у две иницијално ортогоналне пројекције полигоналног модела фемура (приближне А-Р и Inferior-Superior или Down-Top пројекције)

Центар главе фемура (P_CFH) и (P_LEc , P_MEc) се користе као референтне тачке за дефинисање А-Р равни или тзв. А-Р погледа, слика 2.

¹ Иницијалне ортогоналне пројекције су оне које су повезане са иницијално дефинисаним координатним системом, дефинисаним на основу координата облака тачака који је увезен из image processing софтвера у CAD софтвер CATIA V5 R19.



а) AP поглед (постериорни аспект)

б) LM поглед (медијални аспект)

Слика 2. Референтни геометријски Ентитети приказани на фемуру

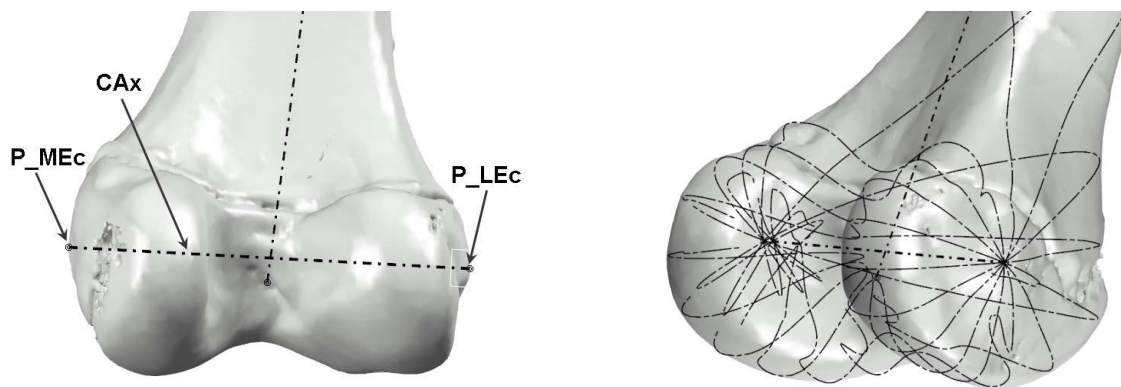
Поред ове три тачке, током истраживања је уочено да постоје још три тачке које, са веома малом одступањем, такође, леже на овако дефинисаној А-Р равни.

- Тачка интеркондиларне фосе (Point of the intercondylar fossa - P_IcoF).
- Инфериорна или најнижа тачка латералне кондиле (Point of the lateral condyle - P_LC),
- Инфериорна или најнижа тачка медијалне кондиле (Point of the medial condyle - P_MC),

Ове тачке (P_IcoF, P_LC и P_MC) се, у овину метода, користе за проверу тачности, односно одступања А-Р равни, Слика 2.

ОСА ДИСТАЛНОГ ОКРАЈКА ФЕМУРА

Оса дисталног крајка фемура (Condyle Axis - CAx) настаје конструисањем праве линије која спаја тачке P_LEc и P_Mec (слика 3а). Оса дисталног крајка фемура је РГЕ који је неопходан за посебно развијену процедуру реверзног моделирања кондила која се заснива на кориснички дефинисаном техничком елементу - ротирајућег снопа пресека (Trajanović и други, 2009). Оса дисталног крајка фемура дефинише осу ротације раванских пресека којима се креирају базичне криве, над којима се креира површински модел кондила, слика 3б.



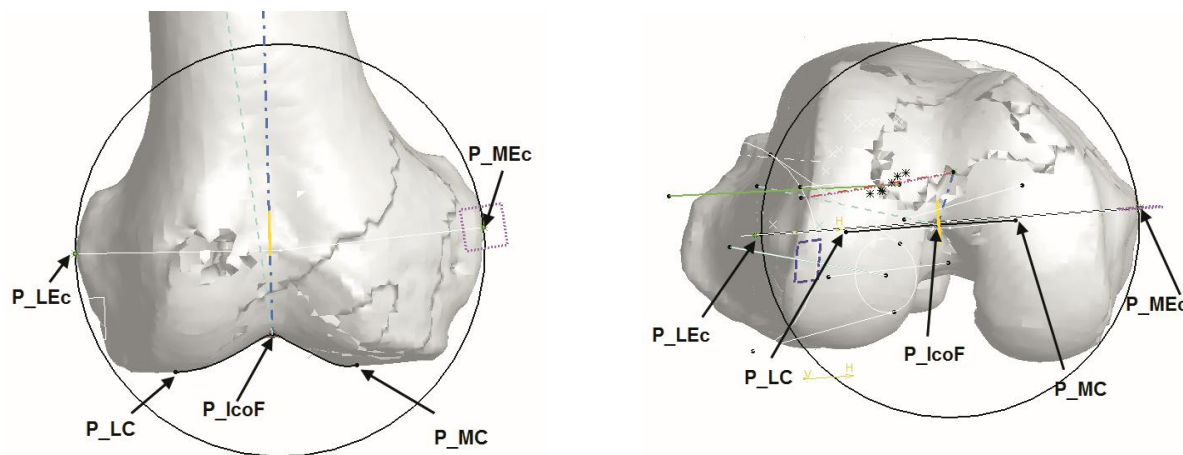
а) Оса дисталног крајака је дефинисана тачкама латералне и медијалне епикондиле

б) Ротациони равански пресеци са дефинисаним кривама

Слика 3

ТАЧКА ИНТЕРКОНДИЛАРНЕ ФОСЕ (P_ICoF)

Тачка интеркондиларне фосе се конструише у А-Р равни као максимум интеркондиларног превоја. Додатно, ради провере њене просторне локације и дступања од А-Р равни, креира се тачка непосредном дигитализацијом (избором места) саме интеркондиларне фосе на полигоналном моделу, слика 4.



