

Matevž Tomažević¹

Raziskovanje in novosti v travmatologiji

Research and Innovations in Traumatology

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: raziskovanje v travmatologiji, 3D-načrtovanje, 3D-tisk, zlom medenice, zlom kolčne ponvice

Travmatologija je veda, ki se ukvarja s poškodbami. Te imajo pomemben vpliv tako na posameznike kot na vse vpletene. Njihove posledice so lahko omejene le na mesto poškodbe, na telo pa lahko vplivajo tudi sistemsko, kadar je prizadetih več anatomske predelov in se razvije sistemski vnetni odziv. Posledica poškodbe je lahko začasna ali trajna sprememba življenja posameznika in njegovih bližnjih, saj lahko vpliva na telesno zmogljivost, psihično stanje ter socialno-ekonomski status. Pri zbiranju podatkov o poškodbah ne merimo le števila poškodb in prizadetih, temveč tudi leta prizadetosti zaradi poškodbe. Oskrba poškodovancev je timska in zapletena, vključuje različne zdravstvene delavce ter poteka od prve oskrbe na terenu do rehabilitacije. Največji delež dela specialista travmatologa v Sloveniji predstavlja obravnava skeletno-mišičnih poškodb, pri čemer travmatolog sodeluje tudi med reanimacijo in vodi bolnika med celotnim procesom zdravljenja poškodbe. V zadnjih dveh desetletjih je prišlo do pomembnega napredka v urgentni obravnavi politravmatiziranih bolnikov, pri čemer je skeletna travmatologija igrala ključno vlogo s konceptom t. i. ortopedije za nadzor škode. Napredki v tehnologiji vsadkov so omogočili boljše izide za bolnike, ki se spopadajo s posledicami poškodb. Namen tega članka je predstaviti razvoj in napredek v skeletni travmatologiji ter opisati nekaj zadnjih raziskovalnih objav s Travmatološke klinike Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana. Poudarjeno je 3D-načrtovanje in tiskanje zlomov kolčne ponvice ter medenice, opisane pa so tudi možnosti za nadaljnje raziskovanje na področju travmatologije.

ABSTRACT

KEY WORDS: research, traumatology, 3D planning, 3D printing, pelvis fracture, acetabulum fracture

Traumatology, the study of injuries, profoundly impacts individuals and communities. Injuries affect individuals locally at the injury site and systemically when multiple areas are involved, triggering a systemic inflammatory response. These injuries can result in temporary or permanent life changes, affecting physical ability, mental health, and socioeconomic status. Injury statistics quantify not only injury numbers but also years of disability. Patient care is multidisciplinary, spanning from initial field care to rehabilitation, with trauma specialists primarily addressing musculoskeletal injuries. Recent decades have seen significant advancements in polytrauma emergency management, with the

¹ Asist. dr. Matevž Tomažević, dr. med., Klinični oddelek za Travmatologijo, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana; matevz.tomazevic@kclj.si

so-called damage control orthopedics playing a pivotal role. Advances in implant technology have notably improved patient outcomes. This article outlines recent developments in skeletal traumatology, highlighting research from the Traumatology Clinic at the University Clinical Centre Ljubljana. Focus areas include 3D planning and printing of pelvic fractures, underscoring future research in traumatology.

UVOD

Travmatologija je veda o poškodbah. Poškodbe imajo pomemben vpliv na življenje posameznika in vseh soudeleženih ob tem nepričakovanem dogodku. Na posameznika poškodbe delujejo lokalno in sistemsko, kadar je poškodovanih več anatomskega predelov (s posledičnim razvojem sistemskega vnetnega odgovora). Moramo se zavedati, da poškodba začasno ali trajno spremeni življenje posameznika in njegovih bližnjih, saj prizadene poškodovančovo telesno zmogljivost, psihično stanje in socialno-ekonomski status. Zato pri zbiranju podatkov o poškodbah ne merimo le števila poškodb in poškodovanih, ampak tudi leta prizadetosti zaradi poškodbe (1).

