

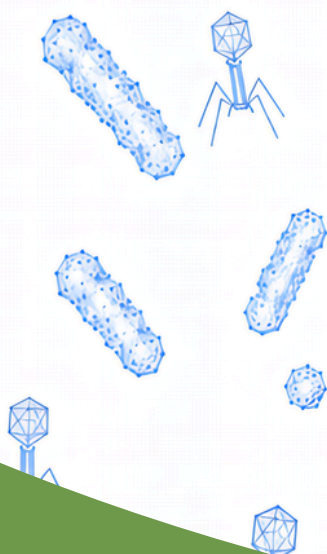
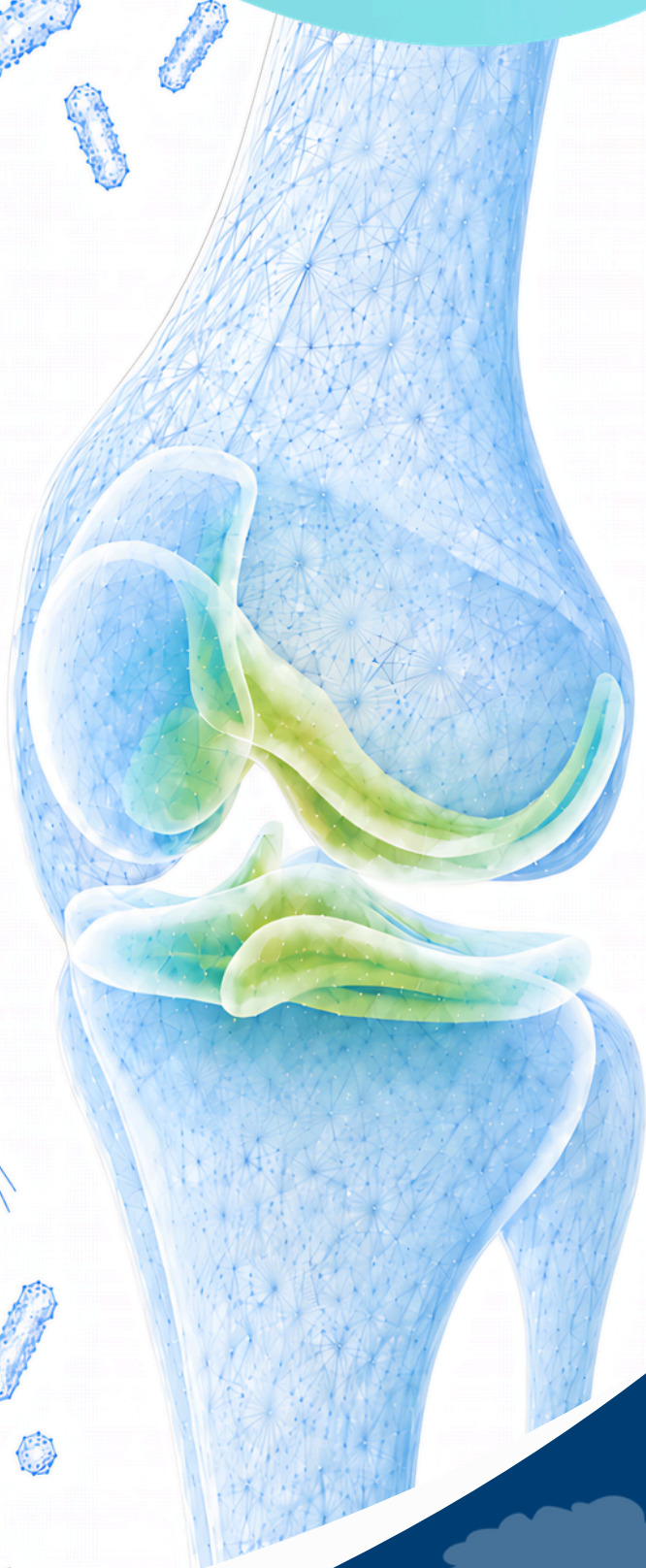


ORTOPEDSKA BOLNIŠNICA
OSPEDALE ORTOPEDICO
VALDOLTRA



ZBORNIK

13. RAZISKOVALNI DAN
Ortopedske bolnišnice Valdoltra





Organizacijski odbor:

doc. dr. Katja Šuster, univ. dipl. bioteh.

Neža Vavpetič, dr. med.

dr. Vesna Levašič, dr. med.

Kaja Križman, mag. ind. farm.

dr. Samo Roškar, dr. med

mag. Mira Šavora, univ. dipl. soc., dipl. m. s.

Branko Veladžič, mag. posl. ved

Nataša Zerbo, dipl. ekon. spec.

Luka Kostadinovski, mag. varst. nar.

Domen Viler, mag. dietet.

Samanta Dragičević, dipl. upr. org.



ORTOPEDSKA BOLNIŠNICA
OSPEDALE ORTOPEDICO
VALDOLTRA

Z B O R N I K

13. RAZISKOVALNI DAN
Ortopedske bolnišnice Valdoltra



KOLOFON

13. Raziskovalni dan Ortopedske bolnišnice Valdoltra

Tekst: sodelavci Raziskovalne skupine Ortopedske bolnišnice Valdoltra

Uredili: Katja Šuster, Neža Vavpetič, Samo Roškar, Vesna Levašič

Oblikovali: Katja Šuster, Luka Kostadinovski, Kaja Križman

Tisk: Trixin d.o.o. Koper

Ankaran, septembra 2026

Naklada: 150

Izdala in založila: Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280
Ankaran

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

617.3(082)

ORTOPEDSKA bolnišnica Valdoltra (Ankaran). Raziskovalni dan (13 ; 2026 ;
Ankaran)

13. raziskovalni dan Ortopedske bolnišnice Valdoltra : zbornik / [tekst sodelavci
Raziskovalne skupine Ortopedske bolnišnice Valdoltra ; uredili Katja Šuster ... et
al.]. - Ankaran : Ortopedska bolnišnica Valdoltra, 2026

ISBN 978-961-94454-8-8

COBISS.SI-ID 290491907



Kazalo vsebine

13. RAZISKOVALNI DAN ORTOPEDSKE BOLNIŠNICE VALDOLTRA

Prehabilitacija in zgodnja rehabilitacija pri popolni endoprotezi kolena: pregled dokazov o učinkovitosti, varnosti in klinični utemeljenosti - VABLJENO PREDAVANJE 10

Nejc Šarabon, Žiga Kozinc, Manca Opara Zupančič

Dolgoročno preživetje kolenske parcialne endoproteze z nemobilnim vložkom primerljivo s preživetjem cementne totalne kolenske endoproteze pri 15-letnem spremljanju kohorte pacientov 14

Samo Roškar, Urban Vadnjal, René Mihalič, Anže Mihelič, Vesna Levašič, Mateja Blas, Rihard Trebše

Analiza vzrokov revizij totalnih kolenskih endoprotez v prvem letu po implantaciji. Rezultati Registra endoprotetike Slovenije 18

Simon Kovač, Mateja Blas, Vesna Levašič

Zlom brezceменте tibialne komponente pri totalni endoprotezi kolena - prikaz primera 20

Matic Suša, Neža Vavpetič, Kristjan Černeka, Matevž Topolovec

Cementirana parcialna kolenska endoproteza z nemobilnim vložkom povezana z nižjim tveganjem za periprotetično okužbo kot cementirana totalna kolenska endoproteza 24

Samo Roškar, Urban Vadnjal, René Mihalič, Anže Mihelič, Vesna Levašič, Mateja Blas, Rihard Trebše

Kinetika CRP po posegu DAIR: vsak porast CRP ni nujno povezan z neuspehom zdravljenja 26

Urban Vadnjal, Samo Roškar, Anže Mihelič, René Mihalič, Rihard Trebše

Vpliv krvnega tlaka na nastanek epiduralnega hematoma po operaciji ledvene hrbtenice 28

Neža Vavpetič, Matevž Topolovec

Anteriorni pristop za fuzijo in diskektomijo vratne hrbtenice 32

Neža Vavpetič, Matevž Topolovec

Usmerjena evolucija terapevtskih stafilokoknih bakteriofagov za razširitev nabora gostiteljev: primerjalna genomska analiza ancestralnih in evolviranih fagov 36

Andrej Korošec, Anja Frantar, Luka Kostadinovski, Katja Šuster

Poloksamerni hidrogel za lokalno dostavo bakteriofagov kot možna strategija za zdravljenje periimplantitisa 40

Anja Frantar, Katja Šuster

Primerjava 14-letnega preživetja totalne kolenske endoproteze z enako obliko cementirane tibialne komponente iz titanove oz. kobalt-kromove zlitine 42

Vesna Levašič, Ingrid Milošev, Rihard Trebše

Tvorba nanocevk kot modifikacija površine aditivno proizvedene zlitine Ti-6Al-4V 44

Denis Sačer, Barbara Kapun, Ana Kraš, Ingrid Milošev

**Ocena kontaktne protimikrobne aktivnosti aditivno proizvedenih zlitin Ti-6Al-4V z različnim deležem bakra 46**

Katja Šuster, Ingrid Milošev

Predklinično vrednotenje nove titanove zlitine Ti-6Al-4V-4Cu v mišjem modelu - VABLJENO PREDAVANJE 48

Andrej Jeromen, Maša Čater, Ana Brunčič, Katarina Kozlica, Radmila Milačič Ščančar, Andrej Cör, Edvard Govekar, Ingrid Milošev, Katja Šuster, Simon Horvat

Vpliv aktivacije zunanjih in notranjih rotatorjev rame na moč prijema 50

Ivana Hrvatin, Špela Škerjanc

Pristop k bolečini v nativnem kolenskem sklepu - pregled literature 52

Nika Rupčič, Neža Vavpetič, Klemen Ravnihar

Rekonstrukcija medialnega patelofemoralnega ligamenta s tetivo mišice rectus femoris 54

Matic Povh, Samo Novak

Protokol hitre obravnave pri vstavitvi kolčne in kolenske endoproteze z uporabo kratkodelujoče spinalne anestezije 56

Desiree Celin, Jurij Krajačič, Darja Kodrič, Barbara Uljančič, Marija Bulatovič, Samo Roškar, Simon Kovač, Kamil Berro

Mehkotkivna stabilizacija pogačice po totalni kolenski endoprotezi 58

Matic Povh, Samo Novak

Klinični primer obravnave pacienta z agenezijo stegenice tipa D po Aitkenu: stopenjski, multidisciplinarni pristop 60

Urban Vadjal, Samo Roškar, Jurij Štalc, René Mihalič, Rihard Trebše

Spoštovani raziskovalci, sodelavke in sodelavci ter cenjeni partnerji Ortopedske bolnišnice Valdoltra,



znanstvenoraziskovalna dejavnost pomeni eno ključnih vsebin delovanja bolnišnice in pomembno prispeva k razvoju zdravljenja ortopedskih pacientov. Visoka strokovnost, predanost izboljšavam in zdravljenju pacientov ter prenos znanstvenih dosežkov v klinično prakso, predstavlja neprecenljivo vrednost in bogastvo naše bolnišnice. Prepoznavnost strokovnega in raziskovalnega dela sega v širše mednarodno okolje, kar nam dodatno krepi ugled in potrjuje visoko strokovnost. Zelo smo ponosni na vse sodelujoče in na dosežene rezultate.

Strategija nadaljnje rasti in razvoja bolnišnice temelji prav na teh izhodiščih, tj. z raziskovalnim delom prispevati k novostim in jih spodbujati, da dosežemo še boljše rezultate zdravljenja in visoko zadovoljstvo pacientov. V Ortopedski bolnišnici Valdoltra bomo dodatno spodbujali znanstvenoraziskovalno delo, vključevanje v mednarodne raziskovalne projekte, objave znanstvenih člankov ter vpise v doktorske študijske in pedagoške programe. Zavzeli se bomo, da postanemo pomembno središče ortopedskih inovacij v širši regiji in pridobimo status terciarne ustanove, pri čemer je odločilen prav prispevek znanstvenoraziskovalnega in strokovnega dela.

Pozdravljam izjemno bogat današnji program Raziskovalnega dne, ki dokazuje razsežnost znanstvenega raziskovanja na področju ortopedije in odpira nove priložnosti za še boljše rezultate zdravljenja. Izjemno nas veseli tudi veliko zanimanje sodelavk in sodelavcev, na kar smo najbolj ponosni, zato ob tej priložnosti vsem izrekam veliko zahvalo. Dovolil si bom ponoviti izrečene besede, da *»Raziskovalna skupina in ostali sodelavci ustvarjate izjemno dodano vrednost in neprecenljiv kapital v znanju in izkušnjah, ki ga prenašate znotraj in izven naše ustanove. Hvala vsem za doprinos k napredku stroke in širjenju ugleda naše ustanove«*.

Vsem predavateljem, aktivnim udeležencem in ostalim poslušalcem želim uspešen Raziskovalni dan ter veliko uspeha pri nadaljnjem strokovnem in raziskovalnem delu.

Direktor

Vado Keranović, univ. dipl. ekon., MBA



Spoštovane bralke in bralci, dragi sodelavci, raziskovalci in strokovna javnost,



pred nami je zbornik 13. Raziskovalnega dne Ortopedske bolnišnice Valdoltra, ki ponuja vpogled v raznoliko znanstvenoraziskovalno in strokovno delo naše ustanove ter sodelovanje z raziskovalnimi partnerji. Raziskovalni dan je skozi leta postal prostor predstavitve rezultatov, njihovega povezovanja s klinično prakso, izmenjave izkušnj in vzpostavljanja novih sodelovanj.

Letošnja organizacija Raziskovalnega dne je sofinancirana s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru projekta OrtoPop – Popularizacija znanstvenoraziskovalnih dejavnosti v ortopediji. Projekt je namenjen približevanju znanstvenoraziskovalnega dela različnim javnostim ter krepitvi njegove prepoznavnosti. Raziskovalni dan pa predstavlja pomembno priložnost za uresničevanje teh ciljev. Letos bo dogodek prvič mogoče spremljati tudi v neposrednem spletnem prenosu, s čimer želimo predstavljene raziskovalne vsebine približati še širšemu krogu zainteresirane javnosti.

Zbornik združuje 20 prispevkov, ki bodo predstavljeni v obliki predavanj, med njimi dve vabljeni predavanji. Trije vsebinski sklopi obsegajo teme s področja endoprotetike in Registra endoprotetike Slovenije, revizijskih posegov in periprotetičnih okužb, kirurgije hrbtenice, bakteriofagov in njihove lokalne dostave ter kliničnih in operativnih pristopov na področju rame in kolena, ter odražajo širino raziskovalnega dela naše bolnišnice.

V uvodnem vabljenem predavanju bo prof. dr. Nejc Šarabon s sodelavci predstavil pregled dokazov o učinkovitosti, varnosti in klinični utemeljenosti prehabilitacije in zgodnje rehabilitacije pri popolni endoprotezi kolena. Drugo vabljeno predavanje prof. dr. Simona Horvata s sodelavci pa zaključuje sklop štirih zaporednih predavanj z rezultati interdisciplinarnega projekta BIOAD – Protibakterijske zlitine: razvoj z aditivno 3D tehnologijo, karakterizacija in klinična uporaba (ARIS-J7-4639). Predavanja tvorijo povezano raziskovalno zgodbo - od dolgoročnih kliničnih rezultatov uporabe različnih materialov pri kolenskih endoprotezah, preko razvoja in vrednotenja aditivno proizvedenih titanovih zlitin ter njihove protimikrobne aktivnosti, do predkliničnega vrednotenja nove titanove zlitine Ti-6Al-4V-4Cu v mišjem modelu. Sklop tako ponazarja pot od kliničnega vprašanja in razvoja novega materiala do njegovega laboratorijskega in *in vivo* vrednotenja ter možnosti nadaljnjega prenosa v klinično uporabo.

Letošnji program odraža preplet kliničnih vprašanj, laboratorijskih raziskav in inženirskih pristopov ter sodelovanje strokovnjakov različnih področij. Prav takšno povezovanje, tudi z domačimi in tujimi raziskovalnimi institucijami, omogoča, da raziskave izhajajo iz potreb klinične prakse, nova spoznanja pa se vanjo vračajo v obliki izboljšanih diagnostičnih in terapevtskih pristopov.

Iskreno se zahvaljujem vsem avtorjem in soavtorjem prispevkov, vabljenima predavateljema, sodelavcem, partnerjem in sponzorjem, ki s svojim delom soustvarjate letošnji Raziskovalni dan. Naj dogodek spodbudi nove razprave, povezovanja in raziskovalna vprašanja ter prispeva k nadaljnjemu razvoju raziskovalne dejavnosti v Ortopedski bolnišnici Valdoltra.

S spoštovanjem,

Doc. dr. Katja Šuster, univ. dipl. bioteh.

Vodja znanstveno-raziskovalnega in izobraževalnega oddelka po pooblastilu



ORTOPEDSKA BOLNIŠNICA
OSPEDALE ORTOPEDICO
VALDOLTRA

13. RAZISKOVALNI DAN



Javna agencija za znanstvenoraziskovalno
in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije



mark medical™
empowering healthcare.



13. Raziskovalni dan Ortopedske bolnišnice Valdoltra

Prehabilitacija in zgodnja rehabilitacija pri popolni endoprotezi kolena: pregled dokazov o učinkovitosti, varnosti in klinični utemeljenosti

Nejc ŠARABON ^{1,2}, Žiga KOZINC ^{1,2} in Manca OPARA ZUPANČIČ ¹

¹Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, Polje 42, 6310 Izola, Slovenija

²Ludwig Boltzmann Institute for Rehabilitation Research, Neugebäudeplatz 1, 3100 St. Pölten, Avstrija

Ključne besede: preoperativna vadba, zgodnja mobilizacija, popolna endoproteza kolena, varnost, z dokazi podprta praksa.

I. UVOD

Popolna endoproteza kolena je uveljavljena obravnava napredovale artroze, vendar poseg spremljajo izrazit upad moči ekstenzorjev kolena, začasno poslabšanje gibljivosti in omejitve pri hoji, vstajanju ter premagovanju stopnic. Funkcionalna rezerva pred operacijo pomembno določa, kako hitro bo bolnik po posegu ponovno samostojen. Prehabilitacija zato izkoristi obdobje pred operacijo za izboljšanje telesne pripravljenosti, znanja in samoučinkovitosti, zgodnja rehabilitacija pa ta proces nadaljuje takoj, ko je bolnik po posegu medicinsko stabilen. Gre za povezan kontinuum in ne za dve ločeni storitvi.

Prispevek je klinično usmerjena sinteza predhodnega dela avtorjev: strukturiranih pregledov o prehabilitaciji in zgodnji rehabilitaciji, sistematičnega pregleda uporabniških izkušenj, fokusnih skupin ter preliminarne pregleda večcentrične longitudinalne zbirke podatkov. Namen je opredeliti, kaj je v trenutnih dokazih dovolj trdno za klinično uporabo ter predstaviti primer, kako lahko dolgoročno mednarodno sodelovanje znanstveno-raziskovalnih in kliničnih ustanov podpira uvajanje z dokazi podprte prakse.

II. UTEMELJENOST PREHABILITACIJE

Prehabilitacija praviloma vključuje ciljno vadbo, izobraževanje in po potrebi vedenjsko oziroma prehransko podporo. Najbolj dosledni učinki so opisani pri progresivni vadbi za moč, zlasti za iztegovalke kolena in druge mišične skupine spodnjih udov. Sistematični pregledi kažejo izboljšanje moči in funkcijskih testov pred operacijo ter manjše, a klinično smiselne koristi v zgodnjem pooperativnem obdobju; dokazi za trajno prednost po šestih do dvanajstih mesecih so manj enotni [1–3]. Razlogi so različne začetne sposobnosti bolnikov, trajanje programov, intenzivnost, nadzor izvedbe in izbira izidov.

Odsotnost jasne dolgoročne razlike zato ne izniči vrednosti boljše pripravljenosti ob vstopu v operativno zdravljenje.