а) А-Р поглед

б) А-Р поглед

Слика 4 Дефиниција тачке интеркондиларне фосе P_IcoF

УТВРЂИВАЊЕ L-M РАВНИ И ПРАВЦА

Пре него што се конструишу тачке P_Lc и P_Mc, потребно је дефинисати и латерално-медијалну раван (L-M раван) и L-M правац (линија нормална на L-M раван). За дефинисање L-M равни (правца и погледа) користи се А-Р раван и тзв. механичка оса – следећи веома важан РГЕ фемура.

МЕХАНИЧКА ОСА

Механичка оса (mechanical axis) фемура је оса која се конструише на основу две тачке: она пролази кроз P_CFH и P_IcoF (слика 5). Механичка оса дефинише вертикалну оријентацију

фемура у оквиру овог метода реверзног моделирања. (Са становишта анатомије, механичка оса није права вертикална оса тела фемура јер је механичка оса око 3 степена валгуса померена у односу на вертикалну осу тела (Wheeless 2009, Cooke и други 2007).

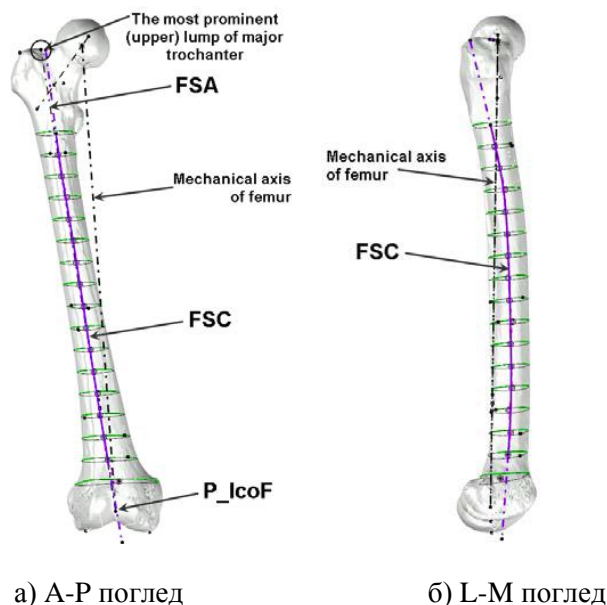
Сада је могуће дефинисати L-M раван тако што се оријентише ортогонално у односу на A-P раван и пролази кроз механичку осу фемура, слика 2б.

ИНФЕРИОРНЕ ТАЧКЕ ЛАТЕРАЛНЕ И МЕДИЈАЛНЕ КОНДИЛЕ (P_{LC}, P_{MC})

Тачке P_{LC} и P_{MC} настају у пресеку оса кружница које су исцртане у A-P и L-M равнима, као апроксимативне обвојнице подножја латералне и медијалне кондиле (артикуларне хрскавице) на претходно дефинисаним A-P и L-M пројекцијама полигоналног модела фемура, слика 4.

КРИВА-ВОДИЉА ТЕЛА ФЕМУРА

Крива водиља тела фемура (femoral shaft guiding curve - FSC) је просторна крива која се конструише интерполацијом по тежишним тачкама пресека тела фемура (Mahaisavariya и други, 2002). У A-P равни, интерполација је линеарна (крива се апроксимира правом). У L-M равни, интерполациона крива се апроксимира сложеном кривом насталом тангентним спајањем два кружна лука у проксималном, односно дисталном делу фемура. Проксимални и дистални крајеви криве-водиље тела фемура се конструишу као тангентне линије на ове лукове у проксималном, односно дисталном делу, слика 5.



Слика 5. Крива водиља тела фемура у односу на механичку осу

ТЕЖИШНЕ ТАЧКЕ ТЕЛА ФЕМУРА

Тежишне тачке тела фемура се добијају конструисањем тежишта низа пресека тела уз помоћ посебног техничког елемента САТИА који омогућава да се срачуна локација тежишта површина које уоквирују криве пресека тела. Криве пресека тела се конструишу уз помоћ пресека омотача модела фемура (спољашње површине) и низа од 16 равни које су ортогоналне на просторну криву насталу пресеком антериорног дела омотача тела фемура и равни која пролази кроз приближну осу тела фемура и при томе је нормална на А – Р раван. Приближна оса тела фемура (approximate femoral shaft axis – aFSA) се конструише у А-Р равни уз помоћ тачака: P_IsoF и тачке која се конструише као А-Р пројекција превојне тачке великог трохантера, слика 5.

Пресек антериорног дела омотача тела фемура и овако добијене равни служи за конструкцију два лука која се тангирају у средишњем региону тела фемура. Оба лука се конструишу уз помоћ три тачке узете са овог пресека у одговарајућем проксималном, односно дисталном региону.

Следи конструисање 16 равних пресека тела фемура. Битно је да се тих 16 пресека налазе у простору између најниже тачке малог трохантера посматрано из постериорног аспекта А-Р равни (са задње стране или од позади) и прелазног дела тела у дистални крајак који се одликује наглом променом пресека. Овим просторним ограничењем се настоји да избегне узимање обзир тежишних тачака оних пресека који поред тела фемура садрже и утицај других морфолошких целина (конкретно, трохантерског региона и врата на проксималном делу и кондила на дисталном). Ови равни пресеци су уоквирени са 16 затворених крива (понекад, када се пресек није резултирао у једној већ у више мањих раздвојених крива, потребно је извршити њихово сједињавање). Следи конструисање површина које су ограничене овим кривама, а потом и тежишта ових површина. Следећи корак је конструисање рудиментарне криве водиле тела фемура (rFSC) интерполацијом, са ограничењем да крива пролази кроз тежишне тачке 16 пресека. Рудиментарна крива водила тела фемура сада служи као основа за израду пројекција криве водиле тела фемура у А-Р и L-М равни, слика 5.

