

Uporaba računalniške tehnologije v kostni kirurgiji

Sodobna ortopedija V Ortopedski bolnišnici Valdoitra povečujejo natančnost kirurških procesov

Z uvajanjem računalniško podprtih tehnologij razvijamo v Ortopedski bolnišnici Valdoitra nov pristop v kostni kirurgiji in jo s tem spreminjamo v bolj eksaktno in manj rokodelsko vedo.

RIHARD TREBŠE, DARIJ KREUH, RENE MIHALIČ, BOGDAN AMBROŽIČ, JANEZ MOHAR, DEJAN RAVNIK, MARJANA HRIBERNIK, LILI VOUK GRBAC
Ortopedska bolnišnica Valdoitra

Preventivno obvladovanje proizvodnih in storitvenih procesov je v industriji eden izmed najpomembnejših temeljev učinkovite sistemske organizacije. Medicina je z odstopanjem in neželenimi rezultati zdravljenja daleč zadaj! Razlogi izhajajo iz ohlapnih procesov in vlog zdravstvenega osebja ter sistemske neučinkovite preventivne obvladovanja tveganj. Zapletenost medicinskih procesov daje, poleg pacientove specifičnosti, izgovor proti standardizaciji postopkov. V tej so enega izmed najradikalnejših korakov naredili anesteziologi v 90. letih prejšnjega stoletja, kar je pomembno povečalo varnost in kakovost njihovega dela ter zmanjšalo število zapletov. Podobni procesi se manj pogosto dogajajo na drugih področjih medicine.

Prisotnost je, da danes lahko natančno vodimo delovanje zapletenih naprav v vesolju, kostna kirurgija pa je pogosto še prostoročna. Večina operativnih postopkov temelji na operaterjevem občutku. V najboljšem primeru nadzorujemo tridimenzionalno kostno anatomijo in posege v resničnem bolniku z dvodimenzionalnimi rentgenskimi posnetki med operativnim posegom. Pa še te zaradi porabe časa, rentgenskega obsevanja in povečanega tveganja za okužbo uporabljamo izjemoma. Ponovljivost postopkov je zaradi tega šibka.

Inovativni postopki

V Ortopedski bolnišnici Valdoitra (OBV) smo se ob uvajanju procesne dela odločili povečevati natančnost in ponovljivost zahtevnih operacij na kosteh z uvajanjem sodobnih tehnologij v kirurške postopke. Uporaba elektronskih vodil



Izvedbo osteotomije preverimo na monitorju navigacijske naprave s 3D-pogledom. FOTOGRAFIJI ORTOPEDSKA BOLNIŠNICA VALDOITRA

spreminja utečeno paradigmo operativnega postopka v kirurgovi glavi, ker mora usklajevati vidno realnost z elektronsko resničnostjo. Pred leti smo se v OBV popolnoma usmerili v ozko specializirano področje ortopedije, kar je pomenilo veliko podobnih operativnih posegov na kirurga. S tem smo zmanjšali zapletle in povečali rutino dela kirurgov, ki se med posegi lahko posvečajo tehnološkim merilnim aparatom. Popoln nadzor rutine je prvi pogoj za varno uvajanje tehnoloških novosti. V sodelovanju s podjetjem Eklipstik smo razvili več inovativnih postopkov za izboljšanje orientacije znotraj operativnega polja in natančnosti izvedbe.

V interdisciplinarni zasedbi strokovnjakov za nove tehnologi-

je in kirurgov ortopedov smo na principu elektromagnetne navigacije zasnovali računalniško vodeno postopek, pri katerem kirurg z uporabo senzorjev na kirurških orodjih in monitorja izvaja delo operacije. Druga tehnologija temelji na tridimenzionalnem tiskanju, kjer z računalnikom izdelamo predoperativni načrt, po meri pacienta oblikujemo vodilo in ga natisnemo v biokompatibilni plastiki. Izbira med postopkoma temelji na specifičnih potrebah posameznega operativnega posega in tehnični izvedljivosti.