Oskrba poškodovancev je praviloma timska. Gleda na zapletenost poškodbe je udeleženih več različnih profilov zdravstvenih sodelavcev in zdravnikov različnih specialnosti ter subspecialnosti. Za psihološko pomoč praviloma skrbi klinični psiholog in občasno tudi psihiater. Obravnava poteka od prve oskrbe na terenu in pregleda v ambulantni ali sprejema v reanimacijskem prostoru do hospitalizacije na oddelku intenzivne terapije, vanjo pa je lahko vključena nega, operativno zdravljenje, perioperativna oskrba in rehabilitacija na oddelku ter kasneje v rehabilitacijskih centrih. Namen te zapletene obravnave je vrnitev k vsakodnevnim dejavnostim, ponovna vključitev v kakovostno in aktivno življenje ter tako globalno zmanjšanje let prizadetosti zaradi poškodbe.

Največji delež dela specialista travmatologa v Sloveniji je obravnava skeletno-mišičnih poškodb. Travmatolog skupaj

z reanimacijskim anesteziologom vodi t. i. travmatološki tim v času reanimacijskih postopkov in vodi bolnika od sprejema do zaključka zdravljenja poškodbe. Zaradi zapletenosti mehanizma poškodb in fiziološkega odgovora na poškodbe je pri obravnavi poškodovanca veliko možnosti za raziskave in na njihovi osnovi tudi izboljšave v oskrbi.

Nedavni napredki v kirurških tehnikah, tehnologiji vsadkov, obravnavi med reanimacijo, v intenzivni terapiji in perioperativni negi so privedli do revolucije v oskrbi poškodovancev in izboljšali izide za bolnike, ki se spopadajo s posledicami poškodb. V članku bomo predstavili omenjene novosti in nedavno raziskovalno dejavnost na Kliničnem oddelku za travmatologijo Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana.

NOVOSTI ZADNJIH DVEH DESETLETIJ

Oskrba politravmatiziranih poškodovancev

V zadnjih dveh desetletjih je bil dosežen pomemben napredek pri urgentni obravnavi politravmatiziranih bolnikov. Veliko vlogo pri tem je imela skeletna travmatologija z uvedbo t. i. ortopedije za nadzor škode (angl. *damage control orthopaedics*, DCO). Sprememba obravnave je nastopila ob spoznanju v 90. letih prejšnjega stoletja zaradi opažanja slabih izidov pri politravmatiziranih bolnikih, ki so bili obravnavani z zgodnjo celovito oskrbo (angl. *early total care*, ETC). Takrat je bil trend, da so bile obravnave vseh zlomov že ob prihodu dokončne. Zaradi poškodb pa je bil bolnik tako »preveč bolan za operacijo«. To so sprva opazili

pri politravmatiziranih bolnikih z zlomi stegenice, pri katerih so kljub višji skupni fiziološki obremenitvi zaradi poškodbe opazili manj sistemskih zapletov, če je bil zlom stegenice najprej oskrbljen z zunanjo učvrstitvijo in šele kasneje z dokončno notranjo učvrstitvijo (2, 3). Te ugotovitve so bile temelj za hipotezo drugega udarca, situacije, v kateri že poškodovan čezmerno spodbujen imunski sistem, ki ga je povzročila poškodba, še dodatno spodbudimo z zgodnjim dolgotrajnim kirurškim posegom, kar vodi v pretirano vnetno stanje, ki povzroči zaplete, vključno s sindromom dihalne stiske pri odraslem (angl. *adult respiratory distress syndrome*, ARDS), sepso in večorgansko odpovedjo (4).

Vsak poškodovanec se zelo različno odzove na poškodbo. Obstajajo podskupine, pri katerih ETC prinese boljše rezultate kot DCO zaradi zgodnje mobilizacije in s tem krajše hospitalizacije. Zadnjih 20 let potekajo številne raziskave, kako bi lahko določili, kateri bolniki so bolj primerni za pristop DCO in kateri za pristop ETC. Opazujemo fiziološke in laboratorijske meritve ter anatomске porazdelitve poškodb. Kazalnik, ki je lahko določljiv, je laktat, znak nastajajoče acidoze, pomembni pa sta tudi koagulopatija, ki nastopi ob poškodbi, in telesna temperatura – vsekakor pa je pot do dokončnih zaključkov še dolga (5). Pomembno je, da delujemo kot travmatološki tim in s skupnim znanjem skrbimo za najboljšo oskrbo poškodovancev. S tem namenom se poskušamo včlaniti v TraumaRegister DGU®, v katerega so včlanjene vse bolnišnice v Nemčiji, ki smejo sprejemati politravmatizirane bolnike in veliko bolnišnic v Evropi, ki sprejemajo politravmatizirane bolnike. Namen registra je spremljanje kakovosti oskrbe.