ПРОЈЕКЦИЈА FSC У А-Р РАВНИ - ОСА ТЕЛА ФЕМУРА

У А-Р равни, пројекције интерполационих тачака *rFSC* служе за линеарну интерполацију и конструисање праве линије која представља приближну пројекцију *rFSC* у А-Р равни. Ова права линија дефинише осу (која се поклапа са њом) која се често назива и осом тела фемура (femoral shaft axis - *FSA*).

ПРОЈЕКЦИЈА FSC У L-М РАВНИ

У L-М равни, пројекције интерполационих тачака *rFSC* служе за конструкцију два лука која се тангирају у средишњем региону тела фемура. Оба лука се конструишу уз помоћ три тачке из овог скупа интерполационих тачака у одговарајућем проксималном, односно дисталном региону. Следи конструисање тангентних наставака лукова као правих линија које тангирају лукове у њиховим крајњим тачкама. Ови наставци се простиру до просторних граница фемура гледано у L-М равни. Овако добијена сложена крива (састављена од два лука која се

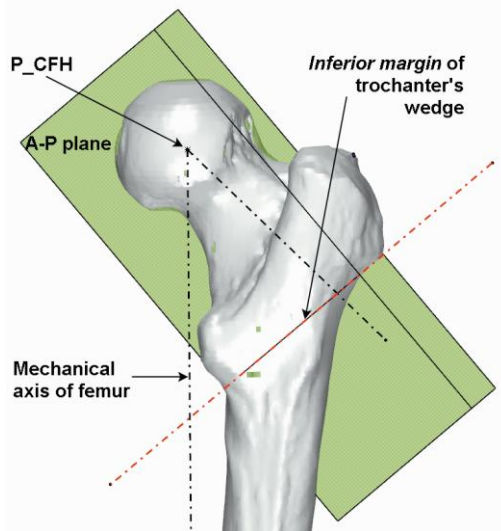
тангирају у споју и њихова два праволинијска тангентна наставка) назива се пројекцијом FSC у L-M равни или *L-M пројекцијом FSC*.

Коначно, крива водиља тела фемура - FSC се конструише пресеком две површине. Прва површина настаје екструдирањем FSA у правцу нормалном на А-Р раван. Друга површина настаје екструдирањем *L-M пројекције FSC* у правцу нормалном на L-M раван.

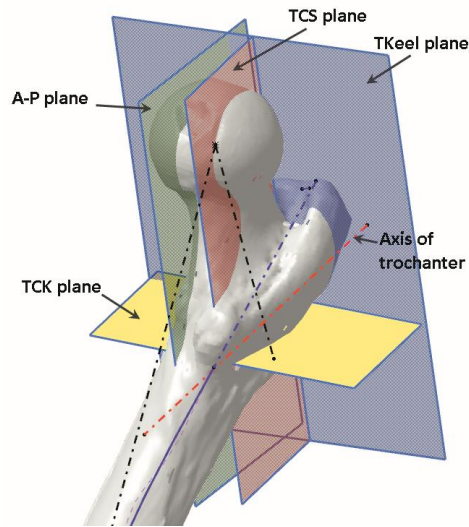
ИНФЕРИОРНА МАРГИНА ТРОХАНТЕРСКОГ РЕГИОНА ФЕМУРА

Веома битан РГЕ проксималног крајка фемура је тзв. инфериорна маргина трохантерског региона или клина (*inferior margin of trochanter wedge - IMTW*) (Stojković и други, 2009). Ово је прва линија која геометријски идентификује морфолошки ентитет трохантерског клина и повезује врат и тело фемура. Такође, овај РГЕ суштински утиче на одређивање гемеотријског места тзв. осе врата фемура, још једног од најважнијих РГЕ фемура.

Конструисање IMTW започиње пројекцијом инфериорне маргине трохантерског клина у А-Р равни у постериорном аспекту (у погледу од позади). Она се конструише као права линија која повезује подножне тачке великог и малог трохантера. У следећем кораку се дефинише раван која пролази кроз ову линију и нормална је на А-Р раван. Та нова раван – ТСК раван, служи за дефинисање новог погледа на трохантерски регион/клин. Границе великог и малог трохантера се, у овој равни, пројектују у два кружна лука. Центри кружних лукова су тачке које одређују геометријско место права линије која представља пројекцију IMTW у овој (ТСК) равни. Истовремено, на овај начин, одређена је просторна локација IMTW, односно сама инфериорна маргина трохантерског региона или клина. На слици б а и б, су приказане одговарајуће равни и IMTW.