Klinično uporaben program običajno traja štiri do osem tednov in obsega dve do tri vadbene enote tedensko. Jedro so progresivne vaje za moč v več serijah po približno 8–12 ponovitev, dopolnjene z vstajanjem s stola, hojo, ravnotežjem in vadbo stopnic. Smiselna je hibridna izvedba; redne nadzorovane enote, ki zagotavljajo individualno prilagoditev in napredovanje, ter strukturiran domači program, ki omogoča večji »odmerek« in dostopnost. Obremenitev mora slediti simptomom, ne zgolj vnaprej določenem časovnem načrtu; pričakovana prehodna utrujenost je sprejemljiva, vztrajajoče povečanje bolečine ali otekline pa zahteva prilagoditev.

IZobraževanje pacientov je pomemben podporni del. Samostojno navadno ne povzroči velikega izboljšanja objektivnih funkcijskih izidov, lahko pa zmanjša tesnobo, uskladi pričakovanja in izboljša pripravljenost na uporabo bergel, vstajanje ter prve dni po posegu. Naši pregledi uporabniških izkušenj in fokusne skupine kažejo, da bolniki cenijo praktični prikaz, ponavljanje navodil, možnost vprašanj in osebno povratno informacijo. Prepoznane potencialne ovire pri izvajanju prehabilitacije pa so bolečina, čas, prevoz, prevelika količina informacij, jezikovne razlike in neusklajena priporočila med ustanovami. Učinkovit program je zato dovolj standardiziran, da je ponovljiv, in dovolj prilagodljiv, da upošteva sposobnosti, podporo doma ter bolnikove cilje.

Varnost prehabilitacije je ob ustreznem presejanju dobra. Posebna pozornost je potrebna pri nestabilnih srčno-žilnih stanjih, izraziti omejitvi obremenjevanja, akutnem vnetju in nenadnem poslabšanju simptomov. Program ni tekmovalen za največji možni napredek, temveč način za varno povečanje rezerve pred pričakovanim fiziološkim stresom. Nekatere raziskave nakazujejo tudi krajšo hospitalizacijo in manjšo potrebo po institucionalni rehabilitaciji, kar lahko pomembno zniža stroške, povezane z zdravljenjem [2,3]. Vendar je potrebno



dodati, da so ekonomske analize še redke in odvisne od organizacije posameznega zdravstvenega sistema.

III. ZGODNJA REHABILITACIJA: UČINKOVITOST IN VARNOST

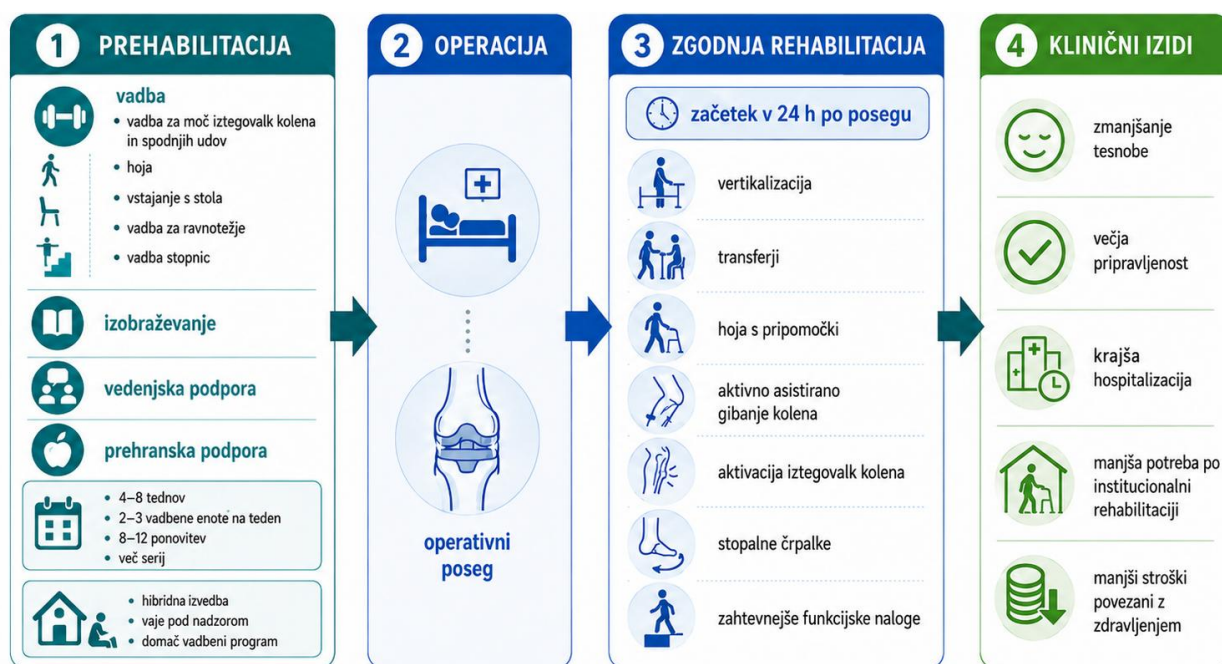
Sodobna priporočila pospešenega okrevanja podpirajo mobilizacijo na dan operacije ali najpozneje v 24 urah, če je bolnik hemodinamsko in nevrološko stabilen [4]. Randomizirane raziskave in sistematični pregledi kažejo, da zgodnejši začetek izboljša zgodnjo hojo in gibljivost ter skrajša hospitalizacijo, ne da bi ob ustreznem nadzoru povečal pogostost resnih zapletov [5–7]. Korist ne izhaja iz ene same vaje, temveč iz pravočasnega zaporedja: vertikalizacija, transferji, hoja s pripomočkom, aktivno in asistirano gibanje kolena, aktivacija iztegovalk kolena, stopalne črpalke ter postopno zahtevnejše funkcijske naloge.

Zgodnje ne pomeni agresivno. Odmerek se prilagaja bolečini, oteklini, rani, ortostatskemu odzivu, mišični kontroli in varnosti hoje. Pred vsako mobilizacijo je treba preveriti zavest, krvni tlak, slabost, motorično kontrolo ter učinek regionalne anestezije. Nenavadno huda ali naraščajoča bolečina, hitro večanje otekline, izcedek ali razprtje rane, sum na globoko vensko trombozo,

akutna dispneja, bolečina v prsih ali nova nevrološka motnja zahtevajo prekinitev in takojšnjo medicinsko oceno. Varen protokol združuje zgodnjo aktivnost, dobro analgezijo, preprečevanje trombembolije in jasno komunikacijo med kirurgom, anesteziologom, zdravstveno nego ter fizioterapevtom [4,8].

Ob odpustu naj bolnik obvlada varen transfer, hojo po predvideni razdalji, stopnice, če so potrebne doma, in ključne vaje za samostojno nadaljevanje. Napredovanje nato temelji na kakovosti izvedbe in funkcijskih mejnikih, ne le na številu dni po operaciji. Digitalna navodila in vadba na daljavo lahko povečajo dostopnost, vendar ne smejo nadomestiti osebne ocene pri bolniku z večjim tveganjem ali zapletenim okrevanjem. Izkušnja uporabnikov opozarja tudi, da so preobsežna ali nasprotujoča si navodila lahko ovira; kratke, ponovljive in med ravnmi obravnave usklajene informacije so zato del varnosti.

Pot obravnave od prehabilitacije prek operativnega posega do zgodnje rehabilitacije in pričakovanih kliničnih izidov je prikazana na Sliki 1.



Slika 1: Pot obravnave bolnika od prehabilitacije prek popolne endoproteze kolena do zgodnje rehabilitacije in pričakovanih kliničnih izidov

IV. OD DOKAZOV DO KLINIČNE PRAKSE

Klinično utemeljenost obravnave ne utemeljujemo le na povzemanju literature, temveč na sistematičnem povezovanju raziskovalnih dokazov s potrebami in možnostmi kliničnega okolja. Tak pristop ponazarja več kot 15-letno sodelovanje Fakultete za vede o zdravju Univerze na Primorskem z avstrijskimi raziskovalnimi partnerji, predvsem z Ludwig Boltzmann Institute for Rehabilitation Research. Začelo se je z raziskavami

ravnotežja in živčno-mišične funkcije [9], nadaljevalo z vrednotenjem vadbenih postopkov ter funkcijskih testov pri osebah z napredujočo artrozo in po endoprotezi kolena [10,11], danes pa vključuje sintezo dokazov, razvoj kliničnih poti prehabilitacije in zgodnje rehabilitacije, ter tozadevno ocenjevanje uporabniške izkušnje [8]. Takšno sodelovanje omogoča, da se raziskovalna vprašanja oblikuje skupaj z osebjem iz klinične prakse, in da se izvedljivost ter učinkovitost intervencij preverja v okolju, kjer bo rešitev dejansko uporabljena.

Primer zadnjega skupnega projekta je večcentrična obravnava prehabilitacije in zgodnje rehabilitacije. Trenutni delovni izvoz osrednje zbirke vsebuje 1176 meritev pri 391 identifikacijah udeležencev (od tega 179 udeležencih, pri katerih je prizadeto koleno). Meritve so načrtovane od približno šestih tednov pred posegom do 12 tednov po njem, pri delu vzorca tudi po šestih mesecih. Zbirka povezuje časovno merjeni vstani in pojdi, vstajanje s stola, WOMAC, EQ-5D-5L, gibljivost, bolečino in uporabo analgetikov z udeležbo v programu, varnostnimi dogodki ter porabo virov. Vključuje nadzorovano vadbo in elektrostimulacijo, domače vaje, praktično izobraževanje ter pooperativne vsebine, med njimi vadbo v vodi, kjer je izvedljiva.

Prav ta pristop ponazarja vrednost sodelovanja: klinično poznavanje poti preprečuje napačno razlago podatkov, metodološka disciplina pa omogoča njihovo ustrezno pretvorbo v klinična priporočila. Kvantitativne izide dopolnjujejo fokusne skupine, v katerih so bolniki poudarili pomen nadzorovane in individualizirane vadbe, praktične priprave na uporabo bergel in premagovanje stopnic, zaupanja v lastne sposobnosti ter usklajenih navodil. Tako nastaja povratna zanka med dokazi, izvedljivostjo obravnave in izkušnjo bolnika. Skupaj s poročanjem o neželenih dogodkih ter oceno ekonomskega učinka je moč prepoznati celovitost učinkovanja prehabilitacijskih in zgodnje-rehabilitacijskih programov. Sodelovanje FVZ-LBI kaže, da trajno partnerstvo omogoča več kot posamezna publikacija: ohranja skupne meritve, primerljive protokole in kritično presojo, hkrati pa odpira prostor za prilagoditev lokalnemu okolju.

V. ZAKLJUČKI

Prehabilitacija pred popolno endoprotezo kolena zanesljivo izboljša del predoperativne funkcijske pripravljenosti, njena dodatna dolgoročna korist pa ostaja manj gotova. Najbolj utemeljeno jedro so progresivna vadba za moč, funkcijske naloge in praktično izobraževanje v individualno prilagojenem, nadzorovanem ali hibridnem programu. Zgodnja rehabilitacija na dan posega oziroma v prvih 24 urah je pri medicinsko stabilnem bolniku učinkovita in varna, če napredovanje vodijo funkcijski kriteriji, spremljanje simptomov ter usklajeno obvladovanje bolečine in zapletov.

Klinična vrednost obeh pristopov je največja, kadar tvorita neprekinjeno pot od priprave na operacijo do samostojnosti po odpustu. Dolgoletno sodelovanje FVZ in LBI ponuja uporaben primer, kako združiti pregled dokazov, longitudinalne meritve, klinično presojo in glas bolnika. Tak pristop omogoča priporočila, ki niso le raziskovalno utemeljena, temveč tudi varna, izvedljiva in prenosljiva v vsakodnevno prakso.

LITERATURA

[1] Konnyu KJ, Thoma LM, Cao W, Aaron RK, Panagiotou OA, Bhuma MR, et al. Prehabilitation for Total Knee or Total Hip Arthroplasty: A Systematic Review. *Am J Phys Med Rehabil.* 2023;102(1):1-10. doi:10.1097/PHM.0000000000002006.

[2] Gränicher P, Mulder L, Lenssen T, Scherr J, Swanenburg J, de Bie R. Prehabilitation Improves Knee Functioning Before and Within the First Year After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2022;52(11):709-725. doi:10.2519/jospt.2022.11160.

[3] Moyer R, Ikert K, Long K, Marsh J. The Value of Preoperative Exercise and Education for Patients Undergoing Total Hip and Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JBJS Rev.* 2017;5(12):e2. doi:10.2106/JBJS.RVW.17.00015.

[4] Wainwright TW, Gill M, McDonald DA, Middleton RG, Reed M, Sahota O, et al. Consensus statement for perioperative care in total hip replacement and total knee replacement surgery: Enhanced Recovery After Surgery (ERAS®) Society recommendations. *Acta Orthop.* 2020;91(1):3-19. doi:10.1080/17453674.2019.1683790.

[5] Sánchez-Labraca N, Castro-Sánchez AM, Matarán-Peñarocha GA, Arroyo-Morales M, Sánchez-Joya MDM, Moreno-Lorenzo C. Benefits of starting rehabilitation within 24 hours of primary total knee arthroplasty: randomized clinical trial. *Clin Rehabil.* 2011;25(6):557-566. doi:10.1177/0269215510393759.

[6] Guerra ML, Singh PJ, Taylor NF. Early mobilization of patients who have had a hip or knee joint replacement reduces length of stay in hospital: a systematic review. *Clin Rehabil.* 2015;29(9):844-854. doi:10.1177/0269215514558641.

[7] Watabe T, Inoue K, Oka H, Taguchi T, Miyakoshi N, Shimada Y. Safety and Efficacy of Early Rehabilitation With Assistance From a Single-Joint Hybrid Assistive Limb in Patients With Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Pilot Study. *Cureus.* 2024;16(4):e57738. doi:10.7759/cureus.57738.

[8] Opara Zupančič M, Kozinc Ž, Kern H, Hohenstein K, Löffler S, Šarabon N. Early rehabilitation after total hip or knee joint replacement: a narrative review. *Eur J Transl Myol.* 2026;36(2):15153. doi:10.4081/ejtm.2026.15153.

[9] Šarabon N, Rošker J, Löffler S, Kern H. Sensitivity of body sway parameters during quiet standing to manipulation of support surface size. *J Sports Sci Med.* 2010;9(3):431-438.

[10] Bily W, Franz C, Trimmel L, Loeffler S, Cvecka J, Zampieri S, et al. Effects of Leg-Press Training With Moderate Vibration on Muscle Strength, Pain, and Function After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2016;97(6):857-865. doi:10.1016/j.apmr.2015.12.015.

[11] Bily W, Sarabon N, Loeffler S, Franz C, Wakolbinger R, Kern H. Relationship Between Strength Parameters and Functional Performance Tests in Patients With Severe Knee Osteoarthritis. *PM R.* 2019;11(8):834-842. doi:10.1002/pmrj.12056.



Dolgoročno preživetje kolenske parcialne endoproteze z nemobilnim vložkom primerljivo s preživetjem cementne totalne kolenske endoproteze pri 15-letnem spremljanju kohorte pacientov

Samo ROŠKAR ^{1,2}, Urban VADNJAL ¹, René MIHALIČ ^{1,2}, Anže MIHELIČ ¹, Vesna LEVAŠIČ ¹,
Mateja BLAS ¹, Rihard TREBŠE ^{1,2}

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

Ključne besede: primarna osteoartroza, cementirana parcialna kolenska artroplastika, cementirana totalna kolenska artroplastika tipa CR, cementirana totalna kolenska artroplastika tipa PS, preživetje.

I. UVOD

Totalna kolenska artroplastika (TKA, angl. *total knee arthroplasty*) velja za zlati standard zdravljenja napredovale osteoartroze kolenskega sklepa, vendar je do 20 % pacientov zavoljo vztrajajoče bolečine ali nelagodja v predelu operiranega kolena, nezadovoljna z izidom zdravljenja [1-3]. Za razliko od TKA je parcialna kolenska artroplastika (UKA, angl. *unicompartmental knee arthroplasty*) pri izolirani osteoartrozi enega kompartmenta (UOA, angl. *unicompartmental osteoarthritis*) povezana z ohranitvijo normalne kinematike kolena z vstavljenjo endoprotezo, boljšim obsegom gibljivosti, krajšo rehabilitacijo, boljšim funkcionalnim izidom in manj perioperativnimi zapleti [4-6]. V splošnem je UOA kolenskega sklepa pogosto prekomerno zdravljen s TKA, saj UKA v svetu predstavlja približno 10 % vseh kolenskih artroplastik, pri čemer je medialna kolenska endoproteza približno 10-krat pogostejša od lateralne [4,7]. Razlog za prekomerno zdravljenje so lahko podatki iz registrov in nekatere kohortne študije, ki poročajo o nižji kumulativni preživetveni dobi UKA v primerjavi s TKA pri 10 in 15-letnem spremljanju [8-12].

Namen naše raziskave je bil primerjati preživetje UKA in TKA vstavljenih v Ortopedski bolnišnici Valdoltra v enakem obdobju.

II. MATERIALI IN METODE

Analizirali smo zaporedno kohorto bolnikov, ki so imeli med 2010 in 2024 v Ortopedski bolnišnici Valdoltra vstavljenjo cementno UKA s fiksnim ležiščem v medialni (m-UKA) ali lateralni (l-UKA) femurotibialni kompartment. Za vsak poseg smo prospektivno zbrali podatke o starosti bolnika, spolu, strani operacije, datumu primarne artroplastike, datumu revizijske operacije, razlogu za revizijo, datumu smrti in datumu zadnjega kontrolnega pregleda; podatki so bili pridobljeni iz bolnišničnega registra ali iz zdravstvenih kartonov, kjer je bilo to potrebno. Preživetje kohorte UKA smo primerjali s

preživetjem TKA, izvedenih v istem obdobju v isti ustanovi. V tem obdobju je bilo v Ortopedski bolnišnici Valdoltra vstavljenih 10.355 kolenskih endoprotez. V raziskavo smo vključili 1.492 cementiranih UKA s fiksnim ležiščem (1.434 m-UKA in 58 l-UKA) in 8.007 cementiranih primarnih TKA s fiksnim ležiščem. Med TKA je bilo 5.057 TKA tipa CR in 2.880 TKA tipa PS. Vse vključene UKA so bile opravljene s strani 9 izkušenih kirurgov, pri čemer je vsak opravil vsaj 20 UKA letno. Vse vključene TKA pa so bile opravljene s strani 19 kirurgov, pri čemer je imel vsak opravljenih vsaj 40 TKA letno.

III. REZULTATI

Med 1.492 primarnimi UKA smo v obdobju spremljanja zabeležili 39 revizijskih posegov, od tega 37 revizij m-UKA in 2 reviziji l-UKA. Najpogostejši razlog za revizijo m-UKA je bila napredovala osteoartroza v drugem kompartmentu v 16 primerih (43 % vseh revizij m-UKA), sledilo je aseptično omajanje zaznano v 7 primerih (19 %), 5 primerov okužb (14 %), 3 primere periprotetičnega zloma (8 %), 2 primera revizije zavoljo malpozicije komponent (5 %), 2 primera revizije zavoljo nespecifične bolečine (5 %), 1 primer revizije zavoljo nestabilnosti in 1 primer brez jasno opredeljene diagnoze za revizijo. Med 2 revizijama l-UKA je v enem primeru šlo za napredovanje artroze na drug kompartment in enem primeru je šlo za okužbo. V vseh primerih napredovanja osteoartroze na druge kompartmente je bila UKA revidirana v primarno TKA.

Preživetje UKA s Kaplan-Meier analizo znaša 94,4 % (95 % IZ: 92,1-96,8) pri 15 letih spremljanja, preživetje TKA pa 93,4 % (95 % IZ: 91,6-95,2) v enakem obdobju spremljanja.

Med 8.007 primarnimi TKA smo v obdobju spremljanja zabeležili 343 revizijskih posegov. Najpogostejši razlog za revizijo TKA je bila okužba s 121 primeri (35 % vseh revizij TKA), sledilo je aseptično omajanje v 91 primerih (27 %), 35 primerov revizije zavoljo nestabilnosti (10 %), 29 primerov revizije zavoljo patelofemoralne bolečine z artrozo omenjenega



kompartmenta (8 %), 22 revizij zavoljo malrotacije komponent (6 %), 15 revizij zavoljo rigidnosti kolena (4 %), 14 primerov periprotetičnega zloma (4 %), 7 primeri revizije zavoljo obrabe polietilenskega vložka (2 %) in 9 revizij zavoljo drugih razlogov.