Tehnologija vsadkov

Za boljšo oskrbo poškodovancev je pomemben tudi razvoj tehnologije proizvodnje vsadkov. V zadnjih desetletjih sta tehnolo-

gija izdelave vsadkov in izbor materialov tako napredovala, da so popolne novosti izpred desetih let danes stalnica v medicinski praksi. Danes se občasno že uporablja vsadke, ki so še v fazi razvoja in bodo morda postali stalnica v naslednjih desetih letih.

Eden od takih vsadkov je intramedularni žebelj (IMŽ), ki ga pri zlomu cevastih kosti namestimo v medularni kanal. Intramedularno žebljanje predstavlja učinkovit sistem za zdravljenje zlomov dolgih kosti z majhnimi operativnimi brazgotinami, nizkimi stopnjami okužb in zgodnjo povrnitvijo funkcije (6). Najzgodnejši IMŽ so bili kanulirani žebli, sestavljeni iz trdih palic, ki so se uporabljali v 19. stoletju. Pri vstavljanju kanuliranega žeblja najprej vstavimo vodilno žico manjšega premera, ki nato deluje kot vodilo za vstavev žeblja po kanalu, ki poteka po sredini žeblja (7). Napredki v tehnologiji žebeljev so zaradi težav pri zlomih z več odlomki in poševnih zlomih pripeljali do razvoja zaklepnih IMŽ, ki so postali priljubljeni v 70. letih 20. stoletja. Uporaba je bila še vedno omejena na zlome diafiz dolgih kosti.

Razvoj je v zadnjem času pripeljal do možnosti zaklepanja s številnimi vijaki, ki omogočajo trdno držanje v kratkih odsekih s kotno stabilnostjo. Ti zaklepi omogočajo enako aksialno stabilnost dolgih kosti po učvrstitvi z močno izboljšano kotno in rotacijsko stabilnostjo (8). Za celjenje kosti potrebujemo kompresijo na mestu zloma. Kompresijo je sedaj možno doseči tudi s sistemi intramedularnega stiskanja, ki po postavitvi zagotavljajo stiskanje prek mehanizma vijaka, kar vodi v izboljšan stik kosti in krajši čas kostnega preraščanja (9). Čeprav te novosti razširjajo obseg intramedularnega žebljanja, še vedno veliko težavo predstavljata staranje prebivalstva in vse večje število osteoporotičnih zlomov. Za ta namen so bili uvedeni sistemi za večkratno zaklepanje, ki združujejo prednosti kotno stabilne zasnove z zasnovo zaklepnih

konstrukcij pri osteoporotični kosti. Zgodnji rezultati z uporabo teh sistemov za žebljanje nadlahtnice so povezani z visokimi stopnjami celjenja in dobrimi kliničnimi rezultati (10).

Za izboljšano kakovost žebljanja ima pomembno vlogo tudi priprava medularnega kanala. Pred vstavljanjem IMŽ izvedemo povrtavanje kostnega kanala, da povečamo stično površino kostnega kanala in žeblja ter na ta način tudi trdnost zgradbe, saj uporabimo IMŽ z večjim premerom in s tem povečamo stično površino med žebljem in kostjo. (11).