а) Инфериорна маргина трохантерског региона фемура

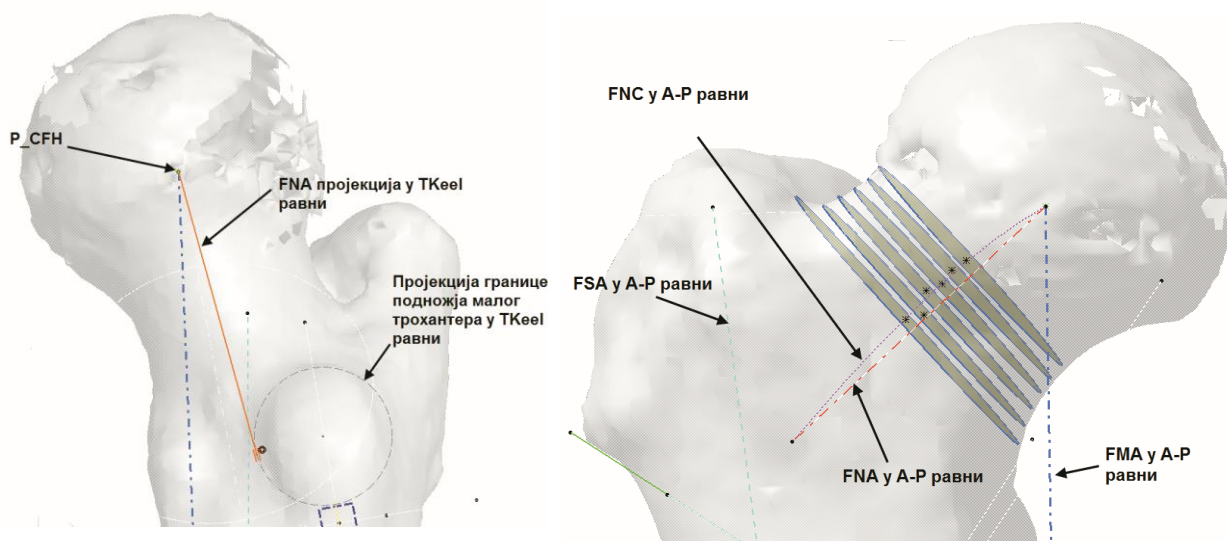


б) РГЕ трохантерског региона

Слика 6. IMTW и РГЕ проксималног крајка фемура

КРИВА-ВОДИЉА ВРАТА ФЕМУРА

Раван која је нормална на IMTW користи се у процедури конструисања тзв. осе врата фемура (femoral neck axis - FNA). Ова раван се зове TKeel раван, слика 6 б. Пре него што се конструише оса врата фемура потребно је конструисати две тачке које ће је дефинисати. Прва тачка је пројекција центра главе фемура у TKeel равни (медијални аспект). Затим следи исцртавање кружнице која представља пројекцију границе подножја малог трохантера (место где мали трохантер задира у тело фемура) у TKeel равни (медијални аспект). Линија која полази из пројекције P_CFH и тангира исцртану кружницу anteriорном делу представља пројекцију FNA у TKeel равни. (Слика 7 а)



а) FNA у TKeel пројекцији, медијални аспект

б) A-P пројекција FNC и FNA

Слика 7 - Крива водилца и оса врата фемура

Следи поступак сличан поступку конструисања тежишних тачака тела фемура. У овом случају, криве пресека врата се конструишу уз помоћ пресека омотача модела фемура (спољашње површине) и низа од 5 равни које су ортогоналне на пројекцију FNA у TKeel равни. И овде је битно је да се тих 5 пресека налазе у простору између главе и трохантерског клина како би се избегло узимање у обзир тежишних тачака оних пресека који поред врата фемура садрже и утицај других морфолошких целина (слика 7 б).

Следи конструисање површина које су ограничене кривама пресека врата, а потом и тежишта ових површина.

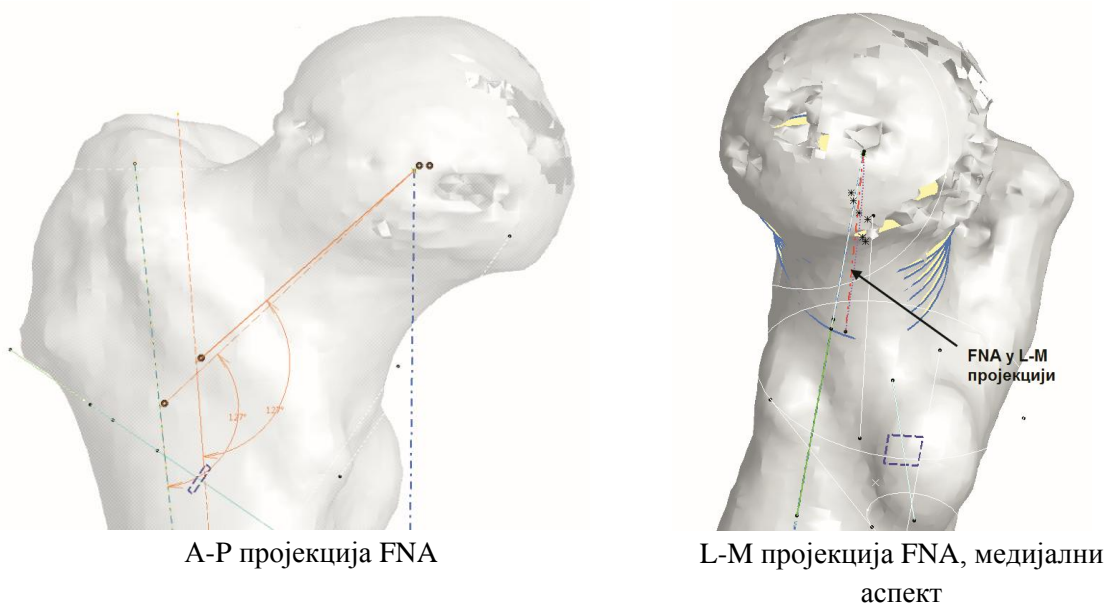
Следећи корак је конструисање рудиментарне криве водиле врата фемура (rFNC) интерполацијом, са ограничењем да крива пролази кроз тежишне тачке 5 пресека. Рудиментарна крива водилца тела фемура сада служи као основа за израду пројекција криве водиле врата фемура у A-P и L-M равни на исти начин као и код криве водиле тела.

ПРОЈЕКЦИЈА FNC У А-Р РАВНИ

У А-Р равни, пројекције интерполационих тачака $rFNC$ служе за конструкцију лука који представља пројекцију криве водиле врата фемура у А-Р равни. Лук се конструише уз помоћ три тачке из овог скупа интерполационих тачака. Следи конструисање тангентног наставка лука као праве линије која тангира лук у његовој крајњој тачки (латерални крај). Ови наставци се простиру до просторних граница торхантера и тела фемура гледано у А-Р равни. Овако добијена сложена крива (састављена од лука којег тангира праволинијски тангентни наставак) назива се пројекцијом FNC у А-Р равни или *А-Р пројекцијом FNC*, слика 8 а.

Оса врата фемура

У А-Р равни, пројекције интерполационих тачака $rFNC$ често служе за линеарну интерполацију и конструисање праве линије која представља приближну пројекцију $rFNC$ у А-Р равни. Ова права линија дефинише осу (која се поклапа са њом) која се често назива и осом врата фемура (femoral neck axis - **FNA**) – слика 8 а .