Ko smo primerjali preživetje celotne kohorte 1.492 UKA in celotne kohorte 8.007 TKA, pri čemer smo paciente statistično v obeh skupinah prilagodili na starost, spol, operirano stran in ITM, smo pri 15-letnem spremljanju zaznali statistično pomembno višje tveganje za revizijo TKA v primerjavi z UKA, pri čemer je razmerje tveganj (HR, angl. hazard ratio) znašal 1,5 (95 % CI: 1,09-2,11), $p=0,015$.

Ko smo preživetje celotne kohorte 1.492 UKA primerjali s preživetjem podskupine 4.215 TKA z uporabo glede na podatke registra najboljšima CR vsadkoma v bolnišnici (3.880 Sigma CR in 335 Nexgen CR), pri čemer smo paciente statistično v obeh skupinah prilagodili na starost, spol, operirano stran in ITM, pri 15-letnem spremljanju nismo zaznali razlike v tveganju za revizijo, HR 1,19 (95 % IZ: 0,83-1,70), $p=0,344$.

Ob primerjavi preživetja celotne kohorte 1.492 UKA s preživetjem podskupine 1.450 TKA z uporabo glede na podatke registra najboljšima PS vsadkoma v bolnišnici (535 Sigma PS in 915 Nexgen PS), pri čemer smo paciente statistično v obeh skupinah prilagodili na starost, spol, operirano stran in ITM, pri 15-letnem spremljanju zaznali statistično pomembno višje tveganje za revizijo TKA-PS v primerjavi z UKA, HR 1,98 (95 % IZ: 1,34-2,90), $p < 0,001$.

IV. RAZPRAVA

Rezultati naše raziskave kažejo, da je dolgoročno preživetje UKA primerljivo s TKA, kar potrjuje, da je UKA varna in zanesljiva metoda zdravljenja izolirane osteoartroze enega kompartmenta kolena. Kljub temu, da so nekateri registri in kohortne študije v preteklosti poročali o nekoliko nižji preživetveni dobi UKA v primerjavi s TKA [8-12]. Naši podatki kažejo, da pri ustrezni izbiri pacientov in natančni kirurški tehniki lahko dosežemo primerljive rezultate UKA in TKA. Najpogostejši razlog za revizijo UKA v naši kohorti je bila napredovala osteoartroza v preostalem delu kolena in tudi razporeditev preostalih razlogov za revizijo je podobna kot pri drugih dosedanjih raziskavah [3,11]. Najpogostejši razlog za revizijo TKA pa okužba, kar se sklada z ugotovitvami zadnjih poročil registrov artroplastike [13-15].

Analiza preživetja cementirane UKA s fiksnim ležiščem je bilo po 15 letih 94,4 %, kar je primerljivo s 93,4 % preživetjem TKA v istem obdobju. Preživetje TKA je primerljivo s 15-letnim preživetjem poročanim v dosedanjih raziskavah [8-15]. Preživetje medialne UKA (m-UKA) je znašalo 94,4 %, preživetje lateralne UKA (l-UKA) pa 96,2 %, kar je prav tako skladno s podatki iz literature [4,6, 8-15]. Po prilagoditvi pacientov iz skupine UKA in TKA glede na starost, spol, operirano stran in ITM smo pri 15-letnem spremljanju zaznali statistično

pomembno višje tveganje za revizijo TKA v primerjavi z UKA. Statistično pomembna razlika tveganja za revizijo je bila ugotovljena tudi pri primerjavi UKA s podskupino dveh najboljših vsadkov TKA-PS, medtem ko ob primerjavi z dvema najboljšima vsadkoma tipa TKA-CR razlike v tveganju za revizijo pri 15 letih spremljanja nismo opazili.

Rezultati tako podpirajo uporabo UKA pri izolirani osteoartrozi enega kompartmenta kolena. Kljub temu ostaja pomembna natančna selekcija bolnikov in dosledno spremljanje po posegu. Nadaljnje raziskave, zlasti randomizirane kontrolirane študije, bi lahko še dodatno potrdile naše ugotovitve in pomagale določiti optimalne indikacije za UKA v klinični praksi.

V. ZAKLJUČKI

Naša raziskava je prva obsežna enocentrična kohortna študija, ki je pokazala, da ni razlik v dolgoročnem preživetju delne proteze kolena (UKA) v primerjavi s totalno protezo kolena (TKA). Preživetje fiksno-ležiščne UKA je bilo po 15 letih 94,4 %, kar je primerljivo s 93,4 % preživetjem TKA v istem obdobju. Po prilagoditvi pacientov iz skupine UKA in TKA glede na starost, spol, operirano stran in ITM je pri 15-letnem spremljanju statistično pomembno višje tveganje za revizijo TKA kot UKA. Rezultati potrjujejo, da je UKA dolgoročno enako zanesljiva rešitev kot TKA.

LITERATURA

- [1] DeFrance MJ, Scuderi GR. Are 20% of Patients Actually Dissatisfied Following Total Knee Arthroplasty? A Systematic Review of the Literature. *J Arthroplasty*. 2023 Mar;38(3):594-599. doi: 10.1016/j.arth.2022.10.011.
- [2] Begum FA, Kayani B, Magan AA, Chang JS, Haddad FS. Current concepts in total knee arthroplasty: mechanical, kinematic, anatomical, and functional alignment. *Bone Jt Open*. 2021 Jun;2(6):397-404. doi: 10.1302/2633-1462.26.BJO-2020-0162.R1.
- [3] Di Martino A, Bordini B, Barile F, Ancarani C, Digennaro V, Faldini C. Unicompartmental knee arthroplasty has higher revisions than total knee arthroplasty at long term follow-up: a registry study on 6453 prostheses. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021 Oct;29(10):3323-3329. doi: 10.1007/s00167-020-06184-1.
- [4] Foissey C, Batailler C, Fontalis A, Servien E, Lustig S. Long-term outcomes in unicompartmental knee arthroplasty: Survivorship of medial versus lateral unicompartmental knee arthroplasty. *J ISAKOS*. 2024 Dec;9(6):100329. doi: 10.1016/j.jisako.2024.100329.
- [5] Fontalis A, Raj RD, Haddad IC, Donovan C, Plastow R, Oussedik S, Gabr A, Haddad FS. Length of stay and discharge dispositions following robotic arm-assisted total knee arthroplasty and unicompartmental knee arthroplasty versus conventional technique and predictors of delayed discharge. *Bone Jt Open*. 2023 Oct 19;4(10):791-800. doi: 10.1302/2633-1462.410.BJO-2023-0126.R1.
- [6] Kahlenberg CA, Richardson SS, Gruskay JA, Cross MB. Trends in Utilization of Total and Unicompartmental Knee Arthroplasty in the United States. *J Knee Surg*. 2021 Aug;34(10):1138-1141. doi: 10.1055/s-0040-1702189.
- [7] Blevins JL, Carroll KM, Burger JA, Pearle AD, Bostrom MP, Haas SB, Sulco TP, Jerabek SA, Mayman DJ. Postoperative outcomes of total knee arthroplasty compared to unicompartmental knee arthroplasty: A matched comparison. *Knee*. 2020 Mar;27(2):565-571. doi: 10.1016/j.knee.2019.12.005.



13. RAZISKOVALNI DAN

- [8] Johal S, Nakano N, Baxter M, Hujazi I, Pandit H, Khanduja V. Unicompartmental Knee Arthroplasty: The Past, Current Controversies, and Future Perspectives. *J Knee Surg.* 2018 Nov;31(10):992-998.
- [9] Hansen EN, Ong KL, Lau E, Kurtz SM, Lonner JH. Unicondylar Knee Arthroplasty Has Fewer Complications but Higher Revision Rates Than Total Knee Arthroplasty in a Study of Large United States Databases. *J Arthroplasty.* 2019 Aug;34(8):1617-1625.
- [10] Straub J, Szymiski D, Walter N, Wu Y, Melsheimer O, Grimberg A, Alt V, Steinbrueck A, Rupp M. Unicondylar knee arthroplasty demonstrating a significant increased risk for aseptic revisions compared to unconstrained and constrained total knee arthroplasty: An analysis of aseptic revisions after unicondylar and primary total knee arthroplasty of the German Arthroplasty Registry. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2024 Jul;32(7):1775-1784. doi: 10.1002/ksa.12192.
- [11] Furnes O, Espehaug B, Lie SA, Vollset SE, Engesaeter LB, Havelin LI. Failure mechanisms after unicompartmental and tricompartmental primary knee replacement with cement. *J Bone Joint Surg Am.* 2007 Mar;89(3):519-25. doi: 10.2106/JBJS.F.00210.
- [12] Omenås HN, Lindalen E, Furnes ON, Fenstad AM, Badawy M. Patellofemoral arthroplasty-patient demographics and revision causes compared with total and medial unicompartmental knee arthroplasty: long-term follow-up data from the Norwegian Arthroplasty Register. *Acta Orthop.* 2025 Sep 2;96:671-676. doi: 10.2340/17453674.2025.44593.
- [13] Lewis PL, Gill DR, McAuliffe MJ, Stoney JD, Vertullo CJ, Wall CJ, Corfield S, Esaian R, Moylan S, Du P, Holder C, Edwards S, Xu Q, Oakey H, Lorimer MF, Smith PN. Hip, knee and shoulder arthroplasty: 2025 annual report, Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry, AOA: Adelaide, South Australia. 2025. <https://doi.org/10.25310/MXFR3061>
- [14] Furnes O, Gjertsen JE, Hallan G, Inderhaug E, Gundersen T, Fenstad AM, Dybvik E, Stenvik S, Kvinnenland IA, Malpuri KS, Solberg M. Norwegian National Network for Arthroplasty and Hip Fractures, report 2024. Bergen: Helse Bergen HF. Retrieved from: <https://helse-bergen.no/nrl>
- [15] W-Dahl A, K  rrholm J, Rogmark C, Johansson O, Arani PI, Mohaddes M, Rolfson O. Swedish Arthroplasty Register. Annual report 2024. Gothenburg: The Swedish Arthroplasty Register. Retrieved from: <https://sar.registercentrum.se/news/download-the-sar-annual-report-2024>



Analiza vzrokov revizij totalnih kolenskih endoprotez po izvajalcih v prvem letu po implantaciji. Rezultati Registra endoprotetike Slovenije

Simon KOVAČ^{1,2}, Mateja BLAS¹ in Vesna LEVAŠIČ¹

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Medicinska fakulteta, Univerza v Mariboru, Taborska ulica 8, 2000 Maribor

Ključne besede: register endoprotetike Slovenije, preživetje, preživetje po revizijah iz septičnih vzrokov, bolnišnice.

I. UVOD

Septične revizije predstavljajo vodilni vzrok zgodnjih revizij po primarni totalni artroplastiki kolena (TKA) [1].

Namen raziskave je bil analizirati dejavnike, povezane s pojavom septičnih in ostalih revizij v prvem letu po primarni TKA, na podlagi podatkov Registra endoprotetike Slovenije (RES).

II. MATERIALI IN METODE

V raziskavo smo vključili vse primarne TKA, izvedene med 1. 1. 2019 in 15. 9. 2024 zaradi osteoartroze (OA), pri katerih je bilo zagotovljeno najmanj enoletno spremljanje po implantaciji. Končni izid raziskave je bila revizija endoproteze.

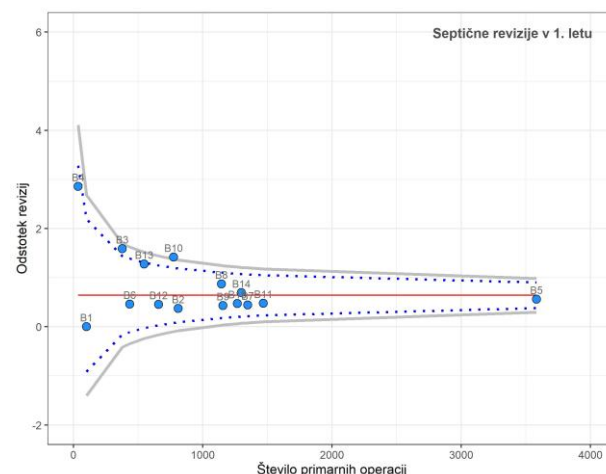
Za analizo dejavnikov tveganja in statistične značilnosti razlik smo uporabili logistično regresijo, medtem ko smo razlike med bolnišnicami prikazali z lijakastim diagramom (angl. *funnel plot*).

III. REZULTATI

Merilom za vključitev je ustrezalo 15.008 TKA, od tega 5.536 (36,9 %) pri moških in 9.472 (63,1 %) pri ženskah. Povprečna starost bolnikov je bila 70,5 leta (razpon 29,6–94,2 leta). Podatki v registru RES so zajemali 15 bolnišnic, pri čemer se je število primarnih TKA na posamezno ustanovo gibalo od 35 do 3.582 posegov.

V prvem letu po operaciji je bilo opravljenih 173 (1,2 %) revizij iz kateregakoli razloga, od tega 96 (0,6 %) zaradi okužbe.

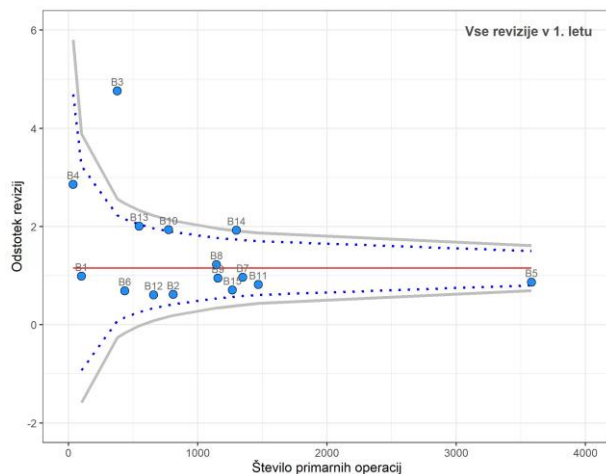
V lijakastem diagramu za septične revizije (Slika 1) so bile štiri bolnišnice nad povprečno vrednostjo in zunaj 95-odstotnega intervala zaupanja (IZ).



Slika 1: Ljakast diagram septičnih revizij v 1. letu.

V logistični regresiji sta bili dve bolnišnici izključeni zaradi premajhnega števila primerov; referenčna bolnišnica je bila tista z najnižjo stopnjo revizij iz kateregakoli razloga (0,9 %). Med bolnišnicami pri septičnih revizijah nismo ugotovili statistično značilnih razlik.

Ob razširitvi analize na vse revizije v prvem letu po operaciji je bila ena bolnišnica nad 99-odstotnim intervalom zaupanja, v logistični regresiji pa so bile razlike statistično značilne pri štirih bolnišnicah (Slika 2).



Slika 2: Lijakast diagram vseh revizij v 1. letu.

IV. RAZPRAVA

Čeprav pri uporabi septične revizije kot končnega izida v prvem letu po operaciji med bolnišnicami nismo ugotovili statistično značilnih razlik, lijakasti diagram nakazuje možnost razlik med ustanovami. Ob vključitvi vseh revizij v prvem letu po operaciji so razlike postale statistično značilne.

V. ZAKLJUČKI

V raziskavi smo ugotovili razlike med posameznimi izvajalci zdravstvenih storitev. Za zanesljivejšo opredelitev razlik med bolnišnicami bodo potrebne nadaljnje analize na večjem številu primerov in z daljšim obdobjem spremljanja.

LITERATURA

- [1] Glassou en *et al.* Association between hospital procedure volume and risk of revision after total hip arthroplasty: a population-based study within the Nordic Arthroplasty Register Association database. *Osteoarthritis and cartilage*. 24 (3); 419-26.

Zlom brez cementne tibialne komponente pri totalni endoprotezi kolena - prikaz primera

Matic SUŠA ¹, Neža VAVPETIČ ², Kristjan ČERNEKA ², Matevž TOPOLOVEC ^{2,3}

¹Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

²Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

³Medicinska fakulteta, Univerza v Mariboru, Taborska ulica 8, 2000 Maribor

Ključne besede: brez cementna kolenska endoproteza, trabekularna kovina, porozni tantal, prekomerna telesna teža, zlom tibialne komponente.

I. UVOD

Brez cementne proteze so v stiku s kostjo preko grobe, porozne površine, ki spodbuja kostno preraščanje in pomembno zniža tveganje za aseptično omajanje proteze [1]. To jim v primerjavi s cementnimi protezami povečuje dobo preživetja, kar naj bi bilo ugodno predvsem pri mlajših pacientih, pri katerih ocenjujemo, da so podvrženi večjemu tveganju za revizijski poseg [2].

Leta 1999 je Zimmer (Zimmer, Inc., Warsaw, IN, ZDA), razvil NexGen brez cementno kolensko endoprotezo s kostno stranjo iz poroznega tantala, dvema šestkotnima čepoma in nosilno površino iz polietilena z ultravisoko molekulsko maso (angl. *ultra-high-molecular-weight polyethylene*, UHMWPE) [3]. Poročano je bilo o dobri življenjski dobi tibialnih komponent, brez omemb strukturnih odpovedi protez [4,5]. V nam dostopni literaturi nismo našli opisanega primera poškodbe ali zloma tibialne komponente tega modela kolenske endoproteze, obstajajo pa primeri s tovrstnimi izidi pri modelu iste endoproteze, ki je bil razvit kasneje, leta 2007 [6,7]. Predstavljamo torej redek primer pacienta, pri katerem je 17 let po prvotni artroplastiki kolena in vstavitvi brez cementne monoblok tibialne komponente, prišlo do zloma le-te.

II. PRIKAZ PRIMERA

Pri 50-letnem pacientu s pridruženo arterijsko hipertenzijo in debelostjo druge stopnje (indeks telesne mase (ITM) 37 kg/m²) je bila leta 2008 zaradi artroze vstavljena totalna kolenska endoproteza desno. Vstavljena je bila brez cementna endoproteza NexGen Complete Knee Solution, Legacy Knee Posterior Stabilized (LPS) z zgoraj opisano tibialno komponento (Slika 1).



Slika 1: Pooperativni rentgenogram l. 2008.

Perioperativno in zgodnje postoperativno obdobje je minilo brez zapletov.

Leta 2016 je pacient utrpel padec s kolesom, po katerem je začutil bolečine v desnem kolenu. Kontrolni pregled pri ortopedu in rentgenogram nista pokazala odstopanj, s konzervativno terapijo so bolečine izzvenele.

Leta 2025 se je pacient vrnil s približno leto dni trajajočimi bolečinami v desnem kolenu, ki so se stopnjevale, ter jasno nakazano varusno deformacijo desnega kolena. Ob pregledu je pacient zanikal vročino ter mrzlico, znaki okužbe sklepa so bili odsotni. Ob pregledu kolena je izstopala znatna nestabilnost z odpiranjem medialne sklepne špranje ter zmanjšan obseg gibljivosti (0/115°). Rentgenogram desnega kolena je prikazal zlom medialnega dela tibialne komponente z izrazito varusno deformacijo (Slika 2).



Slika 2: Serija rentgenogramov l. 2025 pred revizijo.

Na podlagi preiskav je bila indicirana revizija. Ob reviziji je bil pristop do desnega kolena preko stare brazgotine. Intraoperativno je bil potrjen zlom tibialne komponente, ob tem je bila prisotna serozna sklepna tekočina v notranjosti sklepa. Med revizijskim posegom so bili odvzeti vzorci za histološko in mikrobiološko preiskavo. V medialnem kompartmentu je bil prisoten kovinski drobir, mehka tkiva pa pigmentirana, kar je nakazovalo na metalozo. Pod poškodovano tibialno komponento sta bili prisotni udrtna in psevdociista.