Vedno večjo vlogo imajo tudi žebliji, prevlečeni z različnimi snovmi, ki preprečujejo nastanek okužbe. Prvi taki žebliji so bili prevlečeni z lokalnimi antiseptičnimi snovmi, kot je srebro, a ta lahko povzroči motnje v celični steni in posledično smrt celice (12). Čeprav so bili na začetku izraženi pomisleki zaradi možnosti lokalne in sistemske strupenosti pri uporabi teh vsadkov, so se slednji dobro obnesli z nizkimi stopnjami zapletov in skoraj trojnimi zmanjšanjem okužb (13). Naslednja izboljšava prihaja z antibiotičnimi žebliji. Prve smo oblikovali travmatologi sami, in sicer smo v kostni cement zamešali antibiotik in nato z njim obdali IMŽ. Sledili so tovarniško izdelani IMŽ z antibiotikom, ki se je nadzorovano sproščal v kost. Tako prevlečeni žebliji zagotavljajo konstanten izpust lokalnih antibiotikov v prvih 48 urah, s čimer dosežemo lokalne koncentracije, ki so več kot tisočkrat večje, kot bi bile ob sistemskem vnosu (14). Antibiotično prevlečeni vsadki so se izkazali kot koristni pri obvladovanju intramedularne okužbe po učvrstitvi zlomov in so povezani s skoraj 75-% zmanjšanjem stopnje okužb pri odprtih zlomih.

Tudi pri izdelavi plošč za notranjo učvrstitev je prišlo do velikih preobratov. Sistemi plošč za osteosintezo morajo upoštevati možnost slabe kakovosti kosti. Omenjena težava se pogosto pojavi pri obvladovanju periprotetičnih zlomov, pri

katerih je slaba kakovost kosti pogosto povezana s težavno anatomijo ob prisotnosti vsadka. Zato moramo spreminjati kot, pod katerim vrtamo, da ima vijak zadostno oprijemališče v kosti. To pogosto preprečuje bikortikalno učvrstitev, še posebej pri običajnih zaklepnih vijakih. Za obvladovanje tega sodobna tehnologija uporablja poliak-sialne sisteme ploščic, pri katerih se vijaki lahko namestijo znotraj 30-stopinjskega stožca. Te značilnosti dajejo omenjenim vsadkom veliko prilagodljivost, hkrati pa povečajo oprijem v osteoporotični kosti do največje možne mere. S tem širijo obseg indikacij, klinični rezultati pri njihovi uporabi pa niso slabši v primerjavi z monoak-sialnimi sistemi (15).

Biološko zdravljenje

Nezaraščanje zloma ostaja pomembna ovira v sodobni ortopediji. Predstavlja veliko težavo, ki nastane zaradi zapletenega medsebojnega delovanja med mehaniko in biologijo, kar zahteva podrobno analizo bolnika, učvrstitve nezaraščenega zloma in stanja mehkih tkiv, da lahko zagotovimo ustrezno zdravljenje. Tudi po uspešnem zdravljenju bolniki pogosto poročajo o trajnih bolečinah, funkcionalnih omejitvah in slabših zmožnostih od splošnega prebivalstva (16). Koncept diamanta pomaga zdravniku pri pregledu dejavnikov za uspešno celjenje zlomov in tako opredeli, kaj morda manjka ob nezaceljenem zlomu. Ta koncept predlaga, da za uspešno celjenje zlomov v lokalnem okolju potrebujemo prisotnost osteogenih celic, osteoinduktivne posredovalce, osteokondukcijske matrike, ustrezno mehansko stabilnost in zadosten krvni obtok (17). Za ta namen se obsežneje raziskuje pomen in način spremembe mezenhimske celice (18).

RAZISKOVANJE NA KLINIČNEM ODDELKU ZA TRAVMATOLOGIJU

Na Kliničnem oddelku za travmatologijo Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana smo razdeljeni na podpodročja, s katerimi

se ukvarjamo. Le na tak način smo lahko ves čas v stiku s strokovnim vrhom travmatologije. Razdeljeni smo na športno kirurgijo, kirurgijo stopala, kolena, rame, hrbtenice, roke, politravme, ortogeriatrije, kostnih okužb in medenice. Tako lahko obravnavamo vse najtežje primere iz države in občasno tudi iz sosednjih držav. Opisal bom le 3D-načrtovanje in tiskanje zlomov kolčne ponvice ter medenice.