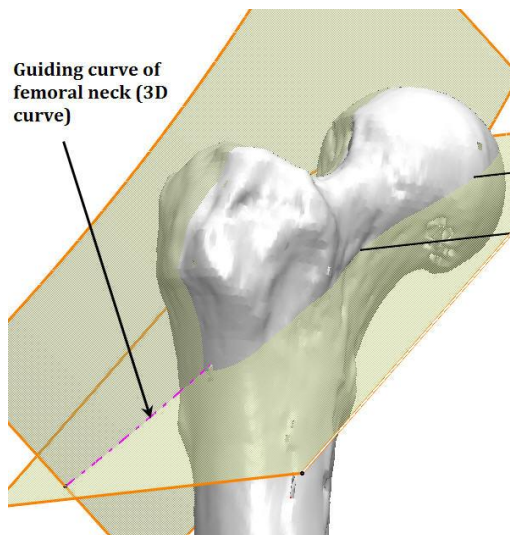


Слика 8 А-Р и L-M пројекција FNA

ПРОЈЕКЦИЈА FNA У L-M РАВНИ

У L-M равни, пројекције интерполационих тачака $rFNC$ служе за конструкцију лука који представља пројекцију криве водиле врата фемура у L-M равни (слика 8 б). Лук се конструише уз помоћ три тачке из овог скупа интерполационих тачака. Следи конструисање тангентног наставка лука као праве линије која тангира лук у његовој крајњој тачки (латерални крај). Ови наставци се простиру до просторних граница торхантера и тела фемура гледано у L-M равни. Овако добијена сложена крива (састављена од лука којег тангира праволинијски тангентни наставак) назива се пројекцијом FNC у L-M равни или *L-M пројекцијом FNC*.

Крива водила врата фемура - FNC се конструише пресеком две површине. Прва површина настаје екструдирањем пројекцијом FNC у А-Р равни у правцу нормалном на А-Р раван. Друга површина настаје екструдирањем L-M пројекције FNC у правцу нормалном на L-M раван, слика 9.



Слика 9 Крива водила у пресеку две ортогоналне површине

ЗАКЉУЧАК

Предложено техничко решење представља једнозначан *поступак* или *метод* за утврђивање референтних геометријских ентитета (PTE) фемура чиме се стичу неопходни услови за брз, тачан и стандардан поступак:

1. реверзног инжњеринга имплантата и
2. конструисања фиксатора,

прилагођеног јединственој анатомији пацијента.

Предложено техничко решење представља ефикасан начин примене CAD технологија и метода реверзног моделирања и инжењеринга за геометријску анализу других, а посебно „других“ костију у коштаном систему.

БИБЛИОГРАФИЈА

1. Sun W., Darling A., Starly B., Nam J. 2004. Computer-aided tissue engineering: overview, scope and challenges. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 39(Pt 1):29-47.
2. Sun W., Starly B., Darling A., Gomez C. 2004. Computer-aided tissue engineering: application to biomimetic modelling and design of tissue scaffolds. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 39(Pt 1):49-58.
3. Goh J. C., Ho N. C., Bose K., 1990. Principles and applications of computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology in orthopaedics. *Annals of the Academy of Medicine*. 19(5):706-13
4. Kurazume R, Nakamura K, Okada T, Sato Y, Sugano N, Koyama T, Iwashita Y, Hasegawa T, 2009, "3D reconstruction of a femoral shape using a parametric model and two 2D fluoroscopic images", *Computer Vision and Image Understanding* 113 pp.202–211
5. Kwak S. D., Blankevoort L., Ahmad C. S., Gardner T. R., Grelsamer R. P., Henry J. H., Ateshian G. A., Mow V. C., 1995. An anatomically based 3D coordinate system for the knee joint. *Advances in Bioengineering*. ASME, BED-31: 309-310
6. Schmutz B., Reynolds K. J., Slavotinek J. P., 2006. Development and validation of generic 3D model of the distal femur. *Computer Methods in Biomechanics and biomedical Engineering*. 9(5): 305-312
7. Trajanovic M., Vitkovic N., Stojkovic M., Manic M., Arsic S. 2009. The morphological approach to geometrical modelling of the distal femur, 2nd South-East European Conference on Computational Mechanics, Proc. SE191
8. Wheelless, C. R. 2009 *Wheelless' Textbook of Orthopaedics*. Durham: Duke Orthopaedics.
9. Cooke T.D.V., Sled E. A., Scudamoore, R. A. 2007. Frontal plane knee alignment: A call for standardized measurement. *The Journal of Rheumatology*, 34:9 1796-1801
10. Mahaisavariya B., Sitthiseripratip K., Tongdee T., Bohez E. L. J., Sloten J. V., Oris P., 2002. Morphological study of the proximal femur: a new method of geometrical assessment using 3-dimensional reverse engineering. *Medical Engineering & Physics*. 24: 617-622
11. Stojkovic M, Trajanovic M, Vitkovic N, Milovanovic J, Arsic S, Mitkovic M, "Referential geometrical entities for reverse modeling of geometry of femur". In: Tavares JM, Jorge N, editors. *Proceedings of VIPIMAGE2009 - Second Thematic Conference on Computational Vision and Medical Image Processing*; 2009 Oct 14-16; Porto, Portugal; 2009 p. 189-194.