Univerzalni medenični okvir

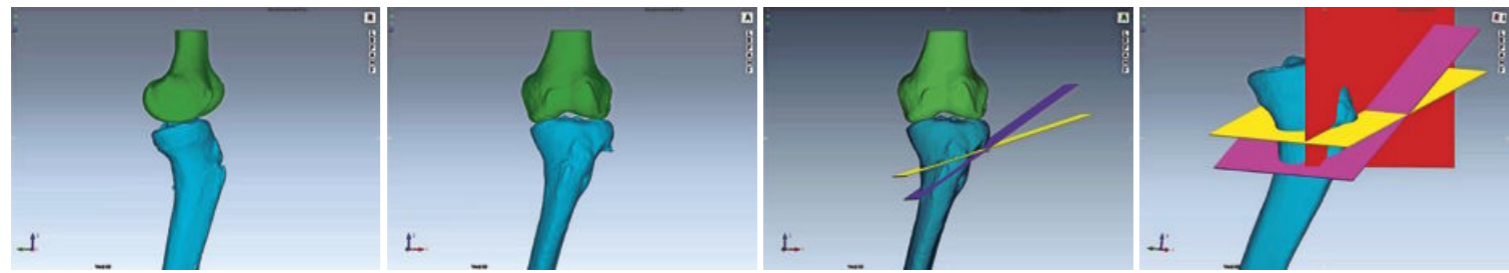
Nameščanje medenične komponente umetnega kolka je bil prvi poseg, ki smo ga izvedli z računal-

niško vodeno navigacijo. Postopek vsaditve umetnega kolka je en najuspešnejših operativnih posegov vseh časov, saj milijonom ljudem omogoči prehod iz hude invalidnosti v razmeroma trajno in normalno stanje. A zapleti ostajajo. Slabo postavljena ponvična komponenta lahko povzroča hitrejšo obrabo vsadka in zgodnejšo potrebo po njegovi zamenjavi, bolečine zaradi zatikanja, zlom vsadka, predčasno omajanje in izpah sklepa. Študije so pokazale, da celo najuspešnejši kirurgi v približno 30 odstotkih primerov ponvice ne namestijo optimalno. V svetu sicer poznamo navigacijske sisteme za lažjo namestitve ponvičnih komponent, a so zaradi rentgenskih žarkov precej obremenjujoči. Naprave so zelo

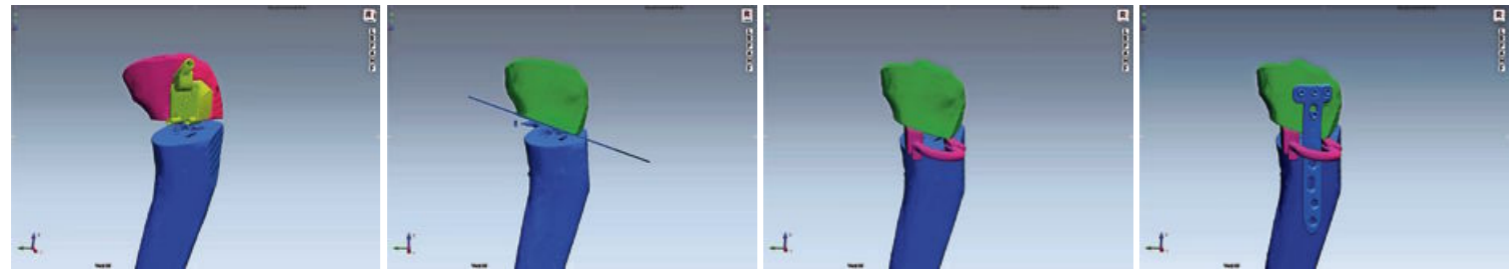
zapletene in drage (stanejo več sto tisoč evrov). Tak komercialni postopek za natančnejšo vstavitev umetnih kolken smo pred leti že poskušali uvesti v OBV, a se zaradi zapletenosti in dolgotrajnega namojskega stanja, tako kot večina drugih opredeljenih orodij, ni uveljavil.