Tridimenzionalno načrtovanje in tiskanje

V zapletenih primerih sklepnih zlomov obstaja veliko načinov zdravljenja. Zdravljenje se začne z načrtovanjem. Kirurgov predoperativni načrt vključuje namestitvev bolnika na klinični oddelek, izbiro pristopa, način redukcije odlomkov, začasno učvrstitev, izbiro vsadkov, varne trajektorije za vijake, zapiranje rane ter pooperativno obravnavo in rehabilitacijo. Zelo pomembno je dobro razumeti in poznati zlom, da se izdela ustrezen načrt, ki ga je mogoče izvesti v realnem času operacije. Zato je bilo razvitih in se še vedno razvija veliko modulov za predoperativno načrtovanje. Na našem oddelku uporabljamo programsko opremo za predoperativno načrtovanje (EBS®, Ekliptik d.o.o.), in sicer za načrtovanje operativnega postopka in notranjo učvrstitev težkih sklepnih zlomov od leta 2007 (19). V tem času smo načrtovali na stotine postopkov (avtor več kot 300 od leta 2012 naprej).

Območje, kjer je skrbno predoperativno načrtovanje nujno, so zlomi medenice in kolčne ponvice (*acetabulum*). Kolčna ponvica je zapletena 3D-struktura. Ima obliko narobe obrnjene skodelice in je v medenici vpeta v dva kostna stebra medenice, ki se raztezata od iliosakralnega sklepa. Kolčni sklep je težko obremenjen sklep z lastno stabilnostjo. Pristopi do kolčne ponvice so omejeni z velikimi žilami, živci in močnimi ter dobro prekrvavljenimi mišicami. Zaradi zapletene anatomije in težkih pri-

stopov je operacija kolčne ponvice razmeroma nova. Pionirja kirurgije kolčne ponvice sta R. Judet in E. Letournel, ki sta preučevala različne RTG-projekcije in s kombinacijo anteroposteriorne, iliačne in obturatorne naklonske projekcije omogočila razumevanje zlomov in s tem operacijo kolčne ponvice (20). CT in računalniška tehnologija sta omogočila 3D-rekonstrukcijo medenice, s čimer je postalo očitno, da obstajajo velike razlike med posameznimi medicami. 3D-rekonstrukcije zlomljene medenice so olajšale predstavo o morfologiji zloma, vendar jih je še vedno težko prenesti v realen čas kirurgije (21).

Zaradi zapletenosti 3D-anatomije medenice in njenih okoliških tkiv so take operacije povezane z izjemno strmimi učnimi krivuljami. Edini način učenja in operiranja zlomov medenice ter kolčne ponvice je bil včasih študij na truplih in učenje ob pomoči bolj izkušenih kirurgov ter na koncu operiranje na resničnih bolnikih. Zaradi relativno majhnega števila primerov je bil razvoj kirurških pristopov počasen, vendar nenehen. Danes so še vedno v uporabi stari ilioingvinalni, ilio-femoralni in Kocher-Langenbeckovi pristopi do kolčne ponvice, prav tako pa obstajajo novi pristopi, ki se še vedno razvijajo (22, 23). Naslednji korak k razumevanju zloma je bil omogočiti razčlenitev zlomov. Razčlenitev zlomov in možnost virtualnega premikanja zlomljenih predmetov je omogočila načrtovanje tehnike redukcije zloma. Redukcija zloma je ključni element za ustrezno notranjo učvrstitev. Načrtovanje, kako premakniti odlomek zloma in kako ga držati na mestu, dokler ni opravljena dokončna notranja učvrstitev, je ključno znanje vsakega izkušenega travmatološkega skeletnega kirurga. Uporaba predoperativnega 3D-načrtovalnega orodja je kirurgom olajšala redukcijo zloma (24). Načrtovanje virtualne notranje učvrstitve zloma nam je omogočilo razumeti, kateri vsadek bi morali izbrati in kako ga upogniti, da bi se najbolje

prilegal zlomljeni medenici. Z dobo novih tehnologij, kot je razvoj 3D-tiskanja, se je razvilo tudi tiskanje 3D-modela posamezne medenice, glede na katerega bi se lahko upognili vsadki (25). Tiskanje načrtovanih vsadkov za notranjo učvrstitev je edini logični korak. Obstaja nova funkcija, dodana obstoječi programski opremi EBS®. Načrtovani vsadek se lahko izvozi v datoteko .stl (angl. *stereolithography*) in pošlje v 3D-tiskanje. Na voljo so vodila za vrtnje in nameščanje vijakov (26). Glede na zmožnosti, ki jih imamo, smo razvili protokol virtualne repozicije odlomkov in posamezniku prilagojeno oblikovanje plošč, ki jih nato natisnemo in uporabimo za model pri ukriavljanju rekonstrukcijskih plošč. Na tak način imajo bolniki njihovi anatomiji prilagojene ukrivljene vsadke za najboljšo oskrbo (27, 28). Za lažjo pripravo na operativno zdravljenje to uporabljamo tudi pri načrtovanju oskrbe poškodbe hrbtenice (29).