Документовање техничког решења:

Приказани метод је делом документован кроз два радова објављених на конференцијама:

1. Stojkovic M, Trajanovic M, Vitkovic N, Milovanovic J, Arsic S, Mitkovic M, "Referential geometrical entities for reverse modeling of geometry of femur". In: Tavares JM, Jorge N, editors. *Proceedings of VIPIMAGE2009 - Second Thematic Conference on Computational Vision and Medical Image Processing*; 2009 Oct 14-16; Porto, Portugal; 2009 p. 189-194.
2. Trajanovic M, Vitkovic N, Stojkovic M, Manic M, Arsic S, "The morphological approach to geometrical modelling of the distal femur". In: Papadrakakis M, Kojic M, Papadopoulos V,

editors. Proceedings of SEECCM 2009 second South-East European Conference on Computational Mechanics, An IACM-ECCOMAS Special Interest Conference; 2009 June 22-24; Rhodes, Greece, (zbornik radova na CD-u: SE191)

3. Trajanović M, Vitković N, Trifunović M, Arsić S. “Novi pristup u generisanju interpolacionih površina fizičkih objekata”. YUINFO, 2009 mart 8-11, Kopaonik, Srbija (zbornik radova na CD-u)

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ РЕФЕРЕНТНИХ ГЕОМЕТИЈСКИХ ЕНТИТЕТА У ПОСТУПКУ РЕВЕРЗНОГ МОДЕЛИРАЊА ХУМАНЕ БУТНЕ КОСТИ

је развијен на Машинском факултету у Нишу у оквиру пројекта TP-12012 Примена рачунарски подржаних технологија у хирургији коштано зглобног система

Штампано: Март 2010.

(има укупно 14 страна)

Датум: 30.04.2010. год.

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за признање техничког решења

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008,) рецензент проф. др Горан Девеџић оценио је да су испуњени услови за признање својства техничког решења следећем резултату научноистраживачког рада:

Назив: МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ РЕФЕРЕНТНИХ ГЕОМЕТИЈСКИХ ЕНТИТЕТА У ПОСТУПКУ РЕВЕРЗНОГ МОДЕЛИРАЊА ХУМАНЕ БУТНЕ КОСТИ

Аутори: Проф. Др Мирослав Трајановић, Мр Милош Стојковић, Мр Јелена Миловановић, Никола Витковић

Категорија техничког решења: (M85) Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, новагенска проба, микроорганизми

Образложење

Предложено решење изведено је на Машинском факултету у Нишу у оквиру пројекта TP12012: "Примена рачунарски подржаних технологија у хирургији коштано зглобног система", а чији је руководилац Проф. Др Мирослав Трајановић, у току 2009. године.

Садржај техничког решења је приказан кроз следеће целине:

1. Област примене
2. Кратак опис
3. Реализација
4. Техничке могућности
5. Објашњење суштине техничког решења
6. Закључак
7. Библиографија
8. Документовање техничког решења

Субјект који је решење прихватио и примењује: Клинички центар Ниш

Мишљење рецензента

Предложено техничко решење служи као једнозначан *поступак* или *метод* за утврђивање референтних геометријских ентитета (PGE) фемура чиме се стичу неопходни услови за брз, тачан и стандардан поступак:

- a) реверзног инжњеринга имплантата, и
- b) конструисања фиксатора, прилагођеног јединственој анатомији пацијента.

Такође, овај метод може се искористи и у развоју параметарског модела геометрије фемура на основу библиотеке радиолошких и одговарајућих CAD записа, што се, коначно, у непосредној ортопедској пракси користи као модел за израду и оперативну апликацију фамилије стандардних модела спољашњих и унутрашњих фиксатора.

Област на коју се техничко решење односи

Техничко решење припада области *реверзног моделирања геометрије ткива хумане бутне кости – femura* коришћењем CAD софтвера. *Реверзно моделирање геометрије ткива* подразумева стварање геометријски-експлицитно дефинисаног дигиталног 3D модела ткива – дакле, не геометријски-инваријантног полигоналног модела (тзв. рендеровани полигонални модел) – на основу радиолошког снимка, што укључује снимке добијене X-зрацима, компјутерском томографијом или магнетном резонанцом. Реверзно моделирање геометрије ткива је део шире области која се бави реверзним инжењерингом ткива (*tissue engineering*).

Проблем који се техничким решењем решава

Метод утврђивање референтних геометријских ентитета (PGE) фемура, описан у техничком решењу, омогућава решавање неколико веома значајних проблема:

1. Утврђује јединствени и стандардни поступак прелиминарне анализе геометрије хумане бутне кости на радиолошким снимцима, што, последично, решава:
 - a. Ефикасно креирање тзв. „скелетног“ CAD модела фемура као основе (потке) за реверзно моделирање имплантата и конструисање фиксатора, прилагођених јединственој анатомији пацијента,
 - b. Брзо и тачно реверзно моделирање површинског и солид модела фемура одређеног пацијента,
2. Конструисање и израду имплантата и фиксатора, прилагођених јединственој анатомији пацијента,
3. Ефикасну припрему оперативног захвата, кроз
 - a. 3D симулацију корекција дислокација насталих преломима или деформитетима,
 - b. Лоцирање места анкерних тачака фиксатора,
4. Ефикасно зонирање запремине ткива фемура у циљу припреме модела за детаљну анализу напонско-деформационих стања у кости методом коначних елемената.

5. Креирање параметарског модела обвојне површине фемура
 - a. Аутоматизовано апроксимативно моделирање површинског и солид модела фемура одређеног пацијента на основу само 2 пројекције дигиталног рентгенског (X-ray) записа (A-P и L-M пројекције)
 - b. Примена реверзног моделирања фемура у условима слабе опремљености (поседовања само уређаја за рентгенске снимке, не и 3D компјутерске томографије)
6. Израда фамилије стандардних модела спољашњих и унутрашњих фиксатора.

Јединственост и универзалност

Као што се може видети у научно-истраживачким радовима и техничким извештајима, постоје многобројни приступи у вези са реверзним моделирањем и морфометријским анализама фемура. Ипак, треба констатовати да нити једно од тих решења не доноси овако детаљно и прецизно описани поступак за идентификацију РГЕ фемура, односно, нити је једно од тих решења у тој мери посвећено реверзном моделирању и инжњерингу имплантата и конструисању фиксатора прилагођених јединственој анатомији пацијента.