Vse komponente endoproteze so bile odstranjene z minimalno izgubo kostnine ter poslane na sonikacijo, vstavljena pa je bila revizijska endoproteza NexGen Legacy Constrained Condylar Knee (LCKK) (Zimmer, Inc., Warsaw, IN, ZDA). Odvzeti tkivni vzorci so bili negativni na okužbo, prav tako izvidi sonikacije, histološko pa so opisovali granulomatozno tkivo z zmerno metalozo in limfocitno infiltracijo brez prisotnosti nevtrofilcev, s čimer je bil ovržen sum na okužbo sklepa.

Pooperativni rentgenogram je potrdil zadovoljiv položaj novo vstavljenih komponent. (Slika 3). Teden dni po revizijski operaciji je bil pacient odpuščen v domačo oskrbo.



Slika 3: Pooperativni rentgenogram l. 2025 po reviziji.

III. RAZPRAVA

Zlom tibialne komponente je redek vzrok za odpoved totalne endoproteze kolena in je največkrat posledica več dejavnikov, od uporabljenih materialov in oblike proteze, do kirurške tehnike ter položaja komponent [8]. Tibialne komponente iz poroznega tantala nudijo boljšo fiksacijo na kost, omogočajo osteointegracijo in posledično pripomorejo k ohranjanju kostnine, saj zmanjšajo učinek zaščite kosti pred mehansko obremenitvijo (angl. *stress shielding*) [9]. Zaradi mehanskih značilnosti, visoke poroznosti in zmožnosti osteointegracije so brezementne totalne kolenske endoproteze zanesljiva izbira pri primarni artroplastiki ob dobri kakovosti kostnine. V primerjavi s cementnimi protezami, brezementne kolenske endoproteze iz poroznega tantala omogočajo boljšo ohranitev kosti, malenkostno boljše funkcionalne izide in krajše operativne čase [10, 11].

Izguba kostne podpore proksimalne tibije je bil v literaturi prepoznan ključni dejavnik tveganja za razvoj poškodb oziroma zlomov tibialnega platoja komponente [12]. Z dosedanjimi raziskavami je bila dokazana korelacija med mestom zloma na platoju in območji pomanjkljive kostnine [12,13]. Z nezadostno subprotetično podporo je plato tibialne komponente izpostavljen ponavljajočim se upogibnim silam, ki vodijo do poškodb in v končni fazi tudi do zloma

endoproteze. Prepoznana dejavnika tveganja za obprotetični zlom kolena sta predhodne deformacije in ITM nad 34 kg/m² [8]. V našem primeru je imel pacient ITM 37 kg/m² in že prvotno varusno deformacijo kolena. Sklepamo, da je do odpovedi komponente najverjetneje prišlo zaradi kombinacije različnih dejavnikov, kar sovпада z vzorci odpovedi pri drugih endoprotezah. Poleg prekomerne telesne teže, in varusne deformacije je na kirurško obravnavo dodatno vplival zakasnel stik s pacientom po ponovnem nastopu težav. Zaradi obravnave leto po pričetku težav lahko sklepamo, da je prišlo do večje

izgube kosti pod medialnim delom tibialne komponente kot sicer, kar je vodilo v tehnično zahtevnejšo revizijo.

IV. ZAKLJUČKI

Poročamo o redkem zapletu pri specifičnem modelu brez cementne tibialne komponente NexGen iz trabekularne kovine, s kostno stranjo iz poroznega tantala, dvema šestkotnima čepoma in nosilno površino iz UHMWPE. Primer poudarja pomen sledenja pacientom z vstavljenimi endoprotezami in dodatno izpostavlja pomen pravočasne obravnave ob pojavu novih težav.

LITERATURA

- [1] Dalury DF. Cementless total knee arthroplasty: current concepts review. *Bone Joint J.* 2016 Jul;98-B(7):867-73. doi: 10.1302/0301-620X.98B7.37367.
- [2] Khetan V, Baxter I, Hampton M, Spencer A, Anderson A. Cementless total knee arthroplasty in young patients using tantalum trabecular implants results in significantly lower rates of aseptic loosening. *Bone Jt Open.* 2024 Apr 8;5(4):277-285. doi: 10.1302/2633-1462.54.BJO-2023-0132.R1.
- [3] Hanzlik JA, Day JS, Rimnac CM, Kurtz SM; Ingrowth retrieval study group. Is there a difference in bone ingrowth in modular versus monoblock porous tantalum tibial trays? *J Arthroplasty.* 2015 Jun;30(6):1073-8. doi: 10.1016/j.arth.2015.01.010.
- [4] DeFrancesco CJ, Canseco JA, Nelson CL, Israelite CL, Kamath AF. Uncemented tantalum monoblock tibial fixation for total knee arthroplasty in patients less than 60 years of age: mean 10-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 May 16;100(10):865-870. doi: 10.2106/JBJS.17.00724.
- [5] Gerscovich D, Schwing C, Unger A. Long-term results of a porous tantalum monoblock tibia component: clinical and radiographic results at follow-up of 10 years. *Arthroplast Today.* 2017 Apr 7;3(3):192-196. doi: 10.1016/j.artd.2017.02.004.
- [6] Fokter SK, Gubelj N, Punzón-Quijorna E, Pelicon P, Kelemen M, Vavpetič P, Predan J, Ferlič L, Novak I. Total knee replacement with an uncemented porous tantalum tibia component: a failure analysis. *Materials (Basel).* 2022 Mar 31; 15 (7): 2575. doi: 10.3390/ma15072575.
- [7] Scully WF, Deren ME, Bloomfield MR. Catastrophic tibial baseplate failure of a modern cementless total knee arthroplasty implant. *Arthroplast Today.* 2019 Oct 16;5(4):446-452. doi: 10.1016/j.artd.2019.09.002.
- [8] Austin MS, Sharkey PF, Hozack WJ, Rothman RH. Knee failure mechanisms after total knee arthroplasty. *Tech Knee Surg.* 2004;3(1):55-59. doi:10.1097/00132588-200403000-00008.
- [9] Epperson RT, Barg A, Williams DL, Saltzman CL. Histological analysis of a retrieved porous tantalum total ankle replacement: a case report. *JBJS Case Connect.* 2020 Jan-Mar;10(1):e0379. doi: 10.2106/JBJS.CC.19.00379.
- [10] Harrison AK, Gioe TJ, Simonelli C, Tatman PJ, Schoeller MC. Do porous tantalum implants help preserve bone?: evaluation of tibial bone density surrounding tantalum tibial implants in TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2010 Oct;468(10):2739-45. doi: 10.1007/s11999-009-1222-y.
- [11] Minoda Y, Kobayashi A, Iwaki H, Ikebuchi M, Inori F, Takaoka K. Comparison of bone mineral density between porous tantalum and cemented tibial total knee arthroplasty components. *J Bone Joint Surg Am.* 2010 Mar;92(3):700-6. doi: 10.2106/JBJS.H.01349.
- [12] Chatterji U, Ashworth MJ, Smith AL, Brewster N, Lewis PL. Retrieval study of tibial baseplate fracture after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2005 Jan;20(1):101-7. doi: 10.1016/j.arth.2004.09.033.
- [13] Abernethy PJ, Robinson CM, Fowler RM. Fracture of the metal tibial tray after kinematic total knee replacement. A common cause of early aseptic failure. *J Bone Joint Surg Br.* 1996 Mar;78(2):220-5. PMID: 8666629 Dalury DF. Cementless total knee arthroplasty: current concepts review. *Bone Joint J.* 2016 Jul;98-B(7):867-73. doi: 10.1302/0301-620X.98B7.37367.



Cementirana parcialna kolenska endoproteza z nemobilnim vložkom povezana z nižjim tveganjem za periprotetično okužbo kot cementirana totalna kolenska endoproteza

Samo ROŠKAR ^{1,2}, Urban VADNJAL ¹, René MIHALIČ ^{1,2}, Anže MIHELIČ ¹, Vesna LEVAŠIČ ¹,
Mateja BLAS ¹, Rihard TREBŠE ^{1,2}

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

Ključne besede: primarna osteoartroza, cementirana parcialna kolenska artroplastika, cementirana totalna kolenska artroplastika tipa CR, cementirana totalna kolenska artroplastika tipa PS, preživetje.

I. UVOD

Periprotetičnih okužbe (angl. *periprosthetic joint infection*, PJI) predstavljajo pomemben zaplet po artroplastiki sklepa, so povezane z visoko smrtnostjo in hkrati imajo med zapleti pomemben vpliv na kakovost življenja bolnika [1]. Totalna kolenska artroplastika (TKA, angl. *total knee arthroplasty*) velja za zlati standard zdravljenja napredovale osteoartroze kolenskega sklepa, pri čemer pa velja izpostaviti, da zadnja poročila največjih registrov endoprotektike poročajo, da je PJI glavni razlog za odpoved TKA [2-8]. Glede na različne raziskave je TKA povezana s približno 2 % pojavnostjo PJI [9,10]. Za razliko od PJI po TKA je bistveno manj podatkov o pojavnosti PJI pri parcialni kolenski artroplastiki (UKA, angl. *unicompartmental knee arthroplasty*). V splošnem različne raziskave poročajo, da je pojavnost PJI po UKA 0,3-1,5 % [3,4]. Nekatere raziskave poročajo, da ni razlik v pojavnosti PJI med TKA in UKA [11-13]. Druge raziskave pa izpostavljajo, da je UKA povezana z manjšim tveganjem za PJI kot TKA [14-16]. Še manj pa je podatkov o načinu ter uspešnosti zdravljenja PJI po UKA in primerjave z zdravljenjem PJI pri TKA.

Namen naše raziskave je bil primerjati pojavnost PJI po UKA in TKA vstavljenih v Ortopedski bolnišnici Valdoltra v enakem obdobju. Dodatno smo z raziskavo želeli analizirati uspešnost zdravljenja PJI po UKA in TKA pri isti kohorti pacientov.

II. MATERIALI IN METODE

Analizirali smo zaporedno kohorto bolnikov, ki so imeli med 2010 in 2024 v Ortopedski bolnišnici Valdoltra vstavljeno cementno UKA s fiksnim ležiščem ter jo primerjali s kohorto bolnikov z vstavljeno primarno, cementno TKA v istem obdobju. Za vsak poseg smo prospektivno zbrali podatke o starosti bolnika, spolu, strani operacije, datumu primarne artroplastike, datumu revizijske operacije zavoljo PJI, tipu kirurškega zdravljenja, izoliranem povzročitelju, predoperativni rabi antibiotika, trajanju antibiotične terapije, datumu rerevizije zavoljo PJI znotraj prvih dveh let od primarnega posega, datumu smrti; podatki so bili pridobljeni iz

bolnišničnega registra ali iz individualnih kartonov, kjer je bilo to potrebno. Pojavnost PJI v kohorti UKA smo primerjali s pojavnostjo PJI med TKA, izvedenih v istem obdobju v isti ustanovi. V analiziranem obdobju je bilo v Ortopedski bolnišnici Valdoltra vstavljenih 10.355 kolenskih endoprotez, od katerih smo v raziskavo vključili 1.492 cementiranih UKA s fiksnim ležiščem in 8.007 cementiranih primarnih TKA.

III. REZULTATI

V skupini pacientov z UKA je bila srednja starost 67.4 ± 8.9 let, 56 % žensk, srednji ITM 31.3 ± 4.8 kg/m². V skupini pacientov s TKA je bila srednja starost 69.0 ± 8.6 let, 65 % žensk, srednji ITM 31.5 ± 5.2 kg/m². Med 1.492 primarnimi UKA smo v obdobju spremljanja zabeležili 6 PJI (0,4 %), med 8.007 TKA pa smo zabeležili 121 PJI (1,5 %), pri čemer $p < 0,001$. Med PJI po UKA smo zabeležili tri zgodnje okužbe in tri pozne okužbe. Med zgodnjimi PJI po UKA je bil dveh primerih izoliran povzročitelj *S. aureus*, v enem primeru pa je šlo za kultura negativno okužbo. Vse zgodnje okužbe UKA so bile zdravljene s protokolom debridementa, antibiotika in ohranitve vsadka (angl. *debridement, antibiotics and implant retention*, DAIR) s 14 dni iv. antibiotične terapije, ki ji je sledilo pooperativno antibiotično zdravljenje v celokupnem trajanju antibiotične terapije 12 tednov. Med poznimi PJI po UKA smo zabeležili po en primer okužbe z izoliranim *S. aureus*, en primer okužbe s *Streptococcus dysgalactiae* in en primer kultura negativne okužbe. Vse pozne PJI po UKA so bile zdravljene s protokolom enostopenjske menjave vsadka (angl. *one-stage exchange*, OSE) s 14 dni iv. antibiotične terapije, ki ji je sledilo po. antibiotično zdravljenje v celokupnem trajanju antibiotične terapije 12 tednov, razen v primeru streptokokne okužbe je začetnemu mesecu iv. antibiotične terapije sledilo enoletno po. antibiotično zdravljenje. Med PJI po UKA smo zabeležili 100 % uspešnost zdravljenja. Med PJI po TKA smo zabeležili 39 zgodnjih in 82 poznih okužb. Zgodnje okužbe so bile v 22 primerih zdravljene z DAIR protokolom, pri čemer je srednje trajanje simptomatike okužbe znašalo 5 dni (maksimum 21 dni), v 17 primerih pa z dvostopenjsko menjavo vsadka (angl. *two-stage exchange*, TSE). V tej

podskupini je bil v 11 primerih izoliran *S. aureus*, v 5 primerih *S. epidermidis*, 8 polimikrobnih okužb, 8 kultura negativnih okužb in 7 okužb z drugimi povzročitelji. Med zgodnjimi PJI po TKA smo zaznali 4 neuspešna zdravljenja, vsi v skupini uporabe TSE protokola. Med 82 poznimi PJI po TKA jih je bilo 33 zdravljenih z DAIR, pri čemer je srednje trajanje simptomatike okužbe znašalo 7 dni (maksimum 21 dni), 10 z OSE, 39 s TSE. V tej podskupini so bili v 19 primerih izolirani različni streptokoki, v 16 primerih *S. aureus*, v 6 primerih različni koagulaza negativni stafilokoki (KNS), 8 polimikrobnih okužb, 17 kultura negativnih okužb in 16 primerov drugih povzročiteljev. Med poznimi PJI po TKA smo zaznali 14 neuspešnih zdravljenj, 8 pri uporabi DAIR protokola in 6 pri TSE protokolu. Celokupno smo v naši kohorti zabeležili 100 % uspešnost zdravljenja PJI po UKA, medtem ko je bila uspešnost zdravljenja PJI po TKA 88 %.

IV. RAZPRAVA

Rezultati naše raziskave kažejo, da je UKA povezana z nižjim tveganjem za PJI kot TKA, pri čemer je bila pojavnost PJI po UKA v naši kohorti 0,4 % in 1,5 % po TKA ($p < 0,001$). Pojavnost PJI po TKA je primerljiva z različnimi dosedanjimi študijami, ki poročajo pojavnost PJI po TKA 2 % [9,10]. Pri UKA pa je pojavnost PJI na spodnji meji do sedaj poročenih vrednosti v literaturi, ki so 0,3-1,5 % [3,4]. Zabeležena uspešnost zdravljenja PJI po TKA 88 % v naši kohorti se sklada s poročano uspešnostjo v dostopni literaturi, ki se glede na različne oblike kirurškega zdravljenja DAIR, OSE, TSE giblje okoli 80-90 % [17]. Uspešnost zdravljenja PJI po UKA je v naši kohorti 100 %, kar bi ob uporabi enakega protokola zdravljenja lahko povezovali z večjo možnostjo radikalnega debridementa in posledično manjšo verjetnostjo preostanka za antibiotik nedostopnega biofilma.

V. ZAKLJUČKI

Rezultati naše raziskave kažejo, da je UKA povezana z nižjim tveganjem za PJI kot TKA. Naša raziskava je prva obsežna enocentrična kohortna študija, ki je pokazala, da je uspešnost zdravljenja PJI pri UKA višja kot pri TKA.

LITERATURA

- [1] Premkumar A, Kolin DA, Farley KX, Wilson JM, McLawhorn AS, Cross MB, Sculco PK. Projected Economic Burden of Periprosthetic Joint Infection of the Hip and Knee in the United States. *J Arthroplasty*. 2021 May;36(5):1484-1489.e3. doi: 10.1016/j.arth.2020.12.005. Epub 2020 Dec 9. PMID: 33422392.
- [2] Barbera JP, Xiao RC, Williams CS, Poeran J, Moucha CS, Chen DD, Hayden BL. Treatment patterns and failure rates associated with prosthetic joint infection in unicompartmental knee arthroplasty: A systematic review. *J Orthop*. 2022 Sep 14;34:288-294. doi: 10.1016/j.jor.2022.09.008.
- [3] Zanirato A, Cavagnaro L, Chiarlone F, Quarto E, Formica M. Periprosthetic joint infection in unicompartmental knee arthroplasty: treatment options and outcomes. What is the current evidence in literature? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023 Feb;143(2):1031-1039. doi: 10.1007/s00402-022-04414-4.
- [4] Straub J, Szymiski D, Walter N, Wu Y, Melsheimer O, Grimberg A, Alt V, Steinbrueck A, Rupp M. Unicompartmental knee arthroplasty demonstrating a significant increased risk for aseptic revisions compared to unconstrained and constrained total knee arthroplasty: An analysis of aseptic revisions after unicompartmental and primary total knee arthroplasty of the German Arthroplasty Registry. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2024 Jul;32(7):1775-1784. doi: 10.1002/ksa.12192.
- [5] Furnes O, Espehaug B, Lie SA, Vollset SE, Engesaeter LB, Havelin LI. Failure mechanisms after unicompartmental and tricompartmental primary knee replacement with cement. *J Bone Joint Surg Am*. 2007 Mar;89(3):519-25. doi: 10.2106/JBJS.F.00210.
- [6] Omenäs HN, Lindalen E, Furnes ON, Fenstad AM, Badawy M. Patellofemoral arthroplasty-patient demographics and revision causes compared with total and medial unicompartmental knee arthroplasty: long-term follow-up data from the Norwegian Arthroplasty Register. *Acta Orthop*. 2025 Sep 2;96:671-676. doi: 10.2340/17453674.2025.44593.
- [7] Lewis PL, Gill DR, McAuliffe MJ, Stoney JD, Vertullo CJ, Wall CJ, Corfield S, Esaian R, Moylan S, Du P, Holder C, Edwards S, Xu Q, Oakey H, Lorimer MF, Smith PN. Hip, knee and shoulder arthroplasty: 2025 annual report, Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry, AOA: Adelaide, South Australia. 2025. <https://doi.org/10.25310/MXFR3061>
- [8] W-Dahl A, K  rholm J, Rogmark C, Johansson O, Arani PI, Mohaddes M, Rolfson O. Swedish Arthroplasty Register. Annual report 2024. Gothenburg: The Swedish Arthroplasty Register. Retrieved from: <https://sar.registrcentrum.se/news/download-the-sar-annual-report-2024>
- [9] Jin X, Gallego Luxan B, Hanly M, Pratt NL, Harris I, de Steiger R, Graves SE, Jorm L. Estimating incidence rates of periprosthetic joint infection after hip and knee arthroplasty for osteoarthritis using linked registry and administrative health data. *Bone Joint J*. 2022 Sep;104-B (9): 1060-1066. doi: 10.1302/0301-620X.104B9.BJJ-2022-0116.R1.
- [10] Ma T, Jiao J, Guo DW, Lv SZ, Zhang D, Hou DC. Incidence of periprosthetic joint infection after primary total knee arthroplasty shows significant variation: a synthesis of meta-analysis and bibliometric analysis. *J Orthop Surg Res*. 2024 Oct 12;19(1):649. doi: 10.1186/s13018-024-05099-8.
- [11] Di Martino A, Bordini B, Barile F, Ancarani C, Digennaro V, Faldini C. Unicompartmental knee arthroplasty has higher revisions than total knee arthroplasty at long term follow-up: a registry study on 6453 prostheses. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021 Oct;29(10):3323-3329. doi: 10.1007/s00167-020-06184-1.
- [12] Budin M, De Ruyter M, Lum ZC, Slapar J, Hofstaetter JG, Hauer G, Leithner A, Sadoghi P. Periprosthetic joint infection risk is comparable between unicompartmental knee arthroplasty to total knee arthroplasty conversion and primary total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2025 Dec 8. doi: 10.1002/ksa.70228.
- [13] Johal S, Nakano N, Baxter M, Hujazi I, Pandit H, Khanduja V. Unicompartmental Knee Arthroplasty: The Past, Current Controversies, and Future Perspectives. *J Knee Surg*. 2018 Nov;31(10):992-998. doi: 10.1055/s-0038-1625961.
- [14] Tay ML, McGlashan SR, Monk AP, Young SW. Revision indications for medial unicompartmental knee arthroplasty: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022 Feb;142(2):301-314. doi: 10.1007/s00402-021-03827-x.
- [15] Lee CS, Su EP, Cross MB, Carli AV, Landy DC, Chalmers BP. Unicompartmental Knee Arthroplasty Is Associated With a Lower Rate of Periprosthetic Joint Infection Compared to Total Knee Arthroplasty. *Arthroplast Today*. 2021 Jul 20;10:117-122. doi: 10.1016/j.artd.2021.06.006.
- [16] Mori Y, Tarasawa K, Tanaka H, Kamimura M, Harada K, Mori N, Fushimi K, Aizawa T, Fujimori K. Thromboembolic and infectious complication risks in TKA and UKA: evidence from a Japanese nationwide cohort. *Knee Surg Relat Res*. 2025 May 8;37(1):19. doi: 10.1186/s43019-025-00273-6.
- [17] Gonzalez MR, Rizk PA, Lozano-Calderon SA. Treatment Success of Periprosthetic Joint Infections in Oncologic Endoprostheses After Standardization of Surgical Strategies-A Systematic Review of the Literature. *J Am Acad Orthop Surg*. 2026 Mar 15;34(6):e934-e945. doi: 10.5435/JAAOS-D-25-00523.