Raziskovanje v prihodnje

Na Kliničnem oddelku za travmatologijo UKC Ljubljana raziskujemo in sodelujemo pri več projektih. 3D-tisk je še vedno novost, čeprav ga na naši kliniki uporabljamo že nekaj let. Smiselno bi bilo raziskati vpliv 3D-tiska na uporabnika – kirurga.

Raziskujemo tudi na področju ortogeriatrije, kjer vrednotimo uspehe obravnave starejših poškodovancev, načrtujemo pa tudi vključitev v TraumaRegister DGU®, tj. register politravmatiziranih bolnikov.

ZAKLJUČEK

Travmatologija je hitro razvijajoča se veda, v kateri je izredno pomembno timsko delo. Področij za raziskovanje je veliko in navkljub intenzivnemu raziskovanju, ostaja prostor za izboljšave. Vse vabimo, da se nam pridružijo pri skupnem delu in raziskovanju novih področij.

LITERATURA

1. Haagsma JA, James SL, Castle CD, et al. Burden of injury along the development spectrum: Associations between the Socio-demographic Index and disability-adjusted life year estimates from the Global Burden of Disease Study 2017. *Inj Prev*. 2020; 26 (Suppl 2): i12–26. Doi: 10.1136/injuryprev-2019-043296
2. Nowotarski PJ, Clifford H, Brumback RJ, et al. Conversion of external fixation to intramedullary nailing for fractures of the shaft of the femur in multiply injured patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2000; 82 (6): 781–8.
3. Scalea TM, Boswell SA, Scott JD, et al. External fixation as a bridge to intramedullary nailing for patients with multiple injuries and with femur fractures: Damage control orthopedics. *J Trauma*. 2000; 48 (4): 613–23. Doi: 10.1097/00005373-200004000-00006
4. RM Smith, PV Giannoudis. Trauma and the immune response. *J R Soc Med*. 1998; 91 (8): 417–20. Doi: 10.1177/014107689809100805
5. Benz D, Balogh ZJ. Damage control surgery: Current state and future directions. *Curr Opin Crit Care*. 2017; 23 (6): 491–7. Doi: 10.1097/MCC.0000000000000465
6. Lewis D, Lutton C, Wilson LJ, et al. Low cost polymer intramedullary nails for fracture fixation: A biomechanical study in a porcine femur model. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2009; 129 (6): 817–22. Doi: 10.1007/s00402-009-0819-7
7. Rosa N, Marta M, Vaz M, et al. Intramedullary nailing biomechanics: Evolution and challenges. *Proc Inst Mech Eng H*. 2019; 233 (3): 295–308. Doi: 10.1177/0954411919827044
8. Augat P, Hoeghel F, Stephan D, et al. Biomechanical effects of angular stable locking in intramedullary nails for the fixation of distal tibia fractures. *Proc Inst Mech Eng H*. 2016; 230 (11): 1016–23. Doi: 10.1177/0954411916667968
9. Högel F, Gerber C, Bühren V, et al. Reamed intramedullary nailing of diaphyseal tibial fractures: Comparison of compression and non-compression nailing. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2013; 39 (1): 73–7. Doi: 10.1007/s00068-012-0237-3
10. Jia Z, Li C, Lin J, et al. Clinical effect of using MultiLoc® nails to treat four-part proximal humeral fractures. *J Int Med Res*. 2020; 48 (12): 0300060520979212. Doi: 10.1177/0300060520979212
11. Harwood PJ, Stewart TD. Mechanics of musculoskeletal repair devices. *Orthop Trauma*. 2016; 30 (3): 192–200. Doi: 10.1016/j.mporth.2016.04.008
12. Mijndendonckx K, Leys N, Mahillon J, et al. Antimicrobial silver: Uses, toxicity and potential for resistance. *Biomaterials*. 2013; 26 (4): 609–21. Doi: 10.1007/s10534-013-9645-z