Предложено техничко решење има универзалан карактер јер указује на ефикасан начин примене САД технологија и метода реверзног моделирања и инжењеринга за геометријску анализу других, а посебно „дугих“ костију у коштаном систему.

Валидност

Посебан значај за валидност решења има одлука тима који су радили на изради решења да истраживање обухвати геометријску анализу фемура на бази од 20 узорака фемура потеклих од европских (српских) одраслих здравих особа различите старосне доби и пола (леви и десни фемур). Ово је од посебне важности јер је тиме обезбеђен довољан геометријски разнолик скуп из којег се може извући најмањи потребни скуп РГЕ који се могу сматрати заједничким за све.

Применљивост предложеног техничког решења:

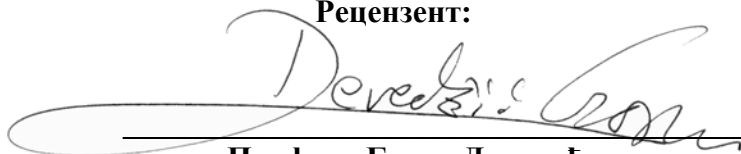
У опису техничког решења (објашњење суштине техничког решења) дат је детаљан опис поступка идентификације РГЕ фемура, који се као такав може искористити као прецизно упутство. То је од посебног значаја јер омогућава да и други тимови САД стручњака (у другим клиничким центрима) могу, пратећи дато упутство, да изврше идентификацију РГЕ фемура.

Закључак

На основу свега наведеног као рецензент оцењујем да резултат научно-истраживачког рада на пројекту TR12012: "Примена рачунарски подржаних технологија у хирургији коштано зглобног система", у виду техничког решења под називом: **"МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ РЕФЕРЕНТНИХ ГЕОМЕТРИЈСКИХ ЕНТИТЕТА У ПОСТУПКУ РЕВЕРЗНОГ МОДЕЛИРАЊА ХУМАНЕ БУТНЕ КОСТИ"** представља научни резултат који поред стручне компоненте пружа оригинални научно-истраживачки допринос и по важећим критеријумима може се сврстати у категорију М85.

У Крагујевцу, 30.4.2010.

Рецензент:



Проф. др Горан Девецић

Машински факултет у Крагујевцу

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за признање техничког решења

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008,) рецензент проф. др Милан Вишњић оценио је да су испуњени услови за признање својства техничког решења следећем резултату научноистраживачког рада:

Назив: МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ РЕФЕРЕНТНИХ ГЕОМЕТИЈСКИХ ЕНТИТЕТА У ПОСТУПКУ РЕВЕРЗНОГ МОДЕЛИРАЊА ХУМАНЕ БУТНЕ КОСТИ

Аутори: Проф . др Мирослав Трајановић, мр Милош Стојковић, мр Јелена Миловановић, Никола Витковић

Категорија техничког решења: (М85) Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, новагенска проба, микроорганизми

Образложење

Предложено решење урађено је за: Машински факултет у Нишу (У оквиру пројекта са ев. бр. ТР12012: " Примена рачунарски подржаних технологија у хирургији коштано зглобног система ", руководиоца пројекта: проф. др Мирослав Трајановић). Предложено решење је урађено: 2009. год.

Садржај техничког решења је приказан кроз следеће целине:

1. Област примене
2. Кратак опис
3. Реализација
4. Техничке могућности
5. Објашњење суштине техничког решења
6. Закључак
7. Библиографија
 - а. Документовање техничког решења

Субјект који је решење прихватио и примењује: Клинички центар Ниш

Мишљење:

Предложено техничко решење служи као једнозначан *поступак* или *метод* за утврђивање референтних геометријских ентитета (РГЕ) фемура чиме се стичу неопходни услови за брз, тачан и стандардан поступак: а) реверзног инжњеринга имплантата и б) конструисања фиксатора, прилагођеног јединственој анатомији пацијента.

Такође, овај метод се може искористи у развоју параметарског модела геометрије фемура на основу библиотеке радиолошких и одговарајућих CAD записа, што се, коначно, у непосредној ортопедској пракси користи као модел за израду и оперативну апликацију фамилије стандардних модела спољашњих и унутрашњих фиксатора.

Област на коју се техничко решење односи је: *реверзно моделирање геометрије ткива хумане бутне кости – femura* коришћењем CAD софтвера. *Реверзно моделирање геометрије ткива* подразумева стварање геометријски-експлицитно дефинисаног дигиталног 3D модела ткива – дакле, не геометријски-инваријантног полигоналног модела (тзв. рендеровани полигонални модел) – на основу радиолошког снимка, што укључује снимке добијене X-зрацима, компјутерском томографијом или магнетном резонанцом. Реверзно моделирање геометрије ткива је део шире области која се бави реверзним инжењерингом ткива (*tissue engineering*).

Проблем који се техничким решењем решава:

Метод утврђивање референтних геометријских ентитета (РГЕ) фемура, описан у техничком решењу, омогућава решавање неколико веома значајних проблема:

1. Утврђује јединствени и стандардни поступак прелиминарне анализе геометрије хумане бутне кости на радиолошким снимцима, што, последично, решава:
 - а. Ефикасно креирање „скелетон“ CAD модела фемура као основе (потке) за реверзно моделирање имплантата и конструисања фиксатора, прилагођених јединственој анатомији пацијента,
 - i. Брзо и тачно реверзно моделирање површинског и солид модела фемура одређеног пацијента,
 1. Конструисање и израда имплантата и фиксатора, прилагођених јединственој анатомији пацијента,
 2. Ефикасну припрему оперативног захвата
 - а. 3D симулација корекција дислокација насталих преломима или деформитетима,
 - б. Лоцирање места анкерних тачака фиксатора,
 3. Ефикасно зонирање запремине ткива фемура у циљу припреме модела за детаљну анализу напонско-деформационих стања у кости методом коначних елемената.
 - ii. Креирање параметарског модела обвојне површине фемура
 1. Аутоматизовано апроксимативно моделирање површинског и солид модела фемура одређеног пацијента на основу само 2 пројекције дигиталног рентгенског (X-ray) записа (А-Р и L-M пројекције)

- a. Примена реверзног моделирања фемура у условима слабе опремљености (поседовања само уређаја за рентгенске снимке, не и 3D компјутерске томографије)
2. Израда фамилије стандардних модела спољашњих и унутрашњих фиксатора.