Kinetika CRP po posegu DAIR: vsak porast CRP ni nujno povezan z neuspehom zdravljenja

Urban VADNJAL¹, Samo ROŠKAR^{1,2}, Anže MIHELIČ¹, René MIHALIČ^{1,2} in Rihard TREBŠE^{1,2}

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

Ključne besede: C-reaktivni protein, kinetika, DAIR, okužba sklepne endoproteze, biomarkerji.

I. UVOD

Debridement okuženega sklepa z ohranitvijo vsadka (angl. *debridement, antibiotics and implant retention*, DAIR) je kirurško zdravljenje okužbe sklepne endoproteze (angl. *periprosthetic joint infection*, PJI), ki omogoča najboljši funkcionalni izid [1, 2]. Poseg DAIR je primarno indiciran, kadar je biofilm še nezrel [3]. V teh primerih je poročana uspešnost ozdravitve po DAIR okoli 90% [4], medtem ko je uspešnost ozdravitve po DAIR pri zrelem biofilmu bistveno nižja [3, 5] C-reaktivni protein (CRP) nima posebne vloge pri diagnostiki okužb z nizko stopnjo virulence, je pa ključen biomarker za spremljanje okrevanja po kirurškem zdravljenju [6-8]. Pooperativna kinetika CRP in njena povezava z uspehom zdravljenja PJI ostajata slabo raziskani.

Namen naše raziskave je analizirati kinetiko CRP po posegu DAIR ter opredeliti dejavnike, ki povzročajo poraste CRP in niso nujno povezani z neuspehom zdravljenja.

II. MATERIALI IN METODE

Retrospektivno smo analizirali pooperativne vrednosti CRP pri bolnikih, ki so bili med letoma 2010 in 2024 zdravljeni z DAIR zaradi PJI kolka ali kolena. Dokončna diagnoza PJI je bila v vseh primerih postavljena na podlagi diagnostičnih kriterijev opredeljenih s strani Evropskega združenja za okužbe kosti in sklepov (angl. *European Bone and Joint Infection Society*, EBJIS). Zaporedne vrednosti CRP so bile zabeležene od dneva operativnega posega, neposrednega pooperativnega obdobja do kasnejšega sledenja. Posebna pozornost je bila namenjena primerom, pri katerih je CRP po začetnem upadanju pokazal sekundarni porast ali obrat trenda, vendar tekom kliničnega spremljanja pacienta nismo opredelili vnovičnega pojava okužbe na prizadetem sklepu. Pooperativno vodenje in terapevtski ukrepi so bili pregledani z namenom korelacije nihanj CRP s specifičnimi pooperativnimi dogodki, ne pa z dejansko ponovitvijo okužbe. Uspeh zdravljenja je bil opredeljen kot odsotnost kliničnih ali mikrobioloških znakov okužbe pri najmanj 2-letnem sledenju.

III. REZULTATI

Analizirali smo 124 bolnikov po uspešnem posegu DAIR po PJI kolka ali kolena. Pri 62 bolnikih je bil pooperativni potek CRP v enakomernem upadanju, pri preostalih 62 pa je bil opažen sekundarni porast CRP po začetnem upadanju. Med 62 bolniki s sekundarnim porastom CRP je bilo 53 % žensk, 30 posegov na kolku in 32 na kolenu, s povprečno starostjo 71 let. Povprečno trajanje simptomov okužbe pri vseh pacientih v vključeni kohorti je znašalo 8 dni pred posegom (maksimum 30 dni pri zgodnjih okužbah in 40 dni pri akutnih hematogenih okužbah). Tipičen potek CRP je pokazal hiter pooperativni porast z vrhom v prvih 2–3 dneh po operaciji, ki mu je sledilo postopno upadanje v naslednjih 2–3 tednih. Pri vseh 62 vključenih primerih je bil opažen sekundarni porast ali obrat padajočega trenda CRP. Povprečna razlika med sekundarnim in primarnim vrhom CRP je znašala 112,6 mg/L, povprečno trajanje sekundarnega porasta pa 6 dni. Sekundarni porasti CRP so bili povezani z: kirurškimi intervencijami (n=27; odstranitev drenaže ali urinskega katetra, pooperativna oskrba rane, odstranitev kožnih sponk), spremembo antibiotičnega zdravljenja (n=11), sočasno okužbo (n=9; okužba sečil, gastrointestinalne motnje, pljučnica), drugimi vzroki (n=6); napad protina (n=1), sprememba imunosupresivne terapije (n=1), odpust iz enote intenzivne terapije (n=2), edem (n=2) in brez ugotovljenega vzroka (n=9).

IV. RAZPRAVA

Gre za prvo raziskavo, ki ocenjuje kinetiko CRP po posegu DAIR in analizira dogodke povezane nihanji vrednosti CRP, ki niso povezani z neuspehom zdravljenja.

Glede na trenutno veljavne diagnostične kriterije PJI sam CRP nima pomembne diagnostične vrednosti, saj zgreši večino okužb povezanih z nizkovirulentnimi bakterijami (angl. *low-grade*) [6]. Dosedanje raziskave opredeljujejo, da je CRP pomemben biomarker pri sledenju in napovedovanju uspeha zdravljenja PJI [3, 8]. Z našo raziskavo smo ugotovili, da večina porastov CRP po DAIR ni povezana z neuspehom zdravljenja. V naši kohorti je bil sekundarni vrh CRP opažen pri 50 % uspešno zdravljenih bolnikov z DAIR. Sekundarni porasti CRP so



lahko posledica različnih ukrepov v okviru pooperativne obravnave, vključno z odstranitvijo drenaže, prilagoditvijo antibiotičnega zdravljenja in oskrbo rane. Sekundarni porast CRP po posegu DAIR je zanimiv in redko dokumentiran pojav, ki v večini primerov ne nakazuje ponovitve okužbe. Pri interpretaciji pooperativnih vrednosti CRP je treba upoštevati proceduralne in terapevtske dejavnike ter se izogibati prezgodnjim intervencijam na podlagi nihanj biomarkerjev.

V. ZAKLJUČKI

Gre za prvo raziskavo, ki sistematično ocenjuje kinetiko CRP po posegu DAIR in opredeljuje dejavnike, ki povzročajo sekundarne poraste CRP, ki niso povezani z neuspehom zdravljenja. V naši kohorti je bil sekundarni vrh CRP opažen pri polovici uspešno zdravljenih bolnikov, najpogosteje v povezavi z manjšimi kirurškimi intervencijami, spremembo antibiotičnega zdravljenja ali sočasno okužbo. Sekundarni porasti CRP po posegu DAIR je pojav, ki v večini primerov ne nakazuje ponovitve okužbe. Pri interpretaciji pooperativnih vrednosti CRP je treba upoštevati proceduralne in terapevtske dejavnike ter se izogibati prezgodnjim intervencijam na podlagi nihanj biomarkerjev.

LITERATURA

- [1] Trebse R, Roskar S. Evaluation and interpretation of prosthetic joint infection diagnostic investigations. *Int Orthop.* 2021 Apr;45(4):847-855. doi: 10.1007/s00264-021-04958-x.
- [2] Fontalis A, Yasen AT, Giebaly DE, Luo TD, Magan A, Haddad FS. Optimizing debridement and implant retention in acute periprosthetic joint infections. *Bone Joint J.* 2024 Dec 1;106-B(12):1377-1384. doi: 10.1302/0301-620X.106B12.BJJ-2024-0282.R1.
- [3] Sigmund IK, Wouthuyzen-Bakker M, Ferry T, Metsemakers WJ, Clauss M, Soriano A, Trebse R, Sousa R. Debridement, antimicrobial therapy, and implant retention (DAIR) as curative surgical strategy for acute periprosthetic hip and knee infections: a summary of the position paper from the European Bone & Joint Infection Society (EBJIS). *J Bone Jt Infect.* 2025 Apr 1;10(2):139-142. doi: 10.5194/jbji-10-139-2025.
- [4] Sendi P, Trebse R, Zimmerli W. Debridement, antibiotics and implant retention: are all approaches to periprosthetic joint infection equal? Same procedures, different outcomes. *Clin Microbiol Infect.* 2025 Sep;31(9):1445-1450. doi: 10.1016/j.cmi.2025.04.037..
- [5] Oehen L, Morgenstern M, Goldenberger D, Kuehl R, Gahl B, Clauss M, Sendi P. Do Sonication Results of Mobile Parts Predict Failure After Debridement and Implant Retention in Acute Periprosthetic Joint Infection? *Open Forum Infect Dis.* 2026 Jan 6;13(2): ofaf807. doi: 10.1093/ofid/ofaf807.
- [6] McNally M, Sousa R, Wouthuyzen-Bakker M, Chen AF, Soriano A, Vogely HC, Clauss M, Higuera CA, Trebse R. The EBJIS definition of periprosthetic joint infection. *Bone Joint J.* 2021 Jan;103-B(1):18-25. doi: 10.1302/0301-620X.103B1.BJJ-2020-1381.R1.
- [7] Beadel H, Chaffey R, Kim K, Zhu M, Coleman B. Early post-operative CRP is a better predictor of DAIR failure than pre-operative CRP in total knee PJI. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2026 Jun 26;146(1):240. doi: 10.1007/s00402-026-06369-2.
- [8] Kong CCW, Yee DK, Cheung YC, Chau WW, Lam GY, Choi TL, Ng JP, Ho KK, Ong MT, Yung PS. C-Reactive Protein as a Predictor of the Success of Debridement, Antibiotics and Implant Retention in Patients With Periprosthetic Joint Infection: A 17-year Retrospective Study of 2 Major Joint Arthroplasty Centers. *Arthroplast Today.* 2025 Aug 20;35: 101799. doi: 10.1016/j.artd.2025.101799.

Vpliv krvnega tlaka na nastanek epiduralnega hematoma po operaciji ledvene hrbtenice

Neža VAVPETIČ¹ in Matevž TOPOLOVEC^{1,2}

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Taborška ulica 8, 2000 Maribor

Ključne besede: spinalna kirurgija, epiduralni hematoma, ledvena hrbtenica, pooperativni zaplet, krvni tlak.

I. UVOD

Nastanek pooperativnega epiduralnega hematoma (PEH) na mestu posega je redek, vendar hud zaplet operacije ledvene hrbtenice [1,2]. Najdba tekočinske kolekcije po kirurškem posegu je pogosto naključna in po večnivojskih dekompresijah ledvene hrbtenice na posnetkih magnetne resonance prisotna v kar 88,5 % [2,3]. Incidenca simptomatskega PEH, ki zahteva reoperacijo, je mnogo manjša in v nedavnih raziskavah redko presega 1 % [1,4,5].

PEH pogosteje nastane po dolgih, revizijskih, večnivojskih posegih, ki terjajo večjo izgubo krvi [1,4,6]. Med dejavnike tveganja za nastanek PEH štejemo tudi višjo starost, debelost, motnje strjevanja krvi, arterijsko hipertenzijo nedavno prejete transfuzije, daljši operativni čas in večjo izgubo krvi [1,5–8]. Antikoagulantna in tromembolična zdravila, ukinjena v ustreznem predoperativnem intervalu niso dejavnik tveganja za PEH [5,9,10].

Na številne sistemske dejavnike tveganja za nastanek PEH, kot sta starost bolnika in pridružene bolezni, nimamo vpliva [5,11,12]. Zato je zanimanje usmerjeno predvsem v dejavnike, ki jih v perioperativnem obdobju lahko nadzorujemo. Dosedanje raziskave so že pokazale povezavo med arterijsko hipertenzijo in PEH, vendar so pogosto proučevale prisotnost diagnoze in ne točnih vrednosti krvnega tlaka (KT) ter njihovega vpliva na nastanek PEH [6,8,11,12]. Posamezne raziskave so že potrdile povezavo med višjimi pooperativnimi vrednostmi KT in PEH, naš namen pa je sled teh dognanj razviti v boljše razumevanje vpliva pooperativnih vrednosti ter nihanj KT na nastanek PEH, ter tako nadgraditi strategije preprečevanja PEH [7,11].

V ta namen smo kot ničelno hipotezo predpostavili da višje vrednosti pooperativnega KT ali večja pooperativna nihanja KT nimajo statistično značilnega vpliva na nastanek simptomatskega PEH po operacijah ledvene hrbtenice.

II. MATERIALI IN METODE

Izvedli smo retrospektivno študijo primerov in kontrol v katero smo vključili 46 bolnikov pri katerih je po operacijah ledvene hrbtenice zaradi degenerativne bolezni med leti 2013 in 2024 prišlo do PEH zaradi katerega je bil indiciran revizijski poseg. Kontrolno skupino so predstavljali bolniki s primerljivo patologijo pri katerih po operacijah ni prišlo do simptomatskega PEH. Demografske podatke, podatke o operacijah ter vrednosti KT smo zbrali iz bolnišničnih arhivov. Intraoperativni KT smo zabeležili kot povprečje vseh vrednosti, izmerjenih med operacijo, pooperativni KT pa kot povprečje meritev zabeleženih prve 3 ure na oddelku intenzivne nege. Za analizo kategoričnih spremenljiv smo uporabili Fischerjev eksaktni test, za analizo zveznih spremenljivk pa Mann-Whitney U test. Povezanost krvnega tlaka s pojavom PEH smo ocenili z univariatno in multivariatno logistično regresijo. Multivariatni modeli so bili prilagojeni za starost, indeks telesne mase, trajanje operacije in večnivojski poseg. Podatke smo analizirali s programsko opremo IBM SPSS Statistics (verzija 26.0).

III. REZULTATI

Do simptomatskega PEH, ki je zahteval revizijsko operacijo je prišlo po 46 od 4194 posov na ledveni hrbtenici (incidenca 1,1 %). Bolniki, pri katerih se je razvil simptomatski PEH so bili statistično značilno starejši ($p = 0,018$), operirani na več nivojih ($p = 0,030$), z večjo intraoperativno izgubo krvi ($p = 0,008$), daljšim operativnim časom ($p = 0,012$) in pogosteje prejemniki intraoperativnih transfuzij ($p = 0,022$). V sklopu drugih demografskih podatkov ni bilo statistično značilnih razlik med skupinama (Tabela 1).

Med skupinama ni bilo razlik v predoperativnih ali intraoperativnih vrednostih krvnega tlaka. Bolniki s PEH pa so imeli višji pooperativni sistolični krvni tlak (141 proti 130 mmHg; $p = 0,048$), večji porast sistoličnega krvnega tlaka med intraoperativnim in pooperativnim obdobjem (33 proti 29 mmHg; $p = 0,030$) ter večji porast srednjega arterijskega tlaka (20 proti 15 mmHg; $p = 0,036$).



Tabela 1: Ključni dejavniki, povezani z razvojem simptomatskega PEH.

Spremenljivka	Bolniki		p
	Kontrole (n = 46)	Primeri (n = 45)	
Starost (leta) ^a	63,5 (53,8–69,5)	70,0 (64,5–72,5)	,018
Večnivojski poseg ^b	22 (47,8)	33 (73,3)	,030
Intraoperativna transfuzija ^b	3 (6,5)	11 (24,4)	,022
Izguba krvi (mL) ^a	200 (50–275)	300 (150–450)	,008
Trajanje operacije (min) ^a	82,5 (50–115)	110 (65–170)	,012
Pooperativni sistolični KT (mmHg) ^a	130 (121,5–145)	141 (126–152)	,048
Porast sistoličnega KT po operaciji (mmHg) ^a	29 (18,3–39,3)	33 (24,5–47)	,030
Porast srednjega arterijskega tlaka po operaciji (mmHg) ^a	15 (7–22,3)	20 (13–26,5)	,036

a. Podatki so prikazani kot mediana (interkvartilni razpon).
b. Podatki so prikazani kot število bolnikov (%).
KT – krvni tlak.

V multivariatni analizi (Tabela 2) je vsak porast pooperativnega sistoličnega krvnega tlaka za 10 mmHg povečal verjetnost za razvoj PEH za 46 % (aOR 1,46; 95 % IZ 1,05–2,03; $p = 0,024$), vsak porast pooperativnega srednjega arterijskega tlaka za 10 mmHg pa za 117 % (aOR 2,17; 95 % IZ 1,23–3,80; $p = 0,007$). Prav tako je bil z večjim tveganjem za PEH povezan porast sistoličnega (aOR 1,58; 95 % IZ 1,10–2,27; $p = 0,013$), diastoličnega (aOR 1,89; 95 % IZ 1,10–3,25; $p = 0,022$) in srednjega arterijskega tlaka (aOR 2,00; 95 % IZ 1,19–3,35; $p = 0,009$) med intraoperativnim in pooperativnim obdobjem.

Tabela 2: Multivariatna analiza.

Spremenljivka	Multivariatna analiza	
	aOR (95 % IZ)	p
Pooperativni sistolični KT (na 10 mmHg)	1,46 (1,05–2,03)	,024
Pooperativni srednji arterijski tlak (na 10 mmHg)	2,17 (1,23–3,80)	,007
Porast sistoličnega krvnega tlaka po operaciji (na 10 mmHg)	1,58 (1,10–2,27)	,013
Porast diastoličnega krvnega tlaka po operaciji (na 10 mmHg)	1,89 (1,10–3,25)	,022
Porast srednjega arterijskega tlaka po operaciji (na 10 mmHg)	2,00 (1,19–3,35)	,009

a. Vsi modeli so bili prilagojeni za starost, indeks telesne mase, trajanje operacije in večnivojski poseg.
aOR – prilagojeno razmerje obetov; IZ – interval zaupanja.

IV. RAZPRAVA

V dani raziskavi smo ugotovili pomen nihanj krvnega tlaka v zgodnjem pooperativnem obdobju za razvoj simptomatskega PEH po operaciji ledvene hrbtenice. Najbolj izrazit je bil vpliv srednjega arterijskega tlaka, katerega dvig za 10mmHg podvoji verjetnost za nastanek PEH. Naše ugotovitve so skladne s predhodnimi raziskavami, ki so že razkrile pomembno vlogo pooperativne hipertenzije pri nastanku PEH [7,11]. Sama diagnoza arterijske hipertenzije ter pred- in intraoperativne vrednosti KT niso imele statistično značilnega vpliva na nastanek PEH. Izstopajo pooperativni sistolični, srednji

arterijski tlak ter porasti tako sistoličnega, diastoličnega kot srednjega arterijskega tlaka, povezani z večjim tveganjem za nastanek simptomatskega PEH. Ta kontrast nakazuje, da ima na nastanek hematoma večji vpliv nenadna pooperativna hemodinamska obremenitev, kakor sama diagnoza arterijske hipertenzije.