Z novim postopkom pa smo se izognili pomanjkljivosti sedanjih navigacij. Ključni rešitev je pomenilo medoperativno zajemanje pacientove medenične ravnine. Sedanje navigacije uporabljajo točkovno zajemanje, pri katerem mora kirurg skozi sterilno pokrivalo skoraj na slepo zajeti tri znane anatomske točke, kar pa ni natančno in zanesljivo. Naša rešitev je zasnovana na razvoju univerzalnega medeničnega okvira, čez katerega operater v enem koraku ponovljivo zajame vse tri točke. Na podlagi testnih meritev smo ugotovili, da je povprečna napaka sistema med realno in izmerjeno postavitvijo umetne ponvice manj kot dve stopinji. To je odlični rezultat, saj za uporabo prostoročne tehnike velja desetstopenjski odklon za sprejemljiv in dober. Dodatna prednost je kompatibilnost s svetovnimi proizvajalci kolčnih protez.

Najprej virtualni operativni poseg
Računalniško podprte operacije smo v OBV uvedli še pri zahtevnih osteotomijah, kjer je treba zaradi bolezensko ali razvojno spremenjenih kosti te postaviti v pravilen položaj. Pogosto moramo kosti pravilno namestiti v vseh ravninah, kar je zgolj z uporabo rentgena med operacijo zahtevno. Končna postavitev je pogosto suboptimalna. V teh primerih izvedemo predoperativno CT-preiskavo pridobimo 3D-rekonstrukcijo kosti. Nato določimo mesto korekcije, nastavimo položaj in smer žaganja kosti ter opravimo simulacijo



V primeru kompleksnih deformacij kosti, kot so tiste na golenici, lahko s predoperativno CT-preiskavo pridobimo 3D-rekonstrukcijo kosti. Nato določimo korekcije, nastavimo položaj in smer žaganja kosti ter tako opravimo simulacijo posega.



Za pravilno smer žaganja kosti izdelamo po meri narejena vodila (3D-print), ki se tesno prilagajajo na površino kosti in omogočajo natančno smer žaganja. Kost na računalniku postavimo v zeleno pozicijo v vseh dimenzijah na podlagi predoperativnih meritev. V predel prežagane kosti vstavimo po meri narejene vmesnike (3D-print), ki omogočajo ohranjanje zelene korekcije kosti, in osteotomijo učvrstimo s ploščo in vijaki.

reze in postavitev fragmentov. Z Eklipstikovo programsko opremo izdelamo individualizirane šablone za namestitve na deformirano kost. Na orodjih so utorji za natančno izvedbo rezov. Na področjih, ki ne omogočajo namestitve orodij, izvedemo računalniško vodeno žaganje. Na enak način izdelamo orodje za preverjanje ustreznosti položaja kostnih fragmentov.

Poseben primer računalniško vodene operativne posege je periacetabularna 3D-osteotomija medenice (PAO), ki spada med najzahtevnejše operativne posege na kolčnem sklepu. Operativni posegi se navadno izvajajo pri mlajši populaciji s prirojeno plitkejšimi kolčnimi ponvicami, ki pri običajnih aktivnostih povzročajo bolečine.

PAO s prostoročno tehniko je zelo zahteven poseg. Zato smo v OBV začeli razvijati kirurško tehniko s pacientu lastnimi šablonami in navigacijo. Po pregledu objav na temu PAO smo ugotovili, da je bila taka izvedba posega celo preveč v svetovnem merilu. Najprej je pri pacientu treba opraviti CT-medenicne s kolki, na podlagi katerega virtualno izvedemo PAO ter načrtujemo šablono. Ta se izdelava s tehniko 3D-tiskanja iz polimerov. PAO ob uporabi šablon je zelo natančna tehnika, ki poveča varnost posega in zmanjša izpostavljenost pacienta rentgenskim žarkom.

3D-rekonstrukcija kosti

Drugi primer so računalniško vodene zahtevne večdimenzionalne osteotomije golenice. Pri kompleksnih deformacijah kosti lahko s predoperativno CT-preiskavo pridobimo 3D-rekonstrukcijo kosti. Nato določimo mesto korekcije, nastavimo položaj in smer žaganja kosti ter opravimo simulacijo

posega. Za pravilno smer žaganja izdelamo po meri narejena vodila (3D-print), ki se tesno prilagajajo na kost in omogočajo natančno žaganje. Kost na računalniku postavimo v zeleno pozicijo na podlagi predoperativnih meritev. V predel prežagane kosti vstavimo individualne vmesnike (3D-print), ki omogočajo ohranjanje zelene korekcije. Osteotomijo učvrstimo s ploščo in vijaki.