Јединственост и универзалност

Као што се може видети у научно-истраживачким радовима и техничким извештајима постоје многобројни приступи у вези са реверзним моделирањем и морфометријским анализама фемура. Ипак, треба констатовати да нити једно од тих решења не доноси овако детаљно и прецизно описани поступак за идентификацију РГЕ фемура, односно, нити једно од тих решења није у тој мери посвећено реверзном моделирању и инжњерингу имплантата и конструисању фиксатора прилагођених јединственој анатомији пацијента.

Предложено техничко решење има универзалан карактер јер указује на ефикасан начин примене САД технологија и метода реверзног моделирања и инжењеринга за геометријску анализу других, а посебно „дугих“ костију у коштаном систему.

Валидност:

Посебна значај за валидност решења има одлука тима који су радили на изради решења да истраживање обухвати геометријску анализу фемура на бази од 20 узорака фемура потеклих од европских (српских) одраслих здравих особа различите старосне доби и пола (леви и десни фемур). Ово је посебно битно јер се тиме обезбедио довољно геометријски разнолик скуп из којег треба извући најмањи потребни скуп РГЕ који се могу сматрати заједничким за све.

Применљивост предложеног техничког решења:

У опису техничког решења (објашњење суштине техничког решења) дат је детаљан опис поступка идентификације РГЕ фемура, који се као такав може искористити као прецизно упутство. То је од посебног значаја јер омогућава да и други тимови САД стручњака (у другим клиничким центрима) могу, пратећи дато упутство, да изврше идентификацију РГЕ фемура.

На основу свега наведеног као рецензент оцењујем да резултат научноистраживачког рада под називом: " МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ РЕФЕРЕНТНИХ ГЕОМЕТРИЈСКИХ ЕНТИТЕТА У ПОСТУПКУ РЕВЕРЗНОГ МОДЕЛИРАЊА ХУМАНЕ БУТНЕ КОСТИ " представља научни резултат који поред стручне компоненте пружа оригинални научноистраживачки допринос и по важећим критеријумима може се сврстати у категорију М85.

У Нишу, 30.04.2010.



Рецензент:

Милан Вишњић
Проф. др Милан Вишњић
Медицински факултет, Ниш

Предмет: *Мишљење корисника*

Руководилац пројекта TR12012 Примена рачунарски подржаних технологија у хирургији коштано зглобног система, проф. др Мирослав Трајановић је са тимом сарадника презентовао метод за идентификацију референтних геометријских ентитета фемура.

Са становишта неосредног корисника овог техничког решења, желим истаћи да оригиналан поступак за утврђивање референтних геометријских ентитета (PGE) фемура који омогућава решавање неколико веома значајних проблема:

1. Утврђује јединствени и стандардни поступак прелиминарне анализе геометрије хумане бутне кости на радиолошким снимцима, што, последично, решава:
 - a. Конструисање и израду имплантата и фиксатора, прилагођених јединственој анатомији пацијента,
 - b. Ефикасну припрему оперативног захвата што се огледа у
 - i. 3D симулацији корекција дислокација насталих преломима или деформитетима,
 - ii. Лоцирању места анкерних тачака фиксатора,
 - iii. Ефикаснијој припреми модела за детаљну анализу напонско-деформационих стања у кости и фиксатору, методом коначних елемената.
 - iv. Аутоматизацији апроксимативног моделирања површинског и солид модела фемура одређеног пацијента на основу само 2 пројекције дигиталног рентгенског (X-ray) записа (A-P и L-M пројекције). Тиме је омогућена примена реверзног моделирања фемура и савремених приступа у оперативном третману и у условима слабе опремљености (поседовања само уређаја за рентгенске снимке, не и 3D компјутерске томографије)
 - c. Израду фамилије стандардних модела спољашњих и унутрашњих фиксатора.

Такође, предложено техничко решење има универзалан карактер јер указује на ефикасан начин примене CAD технологија и метода реверзног моделирања и инжењеринга за геометријску анализу других, а посебно „дугих“ костију у коштаној систему.

Узевши о обзир све напред наведено, сматрам да је техничко решење "Метод идентификације референтних геометријских ентитета у поступку реверзног моделирања хумане бутне кости", оригинално и јединствено и представља важан допринос како техничким тако и медицинским наукама.

У Нишу, 25.5.2010.



Директор Клинике за ортопедију

Проф. др Милорад Митковић

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Број: 612-294-2-16/2010
Датум: 28.5.2010. године
НИШ

На основу члана 68., став 1. тачка 37. Статута Машинског факултета Универзитета у Нишу (Број: 612-262-2-1/2007 од 30.03.2007. године-пречишћен текст Статута), Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Нишу на седници одржаној 28.5.2010. године, доноси

О Д Л У К У

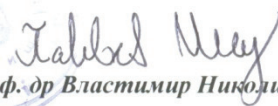
Члан 1.

Усваја се техничко решење под називом: "Метод идентификације референтних геометријских ентитета у поступку реверзног моделирања хумане бутне кости".

Одлуку доставити:

- Продекану за научно-истраживачки рад,
- Одсеку за људске ресурсе – архиви Машинског факултета.

НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У НИШУ

ПРЕДСЕДНИК

Проф. др Властимир Николић