13. Harges J, von Eiff C, Streithuenger A, et al. Reduction of periprosthetic infection with silver-coated megaprotheses in patients with bone sarcoma. *J Surg Oncol*. 2010; 101 (5): 389–95. Doi: 10.1002/jso.21498
14. Fuchs T, Schmidmaier G, Raschke MJ, et al. Bioactive-coated implants in trauma surgery. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2008; 34 (1): 60–8. Doi: 10.1007/s00068-006-6110-5
15. El-Zayat BF, Efe T, Ruchholtz S, et al. Mono- versus polyaxial locking plates in distal femur fractures – A biomechanical comparison of the Non-Contact-Bridging- (NCB) and the PERILOC-plate. *BMC Musculoskelet Disord*. 2014; 15 (1): 369. Doi: 10.1186/1471-2474-15-369
16. Hak DJ, Fitzpatrick D, Bishop JA, et al. Delayed union and nonunions: Epidemiology, clinical issues, and financial aspects. *Injury*. 2014; 45 (Suppl 2): S3–7. Doi: 10.1016/j.injury.2014.04.002
17. Giannoudis PV, Einhorn TA, Marsh D. Fracture healing: The diamond concept. *Injury*. 2007; 38 (Suppl 4): S3–6. Doi: 10.1016/s0020-1383(08)70003-2
18. Khatkar H, See A. Stem Cell Therapy in the management of fracture non-union – Evaluating cellular mechanisms and clinical progress. *Cureus*. 13 (3): e13869. Doi: 10.7759/cureus.13869
19. Cimerman M, Kristan A. Preoperative planning in pelvic and acetabular surgery: The value of advanced computerised planning modules. *Injury*. 2007; 38 (4): 442–9. Doi: 10.1016/j.injury.2007.01.033
20. Letournel E. Acetabulum fractures: Classification and management. *Clin Orthop Relat Res*. 1980; (151): 81–106.
21. Brown KM, Handa VL, Macura KJ, et al. Three-dimensional shape differences in the bony pelvis of women with pelvic floor disorders. *Int Urogynecol J*. 2013; 24 (3): 431–9. Doi: 10.1007/s00192-012-1876-y
22. Keel MJB, Ecker TM, Siebenrock KA, et al. Rationales for the Bernese approaches in acetabular surgery. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2012; 38 (5): 489–98. Doi: 10.1007/s00068-012-0229-3
23. Keel MJB, Ecker TM, Cullmann JL, et al. The Pararectus approach for anterior intrapelvic management of acetabular fractures: An anatomical study and clinical evaluation. *J Bone Joint Surg Br*. 2012; 94 (3): 405–11. Doi: 10.1302/0301-620X.94B3.27801
24. Fornaro J, Keel M, Harders M, et al. An interactive surgical planning tool for acetabular fractures: Initial results. *J Orthop Surg Res*. 2010; 5: 50. Doi: 10.1186/1749-799X-5-50

25. Chana-Rodríguez F, Mañanes RP, Rojo-Manaute J, et al. 3D surgical printing and pre contoured plates for acetabular fractures. *Injury*. 2016; 47 (11): 2507–11. Doi: 10.1016/j.injury.2016.08.027
26. Merc M, Drstvensek I, Vogrin M, et al. A multi-level rapid prototyping drill guide template reduces the perforation risk of pedicle screw placement in the lumbar and sacral spine. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013; 133 (7): 893–9.
27. Tomažević M, Kristan A, Kamath AF, et al. 3D printing of implants for patient-specific acetabular fracture fixation: An experimental study. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019; 47 (5): 1297–305. Doi: 10.1007/s00068-019-01241-y
28. Cimerman M, Kristan A, Jug M, et al. Fractures of the acetabulum: From yesterday to tomorrow. *Int Orthop*. 2021; 45 (4): 1057–64. Doi: 10.1007/s00264-020-04806-4
29. Jug M, Tomažević M, Cimerman M. 3D model-assisted instrumentation of the pediatric spine: A technical note. *J Orthop Surg Res*. 2021; 16 (1): 586. Doi: 10.1186/s13018-021-02743-5