Računalniško vodeni so še nekateri zahtevni posegi na hrbtenici. V OBV uvajamo v svetu razmeroma neznanu tehniko uporabe personaliziranih vodil, ki kirurgu pomagajo pri uvajanju transpedikularnih vijakov v vretenca prsne hrbtenice pri operacijah zahtevnih deformacij. Pri skoliozah in kifozah, deformacijah po zlomih in predhodno operiranih vretencih prsne hrbtenice so meje anatomskih struktur tako spremenjene, da pri uvajanju vijaka lahko pride že pri nekaj milimetrskem odklonu od idealne smeri do nevrološko nepopravljive okvare (paraplegije in inkontinence), poškodbe življenjsko pomembnih velikih žil ali organov v prsni votlini. V svetu obstajajo tri metode nadzorovane uvajanja transpedikularnih vijakov v vretenca deformirane prsne hrbtenice, in sicer: uvajanje pod kontrolo rentgenskega aparata, prostoročna tehnika in uvajanje vijakov pod nadzorom IR navigacijskih tehnologij. Prva tehnika je zamudna in podaljša čas operacije (povečana izguba krvi, večja možnost okužbe, podaljšani čas splošne narkoze), hkrati se pacient in osebe v operacijski dvorani obseva v ionizirajočem sevanju. Druga tehnika je varna le v rokah zelo izkušenih kirurgov, ki so subspecializirani na zelo ozko področje, tretja tehnika pa zahteva nakup dragih aparatov in zahtevno predoperativno pripravo.

Idealna smer vijaka

V OBV smo s podjetjem Eklipstik razvili metodo računalniškega načrtovanja idealne smeri uvajanja transpedikularnega vijaka na podlagi tridimenzionalne rekonstrukcije CT-slik deformirane prsne hrbtenice. Kirurg na virtualnem modelu hrbtenice na podlagi vstopnega mesta in smeri v 3D-okuolu določi idealen položaj vijaka, njegovo debelino in dolžino, nato pa se iz biopolimerov s 3D-tiskalnikom izdelava šablono, ki se natančno prilega površini med operacijo prikazanim strukturam hrbtenice. Analiza predoperativnega načrtovanja in nato dejanskega položaja vijakov na operativnih CT-posnetkih pri 16 tako operiranih bolnikih izraža izredno natančnost metode, ki je varnejša in hitrejša od sedanjih.

V prihodnje načrtujemo še računalniško vodene operacije za izboljšanje gibljivosti sklepov, predvsem komolčnega in kolčnega. V svetu se veliko multinacionalnih ukvarja z razvojem take tehnologije, veliko je tudi zanimanje za doseganje OBV. Znano nam je, da ni še nihče dosegel razvoja tako raznorodnih aplikacij, kot smo jih v naši bolnišnici. A tudi naša tehnologija ne nadomešča človeškega znanja in inovativnosti, ampak zmanjšuje tveganja, preprečuje napake in izboljšuje natančnost izvedbe, v kateri je še vedno ključni operater.

Nova ameriška nosilna raketa bo Vulcan

Vesoljski transport Cilj je vedno več večkrat uporabljivih delov in motorjev

Na nedavnem, 31. kongresu Mednarodne vesoljske fundacije, ki je prejšnji teden potekal v Colorado Springsu, je družba United Launch Alliance (ULA) predstavila novo satelitsko nosilno raketo, imenovano Vulcan. Ime so izbrali s sodelovanjem uslužbencev družbe in tudi širše javnosti. V ožji izbor so prišla tri imena: Zeus, GalaxyOne in Vulcan, zadnje pa je na koncu dobilo največ glasov.