Slednje si lahko razlagamo s ponovno krvavitvijo iz epiduralnega venskega pleteža ali drugih poškodovanih žil po zaključku operacije. Med samim posegom so vrednosti KT praviloma nižje, kar otežuje prikaz vseh mest krvavitve pri vzpostavljanju hemostaze. Nenaden porast krvnega tlaka po zaprtju kirurške rane lahko prekine nastajajoče strdke in povzroči dodatno širjenje PEH.

Kljub omejitvam raziskave, ki jih predstavlja tako majhen vzorec, kakor njena retrospektivna zasnovla lahko iz danih rezultatov izluščimo pomen preprečevanja pooperativne hipertenzije z namenom preprečevanja PEH.

V. ZAKLJUČKI

Visoke pooperativne vrednosti in nihanja sistolnega ter srednjega arterijskega tlaka so statistično značilno povezana z nastankom simptomatskega PEH. Že dvig sistolnega KT za 10mmHg podvoji verjetnost nastanka PEH, kar kaže na pomen skrbnega spremljanja KT v zgodnjem pooperativnem obdobju, kar lahko prispeva k preprečevanju tega redkega, vendar hudega zapleta kirurgije ledvene hrbtenice.

LITERATURA

- [1] Zeng XJ, Wang W, Zhao Z, Li M. Causes and preventive measures of symptomatic spinal epidural haematoma after spinal surgery. *Int Orthop.* julij 2017;41(7):1395–403. doi:10.1007/s00264-017-3506-2
- [2] Schroeder GD, Kurd MF, Kepler CK, Arnold PM, Vaccaro AR. Postoperative Epidural Hematomas in the Lumbar Spine. *J Spinal Disord Tech.* november 2015;28(9):313–8. doi:10.1097/BSD.0000000000000329
- [3] Yeo JB, Lee E, Lee JW, Kim BR, Kang Y, Ahn JM, idr. Immediate postoperative MRI findings after lumbar decompression surgery: Correlation of imaging features with clinical outcome. *J Clin Neurosci.* julij 2021;89:365–74. doi:10.1016/j.jocn.2021.05.045.
- [4] Wang L, Wang H, Zeng Y, Zhong W, Chen Z, Li W. Delayed Onset Postoperative Spinal Epidural Hematoma after Lumbar Spinal Surgery: Incidence, Risk Factors, and Clinical Outcomes. *Fortina M, urednik. BioMed Res Int.* januar 2020;2020(1):8827962. doi:10.1155/2020/8827962.
- [5] Chen Q, Zhong X, Liu W, Wong C, He Q, Chen Y. Incidence of postoperative symptomatic spinal epidural hematoma requiring surgical evacuation: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J.* december 2022;31(12):3274–85. doi:10.1007/s00586-022-07421-6.
- [6] Aikeremu A, Liu G. Risk factors of postoperative spinal epidural hematoma after transforaminal lumbar interbody fusion surgery. *Neurochirurgie.* september 2021;67(5):439–44. doi:10.1016/j.neuchi.2021.04.012.
- [7] Yamada K, Abe Y, Satoh S, Yanagibashi Y, Hyakumachi T, Masuda T. Large Increase in Blood Pressure After Extubation and High Body Mass Index Elevate the Risk of Spinal Epidural Hematoma After Spinal Surgery: Spine. *Spine.* julij 2015;40(13):1046–52. doi:10.1097/BRS.0000000000000876.
- [8] Liu JM, Deng HL, Zhou Y, Chen XY, Yang D, Duan MS, idr. Incidence and risk factors for symptomatic spinal epidural haematoma following lumbar spinal surgery. *Int Orthop.* november 2017;41(11):2297–302. doi:10.1007/s00264-017-3619-7.



- [9] Kepler CK, McKenzie J, Kreitz T, Vaccaro A. Venous Thromboembolism Prophylaxis in Spine Surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 15. julij 2018;26(14):489–500. doi:10.5435/JAAOS-D-17-00561.
- [10] Mosenthal WP, Landy DC, Boyajian HH, Idowu OA, Shi LL, Ramos E, idr. Thromboprophylaxis in Spinal Surgery. *Spine.* 15. april 2018;43(8):E474–81. doi:10.1097/BRS.0000000000002379
- [11] Fujiwara Y, Manabe H, Izumi B, Harada T, Nakanishi K, Tanaka N, idr. The impact of hypertension on the occurrence of postoperative spinal epidural hematoma following single level microscopic posterior lumbar decompression surgery in a single institute. *Eur Spine J.* oktober 2017;26(10):2606–15. doi:10.1007/s00586-017-5165-9.
- [12] Ohba T, Ebata S, Haro H. Influence of Postoperative Hypertension on the Development of Spinal Epidural Hematoma. *Orthop Surg.* november 2017;9(4):386–90. doi:10.1111/os.12352.



Anteriorni pristop za fuzijo in diskektomijo vratne hrbtenice

Neža VAVPETIČ¹ in Matevž TOPOLOVEC^{1,2}

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Medicinska fakulteta Maribor, Taborska ulica 8, 2000 Maribor

Ključne besede: spinalna kirurgija, vratna hrbtenica, kirurški pristop, spondilodeza, diskektomija.

I. UVOD

Anteriorni pristop za fuzijo in diskektomijo vratne hrbtenice (angl. »anterior cervical spine discectomy and fusion«, ACDF) sta leta 1958 razvila Smith in Robinson za zdravljenje simptomatske radikulopatije in mielopatije [1,2]. Nedavni pregledni članki med najpogostejše pooperativne zaplete ACDF uvrščajo psevdootrozo, disfagijo, oteklino vratu, posedanje kletke, napredovanje mielopatije, bolezen sosednjega segmenta in hripavost [2,3]. Med redkejši zaplete (<1 %) sodijo še perforacija požiralnika, Hornerjev sindrom, vnetje, hematoma, poškodba duralne ovojnice in iztok likvorja [2,3]. Tveganje za zaplete narašča s starostjo bolnika in številom operiranih nivojev [3]. V izogib zapletom je ključna natančna kirurška tehnika, zato je cilj danega prispevka ilustrirana predstavitev postopka ACDF.

II. METODE

S pomočjo podatkovne baze PubMed/MEDLINE (National Library of Medicine, Bethesda, ZDA) smo z uporabo kombinacij ključnih besed »anterior cervical discectomy and fusion« in »ACDF« iskali metaanalize, pregledne članke in tehnične opise postopka, objavljene od leta 2015, s poudarkom na delih, ki vsebujejo novejši dokaz o indikacijah, kliničnih rezultatih in zapletih, povezanih s postopkom. Zbrano literaturo smo dopolnili opis kirurškega pristopa, ki je bil pripravljen na podlagi smernic AO Spine Surgery Reference ter z avtorskimi ilustracijami pripravili ilustrirani prikaz kirurške tehnike [4,5].

III. REZULTATI

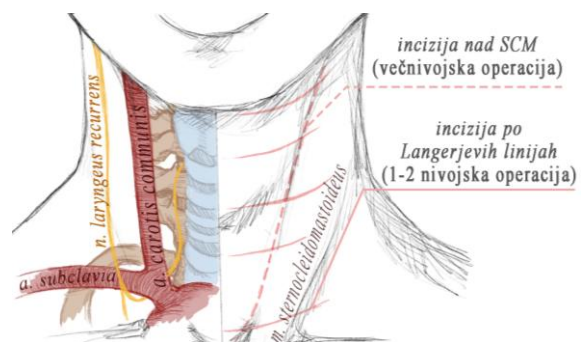
A. Priprava bolnika

Bolnik je nameščen v ležeči položaj na hrbtu s pričvrščeno glavo v nevtralnem položaju ali blagi ekstenziji. Zaradi lažje palpacije požiralnika ima bolnik vstavljeno nazogastrično cevko. Pred pripravo operativnega polja označimo anatomske strukture in nivo incizije [6–8].

B. Incizija in pristop

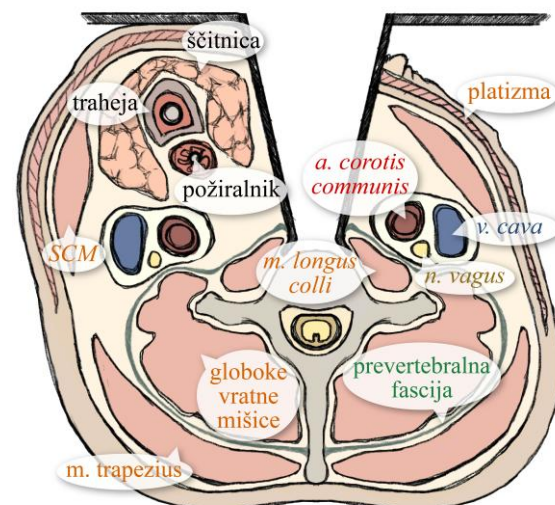
Kirurška incizija po Langerjevih linijah na višini in strani ciljne patologije omogoča estetsko ugodnejšo brazgotino ob nekoliko slabši preglednosti operativnega polja, zato pri večnivojski ACDF izberemo rez ob

medialnem robu *m. sternocleidomastoideus* (SCM), kot prikazuje Slika 1.



Slika 1: Vratna anatomija in položaj kirurških rezov.

Plitvo podkožje vodi do platizme, ki jo prekinemo po anteromedialnem robu SCM. Palpiramo pulz *a. carotis communis*, nato s topim instrumentom nadaljujemo pristop medialno od karotidne ovojnice ter lateralno od traheje in požiralnika do prevertebralne fascije, ki jo prekinemo z longitudinalnim rezom [4,6–8]. Z rentgenskim posnetkom potrdimo nivo posega, nato obe mišici *m. longus colli* odluščimo od sprednje površine vretenc in ju lateraliziramo (Slika 2).

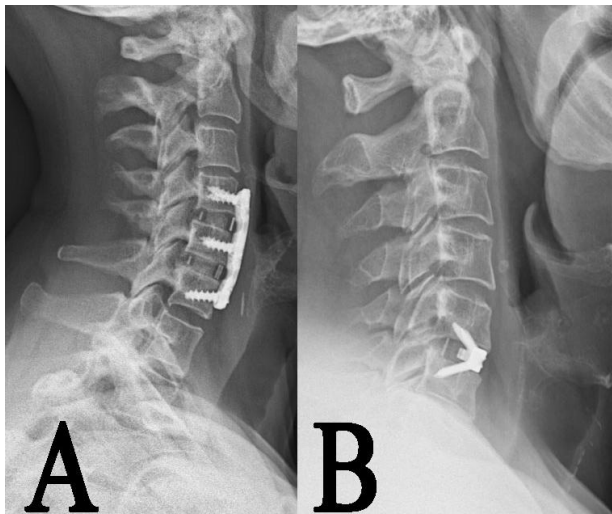


Slika 2: Prečni prerez vratu po lateralizaciji *m. longus colli*.

V sosednji telesi vretenc vstavimo Casparjeve pine za nadzorovano distrakcijo operiranega medvretenčnega prostora [4–8].

C. Diskektomija, dekompresija in fuzija

Za natančnejše delo pri diskektomiji uporabljamo operacijski mikroskop, pod katerim ob sledenju terminalnim ploščam vretenc prerežemo *anulus fibrosus*, vstopimo v medvretenčni prostor, odstranimo pulpozno jedro ter postopoma izpostavimo posteriorni del medvretenčnega prostora. Hrustančno plast terminalnih plošč odstranimo s kiretami oziroma svedrom. Posteriorne osteofite odstranimo s svedrom in Kerrisonovimi kleščami. Po potrebi prekinemo oziroma odstranimo tudi posteriorni longitudinalni ligament ter opravimo dekompresijo, katere ustreznost preverimo s topo živčno kljukico. V pripravljen medvretenčni prostor vstavimo medvretenčno kletko, napolnjeno s sintetičnim kostnim nadomestkom, katere ustrezno velikost predhodno preverimo s poskusnimi vsadki. Konstrukt pritrdimo z vijaki, nameščenimi neposredno v medvretenčno kletko (Slika 3, B) ali pa z anteriorno ploščico in vijaki (Slika 3, A) [6,8].



Slika 3: Stranski posnetki vratne hrbtenice po ACDF s kombinacijo kletk z anteriorno ploščico (A) ter po ACDF z medvretenčno kletko in vijaki (B).

Klasična fuzija z medvretenčno kletko in anteriorno ploščico zagotavlja manj posedanja ter ugodne radiološke rezultate [9]. Medvretenčne kletke, ki jih brez uporabe anteriornih ploščic neposredno sidramo s štirimi vijaki, imajo manjši ali celo ničelni anteriorni profil, kar lahko zmanjša tveganje za pooperativno disfagijo [10,11].

Položaj vsadkov preverimo z rentgenskim slikanjem v stranski in anteroposteriorni projekciji. Po odstranitvi distrakcije preverimo stabilnost konstrukta, napravimo hemostazo, pregledamo strukture ter po potrebi vstavimo dren, nato rano zapremo po anatomskih plasteh [6,8].

IV. RAZPRAVA

ACDF je uveljavljen operativni postopek, katerega prikazi so dostopni v mednarodni literaturi. Rhee in Ju predstavita postopek od Smith-Robinsonovega pristopa do vstavitve presadka, fiksacije in zapiranja rane, deli Viga *et al.* ter Gajskega *et al.* pa se osredotočata predvsem na natančen anatomske prikaz [6–8]. Naš prispevek tako ne opisuje nove operativne metode, temveč stremi k strnjnemu, avtorsko ilustriranemu prikazu poteka ACDF, ki združuje povzetek ključne kirurške anatomije ter znane dokaze o zapletih in dejavnikih, ki vplivajo na izbiro konstrukta.

V. ZAKLJUČKI

ACDF velja za zlati standard kirurškega zdravljenja simptomatske cervikalne radikulopatije in mielopatije. Razvoj ortopedskih vsadkov je omogočil uporabo samostojnih medvretenčnih kletk, ki se bolje prilagajajo vratni lordozi (t. i. lordotične kletke), povzročajo manj pooperativnega nelagodja ter manjše tveganje za disfagijo v primerjavi z anteriornimi ploščicami, ki na sprednji strani vratne hrbtenice ustvarijo dodaten profil [2,11,12]. Izbor kletke je pomemben tudi zaradi nevarnosti njenega posedanja, katerega incidenca je najmanjša pri uporabi kletke z vijaki [9]. Čeprav uporaba klasične metode fuzije z medvretenčno kletko in anteriorno ploščico zagotavlja ugodne radiološke rezultate kostnega preraščanja ter manj posedanja, so kletke z manjšim profilom povezane z manjšo pojavnostjo disfagije in bolezni sosednjega segmenta [9–13].

Ne glede na tehnološki napredek ostajata natančna kirurška tehnika in dobro poznavanje anatomije ključna dejavnika za doseganje ugodnih kliničnih rezultatov [2,3].

LITERATURA

- [1] Smith GW, Robinson RA. The treatment of certain cervical-spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion. *J Bone Joint Surg Am.* 1958;40-A(3):607-624.
- [2] Rai V, Sharma V, Kumar M, Thakur L. A systematic review of risk factors and adverse outcomes associated with anterior cervical discectomy and fusion surgery over the past decade. *J Craniovertebr Junction Spine.* 2024;15(2):141-52. doi: 10.4103/jcvjs.jcvjs_168_23.
- [3] Tavanaei R, Ansari A, Hatami A, Heidari MJ, Dehghani M, Hajiloo A, Khorasanizadeh M, Margetis K. Postoperative complications of anterior cervical discectomy and fusion: A comprehensive systematic review and meta-analysis. *N Am Spine Soc J.* 2025 Feb 8;21:100596. doi: 10.1016/j.xnsj.2025.100596.
- [4] Bellabarba C, Gruenberg M, Oner C. Anterior approach to the cervical spine [Internet]. Davos (CH): AO Foundation; [citirano 15. jun. 2026]. Dostopno na: <https://surgeryreference.aofoundation.org/spine/trauma/subaxial-cervical/approach/anterior-approach-to-the-cervical-spine>.
- [5] Laufer I, Verlaan JJ, Vialle L. Anterior decompression and stabilization [Internet]. Davos (CH): AO Foundation; [citirano 15. jun. 2026]. Dostopno na: <https://surgeryreference.aofoundation.org/spine/tumors/metastatic-tumors/subaxial-cervical-stable-high-escr/anterior-decompression-and-stabilization#anterior-plating>.
- [6] Rhee JM, Ju KL. Anterior Cervical Discectomy and Fusion. *JBJS Essent Surg Tech.* 2016;6(4):e37. Published 2016 Nov 9. doi:10.2106/JBJS.ST.15.00056.
- [7] Vigo V, Pastor-Escartín F, Doniz-Gonzalez A, Quilis-Quesada V, Capilla-Guasch P, González-Darder JM, et al. The Smith-



- Robinson Approach to the Subaxial Cervical Spine: A Stepwise Microsurgical Technique Using Volumetric Models From Anatomic Dissections. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2021;20(3):83-90. doi:10.1093/ons/opaa265.
- [8] Gajski D, Dennis AR, Arnautović KI. Surgical anatomy of microsurgical 3-level anterior cervical discectomy and fusion C4-C7. *Bosn J Basic Med Sci*. 2021;21(3):258-260. doi:10.17305/bjbm.2020.4895.
- [9] Noordhoek I, Koning MT, Jacobs WCH, Vleggeert-Lankamp CLA. Incidence and clinical relevance of cage subsidence in anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review. *Acta Neurochir (Wien)*. 2018;160(4):873-880. doi:10.1007/s00701-018-3490-3.
- [10] McDonnell JM, Youssef S, Ross TD, et al. The efficacy of anchored stand-alone spacers in comparison to conventional cage and plate in anterior cervical discectomy and fusion surgery: A meta-analysis of randomised controlled trials for clinical and radiological outcomes. *Brain Spine*. 2024;4:102748. Published 2024 Jan 18. doi:10.1016/j.bas.2024.102748.
- [11] Tsalimas G, Evangelopoulos DS, Benetos IS, Pneumaticos S. Dysphagia as a Postoperative Complication of Anterior Cervical Discectomy and Fusion. *Cureus*. 2022;14(7):e26888. Published 2022 Jul 15. doi: 10.7759/cureus.26888.
- [12] Al-Adli NN, Tummala S, Oh MC. Early radiographic outcomes after anterior cervical discectomy and fusion with anatomic versus lordotic cages. *N Am Spine Soc J*. 2023;17:100292. Published 2023 Nov 15. doi:10.1016/j.xnsj.2023.100292.
- [13] Cheung ZB, Gidumal S, White S, et al. Comparison of Anterior Cervical Discectomy and Fusion With a Stand-Alone Interbody Cage Versus a Conventional Cage-Plate Technique: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Global Spine J*. 2019;9(4):446-455. doi:10.1177/2192568218774576.



Usmerjena evolucija terapevtskih stafilokoknih bakteriofagov za razširitev nabora gostiteljev: primerjalna genomska analiza ancestralnih in evolviranih fagov

Andrej KOROŠEC¹, Luka KOSTADINOVSKI², Anja FRANTAR³ in Katja ŠUSTER²

¹Univerza na Primorskem, FAMNIT, Glagoljaška ulica 8, 6000 Koper

²Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska c. 31, 6280 Ankaran

³Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

Ključne besede: usmerjena evolucija, bakteriofagi, *Staphylococcus epidermidis*, primerjalna genomska analiza, evolvirani bakteriofagi, genomski mozaicizem.

I. UVOD

Staphylococcus epidermidis je pomemben oportunistični povzročitelj okužb, zlasti okužb sklepnih protez, katerih zdravljenje dodatno otežujeta sposobnost tvorbe biofilma in naraščajoča protimikrobna odpornost. Bakteriofagi predstavljajo potencialno alternativo oziroma dopolnilo antibiotičnemu zdravljenju, vendar njihovo širšo terapevtsko uporabo pogosto omejuje njihova visoka specifičnost in posledično ozek spekter delovanja. Ta omejitev je še posebej pomembna pri *S. epidermidis*, saj je nabor dobro okarakteriziranih terapevtskih bakteriofagov proti tej bakterijski vrsti bistveno manjši kot proti *Staphylococcus aureus* [1].