MILOŠ KRMEJ
predstavnik Mednarodne vesoljske univerze za Slovenijo

Pri raketi Vulcan nameravajo vključiti ponovno uporabljive sestavine, predvsem bo to ponovno uporabljivi raketni motor prve stopnje, dodali bodo tudi novo višjo raketno stopnjo, ki se bo v vesolju lahko večkrat aktivirala. Ponovno uporabljivi raketni motor naj bi občutno zmanjšal stroške izstrelitve, ki je za zdaj stroškovno kritični dejavnik te ameriške vesoljske prevozne družbe. Še posebej pri izstrelitvah vojaških in obveščevalnih satelitov se namreč pojavlja nov »nizkocevninski«
tekmeč, veliko manjša in mlajša družba SpaceX, za katero se

pričakuje, da bo vstopila na vojaški vesoljski trg že sredi tega leta, ko bodo dokončno usposobili novo nosilno raketo Falcon 9. Predstavnik ULA Tony Bruno pravi, da bo cena osnovne enote rakete Vulcan pod 100 milijoni dolarjev, cena večje različice »heavy«
pa tudi ne bo presegla 200 milijonov dolarjev. Ta težja različica bi bila okrepljena z novimi raketnimi motorji na trdno gorivo in z novo višjo kriogenično raketno stopnjo. Zdajšnja cena izstrelitve Atlasa V je 164 milijonov dolarjev in Delta IV Heavy kar osupljivih 400 milijonov.



Prvi stopnji Falcona 9 ponovno ni uspelo mehko pristati na plavajoči ploščadi. FOTO AMERICASPACE.COM

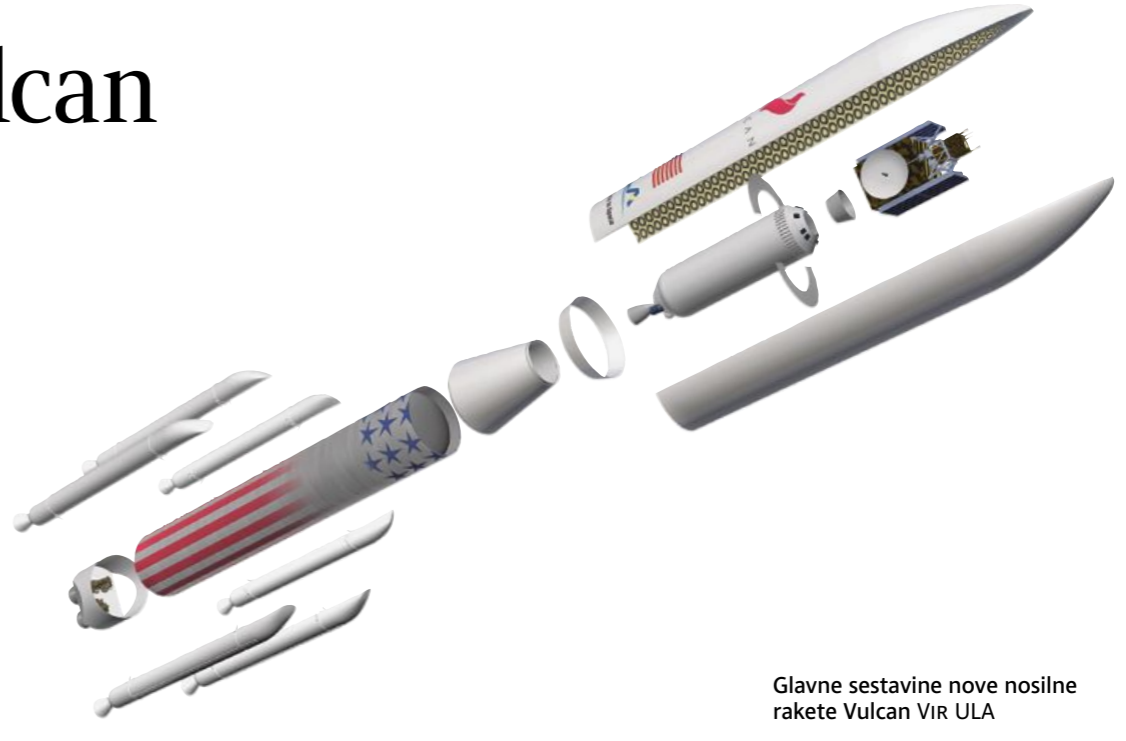
Konec raketnega monopola?
ULA, ki je v polovični lasti Boeinga in Lockheed Martin, ima že od leta 2006 na ameriškem trgu vesoljskih prevoznih sistemov pravi monopol, tako da ji pri cenah ni bilo treba tekmovali z nikomer. Rakete Delta IV sploh niso komercialno prodajali, medtem ko je bil Atlas V redko na voljo za komercialne vesoljske programe. Zdaj naj bi se to spremenilo, saj napovedujejo, da bodo že prvi poleti Vulcana namenjeni komercialnim tovorom oziroma satelitom.

Za pogan prve stopnje naj bi pri Vulcanu uporabili glavni raketni

motor družbe Blue Origin z oznako BE-4, ki za gorivo uporablja metan. En tak motor razvije potisno silo 2200 kN, za pogon prve stopnje pa bodo uporabili dva. Če se bodo med razvojem tega novega raketnega motorja pojavile težave oziroma zamude, imajo za rezervo raketni motor AR-1 družbe Aerojet Rocketdyne, ki deluje na klasično oziroma kerozinsko raketno gorivo. Motor BE-4 bo po sedanjih napovedih prišel na trg v letu 2017, to je dve leti prej kot motor AR-1, ki je predviden za leto 2019. Prav tako bo družba ULA iskala proizvajalce novih učinkovitejših raket na trdno gorivo, kajti Vulcanu bodo na bok prve stopnje lahko dodali šest takih raketnih motorjev.

Na začetku naj bi imel Vulcan kot višjo raketno stopnjo že dobro preizkušeno kriogenično in visokoenergijsko raketo Centaur. Kasneje naj bi jo zamenjala nova napredna kriogenična raketna stopnja, ki bo omogočala večjo prilagodljivost pri spravljanju tovorov v orbito.

Kot rečeno, pa bodo posebno skrb namenili ponovni uporabljivosti raketnih motorjev prve stopnje. Za njihovo vrnitev v gostejše plasti atmosfere bodo uporabljali hipersonični toplotni ščit in posebno padalo, ki ga bo mogoče usmerjati. Predvideno pa je, da bo padalo z ra-



Glavne sestavine nove nosilne rakete Vulcan Vir ULA

ketno stopnjo že v zraku prestregel helikopter, opremljen s posebno lovilno napravo oziroma kljuko. Prve dele nove rakete Vulcan bodo izdelali čez dve leti, medtem ko se je izdelava delov raketnih motorjev BE-4 že začela.

Manjše, enostavnejše in cenejše Delt IV bodo prenehali izdelovati v letu 2018. Delta IV Heavy pa bodo obdržali v ponudbi toliko časa, dokler ne bo pripravljen Vulcan Heavy; predvidoma bo to leta 2023 ali 2024. Medtem bodo še vedno uporabljali nosilni raketi Atlas V in Delta IV za vesoljske tovore, povezane z nacionalno varnostjo,

se pravi za vojaške in obveščevalne satelite.

SpaceX pa še kar naprej poskuša ...

Družba SpaceX je v zadnjega pol leta razvijala tehnologijo ponovne vrnitve oziroma mehkega pristanka pri prvi raketni stopnji nosilne rakete Falcon 9. Dvakrat se je ta stopnja neuspešno spustila na morskno površino. Letošnjega januarja pa je prvič skušala pristati na posebni morskii ploščadi. Tudi ta poskus se je izjalovil, saj je prva raketna stopnja sicer priletela do plavajoče ploščadi, vendar je pri-

stala pod prevelikim kotom in se razbila.

Trinajstega aprila – očitno niso hoteli biti vraževerni – so ponovno poskušali izvesti tak pristaneč, tudi tokrat neuspešno. Raketna stopnja je sicer priletela navpično nad pristajalno ploščad, a se je kljub temu prevrnila in se razletela. Glavni konstruktor in lastnik družbe SpaceX Elon Musk zdaj napoveduje, da bodo ponovno poskušili čez dva meseca. Glede na njegovo pregovorno vztrajnost lahko domnevamo, da se jim bo mehki pristaneč na plavajoči ploščadi posrečil še letos.