Spekter delovanja bakteriofagov je mogoče razširiti z usmerjeno evolucijo, pri kateri ponavljajoče izpostavljanje fagov različnim bakterijskim sevom spodbuja selekcijo ugodnih genetskih sprememb in rekombinacijskih dogodkov. Eden izmed uveljavljenih pristopov je Appelmansov protokol, s katerim lahko pridobimo variante bakteriofagov, učinkovite proti širšemu naboru bakterijskih sevov [2,3].

V predhodni raziskavi smo med osmimi testiranimi stafilokoknimi bakteriofagi izbrali fage K (ATCC 19685-B1), Sb-1 (Inštitut Elavia) in vB_SepM_Alex (DSM 108061), ki so izkazovali najširši spekter delovanja proti testiranim sevom *S. epidermidis*. Fage smo združili v koktajl in ga s prilagojenim Appelmansovim protokolom 14 pasaž zaporedoma izpostavljali 29 sevom *S. epidermidis*. Usmerjena evolucija je postopoma razširila spekter delovanja koktajla.

V nadaljevanju raziskave smo se osredotočili na izolacijo evolviranih variant bakteriofagov ter njihovo fenotipsko in genomsko karakterizacijo. Cilj je bil s primerjalno genomsko analizo določiti evolucijski izvor izoliranih variant ter identificirati genetske spremembe, povezane z njihovim spremenjenim spektrom delovanja.

II. MATERIALI IN METODE

A. Izolacija novih evolviranih variant fagov in preverjanje njihovega spektra delovanja

Iz evolviranega fagnega koktajla smo z metodo plakov na prvotno odpornih sevih *S. epidermidis* SE 1701, SE 2307, SE 2401 in SE 2402 izolirali variante bakteriofagov F1701, F2307, F2401 in F2402. Njihov spekter delovanja smo preverili na zbirki 29 sevov *S. epidermidis* in ga primerjali s spektri ancestralnih fagov K, Sb-1 in vB_SepM_Alex. Intenzivnost litičnega učinka smo določili na podlagi delovanja serijskih redčitev posameznega faga ter jo semikvantitativno ovrednotili z oceno od 0 do 3, pri čemer je 0 pomenila odsotnost vidnega učinka, 1 šibko litično aktivnost, izraženo kot motna oziroma nejasna liza, omejena na najvišjo koncentracijo faga in prvo serijsko redčitev, brez jasno izraženih plakov; 2 motno lizo in/ali tvorbo plakov pri omejenem številu serijskih redčitev, praviloma do 10^{-2} – 10^{-3} ; ter 3 izrazito lizo in/ali tvorbo plakov pri več zaporednih redčitvah, praviloma tudi pri redčitvah nad 10^{-3} . Ker sta izolata F2401 in F2402 po izenačitvi fagnih titrov izkazovala enak spekter delovanja in imela identični konsenzni genomski zaporedji, smo ju v nadaljnjih primerjavah obravnavali kot isti genomski in fenotipski tip, pri čemer je v rezultatih predstavljen F2401.

B. Izolacija DNK in primerjalna genomska analiza

DNK ancestralnih in evolviranih bakteriofagov smo izolirali s prilagojenim protokolom fenol-kloroformske ekstrakcije. Po preverjanju koncentracije in kakovosti smo genomske DNK sekvenirali z metodo shotgun na platformi Illumina NextSeq z branjem 2×150 nt. Genomska zaporedja smo *de novo* sestavili z bioinformatičnim orodjem Unicycler [4]. Za potrebe primerjalne genomske analize smo genome orientirali v isti smeri in njihov začetek določili glede na homologno območje gena za veliko podenoto terminaze (terL). Genomska zaporedja smo anotirali z orodjem Pharokka [5]. Nukleotidno podobnost med ancestralnimi in evolviranimi fagi ter število substitucij (SNP), insercij in delecij smo določili s parnimi poravnavami genomov z orodjem

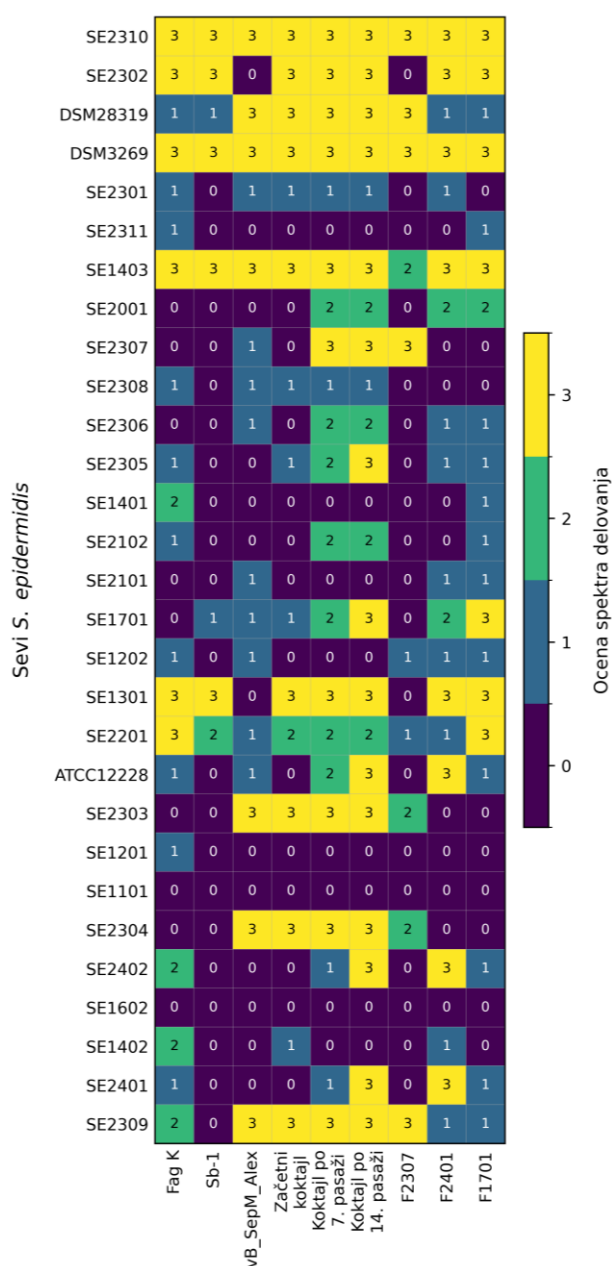


MUMmer/DNAdiff [6]. Evolucijski izvor variant smo določali s primerjavo njihovih genomov z genomi ancestralnih fagov ter z analizo nukleotidnih razlik in rekombinacijskih vzorcev.

III. REZULTATI

A. Spekter delovanja

Izolirane evolvirane variante so izkazovale različne profile delovanja proti testiranim sevom *S. epidermidis* (Slika 1), pri čemer so posamezne variante lizirale različne podskupine bakterijskih sevov.



Slika 1: Barvna matrika litične aktivnosti ancestralnih in evolviranih bakteriofagov proti sevom *S. epidermidis*.

Spekter delovanja posameznih izoliranih variant je bil ožji od spektra evolviranega koktajla. To je lahko posledica komplementarnega delovanja več variant z različnimi gostiteljskimi spektri, hkrati pa ni mogoče izključiti prisotnosti dodatnih evolviranih variant v koktajlu, ki jih v okviru te raziskave nismo izolirali.

B. Primerjalna genomska analiza

Primerjalna genomska analiza je pokazala dve različni evolucijski liniji izoliranih fagov. F2401 (135.937 bp) in F1701 (138.665 bp) sta bila visoko sorodna ancestralnima fagoma K (139.829 bp) in Sb-1 (138.184 bp). F2401 je v primerjavi s K izkazoval 99,83 % nukleotidne identitete v poravnanih regijah, s 182 SNP-ji in 48 indeli, v primerjavi s Sb-1 pa 99,85 % identitete, s 187 SNP-ji in 16 indeli. Pri F1701 je bila podobnost nekoliko večja s Sb-1 (99,85 % identitete; 172 SNP-jev in 22 indelov) kot s K (99,75 %; 254 SNP-jev in 82 indelov). Analiza 578 diagnostičnih nukleotidnih mest, na katerih se ancestralna faga K in Sb-1 razlikujeta, je pri obeh, F2401 in F1701, pokazala kombinacijo alelov obeh ancestralnih fagov. Pri F2401 je bilo 392 mest K-podobnih in 186 Sb-1-podobnih, pri F1701 pa 315 K-podobnih in 263 Sb-1-podobnih. Razporeditev alelov v daljših strnjenih genoskih regijah je pri obeh pokazala mozaično strukturo, skladno z rekombinantnim izvorom.

F2401 in F1701 sta bila med seboj 99,98 % identična v poravnanih regijah ter sta se razlikovala v 21 SNP-jih in 6 indelih; F1701 je poleg tega vseboval približno 3,3 kb dodatnega zaporedja, ki se s F2401 ni poravnalo.

F2307 (137.668 bp) je bil skoraj identičen ancestralnemu fagu vB_SepM-Alex (137,668 bp): genoma sta se poravnala po celotni dolžini z 99,99 % nukleotidno identiteto, brez indelov, razlikovala pa sta se le v dveh SNP-jih, povezanih s predvidenima aminokislinskima zamenjavama Pro34His v glavnem proteinu kapside in Asp222Gly v hipotetičnem proteinu.

IV. RAZPRAVA

Genoski mozaicizem je ena značilnih lastnosti evolucije bakteriofagov in nastaja z izmenjavo genoskih segmentov med fagi, pri čemer ima pomembno vlogo rekombinacija med genomi, ki sočasno okužijo isto bakterijsko celico [7]. Takšni dogodki so posebej verjetni med genetsko sorodnimi fagi, saj večja nukleotidna homologija omogoča učinkovitejšo homologno rekombinacijo [8]. Naši rezultati so s tem modelom skladni. Ancestralna faga K in Sb-1 sta bila med seboj tesno sorodna, pri evolviranem fagu F2401 pa je analiza pokazala izrazito mozaično organizacijo genoma, pri čemer so se aleli obeh starševskih fagov pojavljali v daljših strnjenih genoskih regijah. Takšen vzorec je skladen z nastankom F2401 z več rekombinacijskimi dogodki med sorodnima starševskima fagoma med zaporednimi cikli skupnega razmnoževanja in selekcije. Nasprotno je bil fag vB_SepM-Alex genosko izrazito oddaljen od K in Sb-1, evolviran fag F2307 pa mu je ostal skoraj povsem identičen, brez zaznavnih večjih rekombinacijskih blokov iz K ali Sb-1. Da širjenje spektra delovanja fagov pri

Appelmansovem protokolu v veliki meri temelji na rekombinaciji med sorodnimi fagi so opisali tudi Burrowes *et al.* [9] pri usmerjeni evoluciji fagov *Pseudomonas aeruginosa*: fag z najbolj razširjenim spektrom delovanja je v njihovi raziskavi nastal z najmanj 48 rekombinacijskimi dogodki med ancestralnima fagoma z več kot 99 % nukleotidno podobnostjo, medtem ko tretji, evolucijsko oddaljeni fag ΦKZ v genom rekombinanta ni prispeval zaznavnega zaporedja.

Rezultati nakazujejo, da lahko izbira genetsko sorodnih fagov v začetnem koktajlu poveča možnost nastanka nove genetske raznolikosti z rekombinacijo, medtem ko se pri bolj oddaljenih fagih prilagajanje lahko pretežno opira na posamezne mutacije ali druge mehanizme.

V. ZAKLJUČKI

Naši rezultati kažejo, da lahko vključevanje tesno sorodnih fagov z zadostno genomsko homologijo in skupnim permisivnim gostiteljem spodbuja nastanek novih genetskih kombinacij z rekombinacijo. Genetsko bolj oddaljeni fagi lahko koktajl dopolnijo z neodvisnim spektrom delovanja in drugačnimi mehanizmi okužbe, čeprav je njihov neposredni prispevek k nastanku rekombinantnih variant verjetno manjši.

LITERATURA

- [18] Fanaei Pirlar R, Wagemans J, Ponce Benavente L, Lavigne R, Trampuz A, Gonzalez Moreno M. Novel Bacteriophage Specific against *Staphylococcus epidermidis* and with Antibiofilm Activity. *Viruses*. 2022 Jun 20;14(6):1340. doi: 10.3390/v14061340.
- [19] Burrowes BH, Molineux IJ, Fralick JA. Directed in Vitro Evolution of Therapeutic Bacteriophages: The Appelmans Protocol. *Viruses*. 2019 Mar 11;11(3):241. doi: 10.3390/v11030241.
- [20] Vu TN, Clark JR, Jang E, D'Souza R, Nguyen LP, Pinto NA, Yoo S, Abadie R, Maresco AW, Yong D. Appelmans protocol - A directed in vitro evolution enables induction and recombination of prophages with expanded host range. *Virus Res*. 2024 Jan 2;339:199272. doi: 10.1016/j.virusres.2023.199272.
- [21] Wick RR, Judd LM, Gorrie CL, Holt KE. Unicycler: Resolving bacterial genome assemblies from short and long sequencing reads. *PLoS Comput Biol*. 2017 Jun 8;13(6):e1005595. doi: 10.1371/journal.pcbi.1005595.
- [22] Bouras G, Nepal R, Houtak G, Psaltis AJ, Wormald PJ, Vreugde S. Pharokka: a fast scalable bacteriophage annotation tool. *Bioinformatics*. 2023 Jan 1;39(1):btac776. doi: 10.1093/bioinformatics/btac776.
- [23] Marçais G, Delcher AL, Phillippy AM, Coston R, Salzberg SL, Zimin A. MUMmer4: A fast and versatile genome alignment system. *PLoS Comput Biol*. 2018 Jan 26;14(1):e1005944. doi: 10.1371/journal.pcbi.1005944.
- [24] Hatfull GF, Hendrix RW. Bacteriophages and their genomes. *Curr Opin Virol*. 2011 Oct;1(4):298-303. doi: 10.1016/j.coviro.2011.06.009.
- [25] Deghorain M, Van Melder L. The *Staphylococci* phages family: an overview. *Viruses*. 2012 Dec;4(12):3316-35. doi: 10.3390/v4123316.
- [26] Burrowes BH, Molineux IJ, Fralick JA. Directed in Vitro Evolution of Therapeutic Bacteriophages: The Appelmans Protocol. *Viruses*. 2019 Mar 11;11(3):241. doi: 10.3390/v11030241.



Poloksamerni hidrogel za lokalno dostavo bakteriofagov kot možna strategija za zdravljenje periimplantitisa

Anja FRANTAR ¹ in Katja ŠUSTER ²

¹ Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

² Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska c. 31, 6280 Ankaran

Ključne besede: poloksamer, bakteriofagi, fagna terapija, biofilm, periimplantitis, disbioza.

I. UVOD

Periimplantitis je vnetna bolezen tkiv ob zobnih vsadkih, ki nastane kot posledica porušenega ekološkega ravnovesja v bakterijskih biofilmih in prekomernega razraščanja škodljivih bakterijskih vrst. Nastala disbioza sproži imunsko-vnetni odgovor, ki vodi v progresivno propadanje periimplantnih tkiv in lahko povzroči izgubo vsadka [1]. Ker gre za bolezen, povezano z biofilmom, je zdravljenje pogosto nepredvidljivo. Čeprav antibiotiki zmanjšujejo bakterijsko breme, delujejo neselektivno in poleg patogenov uničujejo tudi komenzalne bakterije. Zato je razvoj selektivnih protimikrobnih pristopov, ki ciljajo patobionte in hkrati ohranjajo koristno mikrobioto, ključnega pomena. Ena izmed možnosti je fagna terapija, pri kateri bakteriofagi zaradi visoke specifičnosti okužijo in lizirajo ciljne bakterijske vrste. Za učinkovito lokalno uporabo fagov je ključen ustrezen dostavni sistem, ki zagotavlja njihovo stabilnost, ohranja antibakterijsko aktivnost in omogoča podaljšano sproščanje na mestu okužbe. Med obetavne dostavne sisteme sodijo termoreverzibilni, biokompatibilni poloksamerni geli [2]. V raziskavi smo *in vitro* spremljali stabilnost in sproščanje fagov proti *Staphylococcus epidermidis*, *Cutibacterium acnes* in *Streptococcus mutans* iz poloksamernega gela v umetno slino ter ocenili protibakterijsko in protibiofilmsko učinkovitost.

II. MATERIALI IN METODE

A. Stabilnost bakteriofagov v poloksamernem gelu

Izbrane bakteriofage: fag K (za *S. epidermidis*), fag M102 (za *S. mutans*) in fag Corretto (za *C. acnes*) smo vključili v 20 % poloksamerni gel ter 90 dni spremljali njihovo stabilnost pri 4 °C. Z metodo dvojnih agarjev smo preverjali titer fagov ob vzorčenjih po 0, 1, 2, 3, 15, 30, 60 in 90 dneh.

B. Sproščanje bakteriofagov iz poloksamernega gela v umetno slino

Po vklopu fagov v gel smo mešanici dodali umetno slino ter vzorce inkubirali pri 37 °C 48 ur. V časovnih intervalih (0, 2, 4, 6, 8, 10, 20 in 30 min; 1, 1,5, 2, 3, 4, 5,

6, 24 in 48 h) smo z metodo dvojnih agarjev v odvzetih vzorcih določili titer fagov.

C. Protibakterijsko in protibiofilmsko delovanje poloksamernega gela z bakteriofagi

Protibakterijsko delovanje fagne lizata in fagov, vklapljenih v gel, smo v tekočih kulturah spremljali z meritvami optične gostote v 10-minutnih intervalih tekom 24-72 h, odvisno od bakterijskega seva. Klinične bakterijske izolate, pri katerih smo potrdili dobro sposobnost tvorbe biofilma, smo uporabili za pripravo biofilmov. Te smo nato tretirali s štirimi pristopi: **(1) netretiran biofilm** - dodano le gojišče; **(2) biofilm, tretiran z gelom** - sterilni poloksamerni gel (20 % m/m) in gojišče; **(3) biofilm, tretiran s fagi** - razredčen fagni lizat in gojišče; **(4) biofilm, tretiran s fagi v gelu** - gel s posameznimi fagi in gojišče. Po inkubaciji smo biomaso biofilma kvantitativno določili z barvanjem s kristal vijoličnim barvilom ter merjenjem OD pri 595 nm.

III. REZULTATI

A. Stabilnost bakteriofagov v poloksamernem gelu

Bakteriofagi so pokazali dobro stabilnost v poloksamernem gelu, pri čemer so se titri v 90 dneh zmanjšali za približno en velikostni red (≈ 10 -krat).

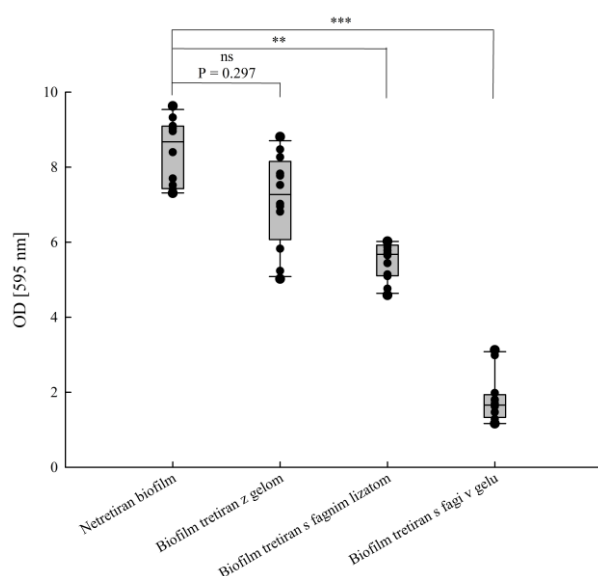
B. Sproščanje bakteriofagov in poloksamernega gela v umetno slino

V 48 urah so se profili sproščanja bakteriofagov v umetno slino razlikovali: fag Corretto je pokazal enakomerno sproščanje, medtem ko sta se faga M102 in K v prvih minutah sproščala hitro, čemur je sledilo počasnejše in bolj enakomerno sproščanje.

C. Protibakterijsko in protibiofilmsko delovanje poloksamernega gela z bakteriofagi

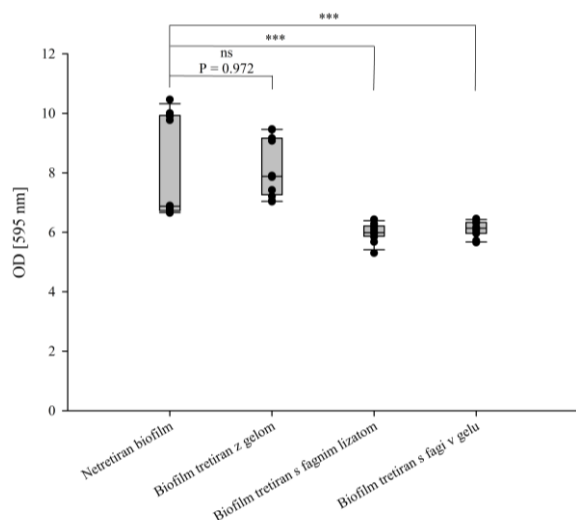
V tekočih kulturah je fagni lizat pri večini sevov *S. epidermidis*, *S. mutans* in *C. acnes* izrazilo zaviralno rast bakterij, medtem ko je bil učinek fagov v gelu bolj specifičen glede na bakterijski sev: pri nekaterih je sledil trajnejši zaviralni učinek rasti, pri drugih pa je po začetnem zamiku sledila ponovna rast bakterij. Ob tretiranju biofilmov *S. epidermidis* s fagnimi lizati in fagi

v gelu je bilo izmerjeno znatno zmanjšanje biofilmske biomase (Slika 1). Pri sevih DSM 3269, SE 1402, SE 2311 in SE 1101 sta fagni lizat in fagi v gelu značilno zmanjšala biomaso biofilma, opažen pa je bil tudi antibiofilmski učinek gela brez fagov. Najizrazitejši učinek fagov v gelu je bil opažen pri sevih SE 2311, SE 2305 in SE 1101, pri sevu SE 2305 pa tudi antibiofilmsko delovanje gela brez fagov. Izjema je bil sev SE 2310, pri katerem nobeno od tretiranj ni pomembno zmanjšalo biomase biofilma, kar kaže na nizko občutljivost biofilma tega seva na uporabljene fage.



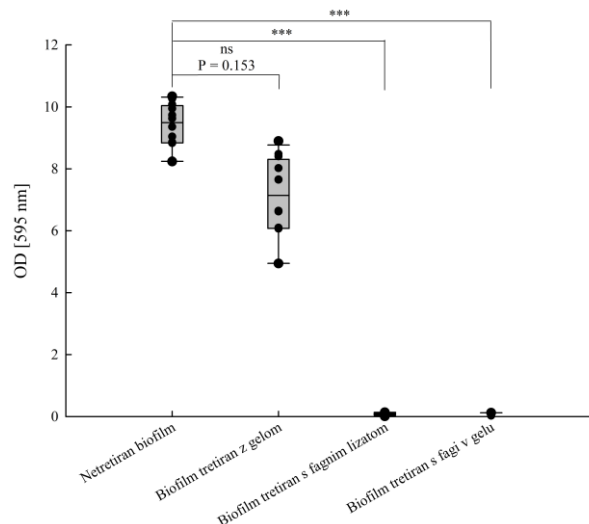
Slika 1: Tretiranje biofilma *S. epidermidis* SE2311.

Fagni lizat M102 in gel s fagi sta značilno zmanjšala biomaso biofilma *S. mutans* HER 1456 (za približno 35-40 %), pri čemer med obema ni bilo razlik v protibiofilmski učinkovitosti. Gel brez fagov na biomaso biofilma ni pomembno vplival (Slika 2).



Slika 2: Tretiranje biofilma *S. mutans* HER 1456.

Fagni lizat Corretto je izkazal najboljšo protibiofilmsko učinkovitost in pri večini sevov *C. acnes* značilno zmanjšal biomaso biofilma (Slika 3). Correto vključen v gel je prav tako značilno zmanjšal biomaso biofilma pri večini sevov, vendar je bil učinek manj izrazit in bolj variabilen v primerjavi z lizatom. Gel brez fagov na biomaso biofilma večinoma ni pomembno vplival.



Slika 3: Tretiranje biofilma *C. acnes* CA2302.

IV. RAZPRAVA

Razlike v učinkovitosti fagov med posameznimi sevi so pričakovane in skladne z literaturo, saj je njihova litična aktivnost praviloma sevno specifična, nanjo pa pomembno vplivata tudi zgradba in zrelost biofilma. Dejstvo, da vključitev fagov v poloksamerni gel ni zmanjšala njihove aktivnosti, potrjuje primernost takšnega nosilca za lokalno dostavo fagov, kar so pokazale tudi predhodne raziskave.

Poleg ohranjanja njihove stabilnosti poloksamerni gel omogoča tudi daljše zadrževanje fagov na mestu aplikacije in njihovo postopno sproščanje, kar lahko prispeva k večji učinkovitosti lokalnega zdravljenja.

V. ZAKLJUČKI

Poloksamerni gel predstavlja obetaven dostavni sistem za lokalno fagno terapijo, saj omogoča ohranjanje aktivnosti fagov in njihovo učinkovito delovanje proti biofilmom. Ugotovitve podpirajo nadaljnji razvoj poloksamernih dostavnih sistemov za fagno terapijo, njihovo učinkovitost pa bo treba v prihodnje ovrednotiti tudi v kombinaciji s konvencionalnimi protimikrobnimi sredstvi, na kompleksnejših modelih biofilmov in v modelih *in vivo*.

LITERATURA

- [1] Cui Z, Wang P, Gao W. Microbial dysbiosis in periodontitis and peri-implantitis: pathogenesis, immune responses, and therapeutic. *Front Cell Infect Microbiol.* 2025 Feb 11;15:1517154. doi: 10.3389/fcimb.2025.1517154.
- [2] Li C, Nyaruaba R, Zhao X, Xue H, Li Y, Yang H, Wei H. Thermosensitive Hydrogel Wound Dressing Loaded with Bacteriophage Lysin LysP53. *Viruses.* 2022 Sep 3;14(9):1956. doi: 10.3390/v14091956.

Primerjava 14-letnega preživetja totalne kolenske endoproteze z enako obliko cementirane tibialne komponente iz titanove oz. kobalt-kromove zlitine

Vesna LEVAŠIČ¹, Ingrid MILOŠEV^{1,2} in Rihard TREBŠE¹

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

Ključne besede: totalna kolenska endoproteza, register artroplastike, preživetje endoproteze, titanova zlitina, kobalt-kromova zlitina.

I. UVOD

PFC Sigma De Puy Johnson & Johnson je ena od najpogostejših in najuspešnejših totalnih kolenskih endoprotez (TKA) [1]. Skozi leta so se za izdelavo tibialne komponente uporabljali različni materiali. Najpogosteje so tibialne komponente TKA iz kobalt-kromove (CoCr) zlitine s cementno fiksacijo. PFC Sigma je bila najprej narejena iz titanove (Ti) zlitine, model proteze s CoCr tibialno komponento je bil v vpeljan v klinično uporabo leta 2006 z namenom zmanjšanja obrabe polietilena na hrbtni strani, pri čemer naj bi CoCr omogočil bolj gladko stično površino s polietilenskim vložkom. Zgodnji rezultati so pokazali dobro zgodnje preživetje [2]. Dejstvo, da je edina razlika pri različnih generacijah TKA Sigma PFC materialna sestava tibialnih komponent (bodisi iz Ti pri začetnih generacijah bodisi iz CoCr zlitina pri kasnejših generacijah), smo z raziskavo želeli opredeliti morebitni vpliv materiala tibialne komponente določenega tipa TKA na preživetje endoproteze in vzroke za revizijo.

II. MATERIALI IN METODE

A. Pacienti

Raziskava je bila opravljena v specializirani ortopedski bolnišnici z velikim obsegom posegov. Podatki o pacientih in operacijah so bili pridobljeni iz bolnišničnega registra artroplastike, ki obstaja od leta 2002 in ima 100-odstotno pokritost. Vključili smo paciente z vstavljenjo Sigma PFC TKA vstavljenjo med 2002 in 2025. Analizirali smo razlike glede na spol, starost, indeks telesne mase (ITM) in stran operacije. Kohorto smo spremljali do 31. decembra 2025, pri čemer je bil minimalni čas spremljanja en dan, saj je bil pacient revidiran zaradi močne krvavitve v koleno. Za celotno kohorto pacientov smo beležili datum revizijskega posega, razlog za revizijo ter datum smrti pacienta.

B. Operacija in lastnosti vsadka

V retrospektivno kohortno analizo je bilo vključenih 5861 primarnih TKA Sigma PFC. V obdobju od 1. januarja 2002 do 31. decembra 2025 je bilo vstavljenih 1476 (25,2 %) tibialnih komponent izdelanih iz Ti-zlitine (Sigma-Ti), t.j., kovana zlitina titan-aluminij-vanadij (Ti6Al4V), skladna s standardom ASTM F-136. V obdobju spremljanja, od leta 2011 naprej, je bilo vstavljenih 4385 (74,8 %) iz CoCr-zlitine (Sigma-CoCr),

t.j. kobalt-krom-molibden (Co-28Cr-6Mo) zlitina po standardu ASTM F75. Pri vseh vključenih pacientih je bil vstavljen polietilenski vložek iz polietilena z ultra visoko molekulsko maso (angl. *ultra-high-molecular-weight polyethylene*, UHMWPE).

C. Statistična analiza

Analiza podatkov je bila opravljena z uporabo IBM SPSS Statistics (različica 31.0). Opisne spremenljivke so bile testirane s hi-kvadrat testom, številske spremenljivke pa z dvostranskim t-testom za neodvisne vzorce. Stopnja značilnosti je bila za oba testa 0,05. Analiza preživetja je bila opravljena za vse vzroke revizije in ločeno za revizije z avlo okužbe z uporabo Kaplan-Meierjeve (KM) metode s 95-odstotnim intervalom zaupanja. KM krivulje so bile primerjane z log-rank (Mantel-Cox) testom. Dodatno je bilo preživetje Sigma-Ti in Sigma-CoCr analizirano s Coxovim regresijskim modelom, kjer so bile kot ob tipu tibialne komponente kot pridružene spremenljivke upoštevane starost, spol in ITM. Krivulje preživetja so bile krnjene na datum zadnjega datuma spremljanja (31. 12. 2025) ali datum pacientove smrti, kar je nastopilo prej.

III. REZULTATI

Pacienti v skupini Sigma-Ti so imeli statistično značilno nižji odstotek moških in značilno nižji ITM.

Tabela 1: Demografske in klinične značilnosti kohorte.

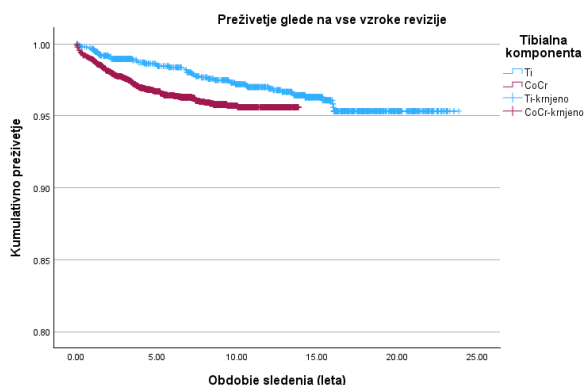
Parameter	Sigma-Ti	Sigma-CoCr	Skupaj	p
Število TKA	1476 (25,2)	4385 (74,8)	5861 (100)	<0,001
N (%)				
Spol (M/Ž)	404/1072	1590/2795	1994/3867	0,015
N (%)	(27,4/72,6)	(36,3/63,7)	(34,0/66,0)	
St. ob vst. (leta)	68,5	69,1	68,9	0,547
povp., 95% IZ	(68,1-68,9)	(68,8-69,3)	(68,7-69,2)	
Stran	721/755	2103/2282	2824/3037	<0,001
(L/D); N (%)	(48,9/51,1)	(48,0/52,0)	(48,2/51,8)	
ITM (kg/m ²)	30,8	31,6	31,4	<0,001
povp., 95% IZ	(30,5-31,0)	(31,4-31,7)	(31,2-31,5)	

N – število, TKA – totalna kolenska endoproteza, st. – starost, M – moški, Ž – ženska, vst. – vstavitev povp. – povprečje, L – leva, D – desna, ITM – indeks telesna mase, IZ – interval zaupanja, p – p-vrednost



Razlika v starosti in strani operacije ni bila statistično značilna (Tabela 1).

Pri 5 letih opazovanja je bilo ocenjeno preživetje Sigma-Ti implantata (98,5 % (95 % IZ, 97,9–99,1 %) boljše kot preživetje Sigma-CoCr (96,7 % (95 % IZ, 96,1–97,3 %). Medtem ko pri 14 letih opazovanja statistično pomembne razlike v ocenjenem preživetju obeh tipov tibialne komponente nismo opazili, 96,4 % (95 % IZ, 95,4–97,4 %) za Sigma-Ti in 95,6 % (95 % IZ, 94,8–96,4 %) za Sigma-CoCr ($p < 0,01$). Kaplan-Meierjevo preživetje vsadka Sigma-Ti je bilo statistično značilno boljše od preživetja Sigma-CoCr (log-rank test, $p < 0,01$) (Slika 1).



Slika 1: Primerjava Kaplan–Meierjevih krivulj preživetja za totalne kolenske endoproteze (TKA) s tibialno komponento iz titanove (Ti) zlitine v primerjavi s kobalt-kromovo (CoCr) zlitino za vse razloge revizij.

Ko smo upoštevali le septične vzroke revizije, razlika v preživetju med Sigma-Ti in Sigma-CoCr statistično pomembne razlike v preživetju obeh tipov tibialne komponente nismo opazili (log-rank test, $p = 0,55$). Pri 14 letih opazovanja je bilo ocenjeno preživetje z upoštevanjem septičnih vzrokov revizij 98,2 % (95 % IZ: 97,4–99,0 %) za Sigma-Ti in 98,4 % (95 % IZ: 98,0–98,8 %) za Sigma-CoCr.

S Coxovim regresijskim modelom smo ugotovili statistično značilno razliko v preživetju (glede na vse vzroke revizije) Sigma-Ti napram Sigma-CoCr ob prilagoditvi pacientov na spol, starost in ITM ($p = 0,001$). Material tibialnega vsadka je bil neodvisni napovedni dejavnik izida; pri pacientih s Sigma-CoCr vsadkom je bilo razmerje tveganj za revizijo večje kot pri pacientih s Sigma-Ti ($HR = 1,60$; 95 % IZ: 1,12–2,28; $p = 0,01$). Prav tako je bila nižja starost ob vstavitvi TKA povezana z višjim tveganjem za revizijo ($HR = 0,976$ na leto; 95 % IZ: 0,961–0,991; $p = 0,002$), medtem ko spol ($p = 0,420$) in ITM ($p = 0,882$) nista bila povezana z višjim tveganjem za revizijo.

IV. RAZPRAVA

V poročilih različnih nacionalnih registrov artroplastike ni podatka o preživetju TKA tipa Sigma PFC glede na material tibialne komponente PFC Sigma, ampak so podatki o poročanem preživetju združeni glede na

dizajn proteze. Z ločitvijo po materialu smo prikazali da je zgodnje preživetje TKA z materialom tibialne komponente iz Ti-zlitine pri upoštevanju vseh vzrokov revizij boljše kot pri tibialni komponenti iz CoCr zlitine.

S Coxovim regresijskim modelom smo ugotovili, da je Sigma-Ti povezana z nižjim tveganjem za revizijo kot Sigma-CoCr, $HR = 1,60$; 95 % IZ: 1,12–2,28; $p = 0,010$). Krivulji preživetja imata sicer tendenco k konvergenci, kar lahko pomeni, da elementi preživetja, ki v zgodnjem pooperativnem obdobju prinesejo prednost titanovi zlitini, lahko kasneje koristijo CoCr zlitini.

Razloge za boljše zgodnje preživetje Sigma-Ti tibialne komponente vidimo v mehanskih in elastičnih lastnostih Ti-zlitine. Medtem ko izkazuje kobaltova zlitina večjo natezno trdnost in trdoto kot titanova zlitina, je slednja lažja in predvsem bolj elastična, saj je elastični modul titanove zlitine 110–120 MPa, tisti kobaltove zlitine pa 220–240 MPa [3]. Dodaten razlog pa je lahko tudi v različni trdoti in debelini oksidne plasti, ki se tvori in vivo na obeh materialih. Raziskave kažejo, da se debelina in trdota oksidne plasti na titanovi zlitini z leti implantacije povečujeta [4].

Pojavlja se vprašanje, ali več kroma pomeni tudi večjo možnost alergičnih in toksičnih reakcij. CoCr zlitina je material z večjo trdnostjo in zato pričakujemo manj zlomov, medtem ko pri Ti zlitini pričakujemo manj okužb zaradi bolj bioinertnega okolja.

V. ZAKLJUČKI

Naša raziskava je prikazala, da je pri analizi preživetja TKA pomembno tudi dodatno stratificirati rezultate, v našem primeru po materialu tibialne komponente, saj se drugače specifične TKA skrijejo v podatkih za celotno skupino. V obdobju opazovanja naše raziskave je imela boljše preživetje tibialna komponenta iz Ti zlitine, za bolj natančno analizo bi bilo potrebno podaljšati obdobje opazovanja.

LITERATURA

- [1] Dalury DF, Gonzales RA, Adams MJ, Gruen TA, Trier K. Midterm results with the PFC Sigma total knee arthroplasty system. *J Arthroplasty*. 2008 Feb;23(2):175–81. doi: 10.1016/j.arth.2007.03.039.
- [2] A. Wood, L. McIlwain, C. Arthur, S. Aitken, A. Keenan, P. Walmsley and I. Brenkel, "PFC Sigma Cobalt-Chrome Total Knee Replacement: Early Outcomes Demonstrate No Significant Early Failures at the Three-Year Mark," *Open Journal of Orthopedics*, Vol. 4 No. 1, 2014, pp. 1–6. doi: 10.4236/ojo.2014.41001.
- [3] I. Milošev, *Metallic materials for biomedical applications: Laboratory and clinical studies*, *Pure Appl. Chem.*, 83(2) (2011) 309–324.
- [4] N. Moharrami, D.J. Langton, O. Sayginer, S.J. Bull, Why does titanium alloy wear cobalt chrome alloy despite lower bulk hardness: A nanoindentation study?, *This Solid Films*, 549 (2013) 79–86.

Raziskava je sofinancirana s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (J7-4639). <https://bioad.ijs.si/>

Tvorba nanocevk kot modifikacija površine aditivno proizvedene zlitine Ti-6Al-4V

Denis SAČER¹, Barbara KAPUN¹, Ana KRAŠ¹ in Ingrid MILOŠEV^{1,2}

¹Institut »Jožef Stefan«, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

²Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

Ključne besede: titanove zlitine, aditivne tehnologije, modifikacija površine, nanocevk.

I. UVOD

Aditivna proizvodnja (AP) omogoča izdelavo kompleksnih kovinskih komponent z geometrijami, ki jih je s konvencionalnimi proizvodnimi postopki težko ali nemogoče doseči. Med različnimi tehnologijami aditivne proizvodnje se je lasersko usmerjeno nanašanje materiala (DED-LB) uveljavilo kot obetavna metoda za predelavo titanovih zlitin zaradi visoke hitrosti nanašanja, učinkovite izrabe materiala in zmožnosti izdelave komponent skoraj končne oblike (near-net-shape) [1,2].

Ti-6Al-4V je najpogostejše uporabljena titanova zlitina za biomedicinske vsadke zaradi visokega razmerja med trdnostjo in maso, odlične korozijske odpornosti ter biokompatibilnosti. Mikrostrukturne razlike med različno pripravljenimi zlitinami vplivajo na mehanske in elektrokemijske lastnosti zlitine ter posledično na njen odziv pri postopkih površinske modifikacije [1].

Elektrokemijska anodizacija v elektrolitih, ki vsebujejo fluoride, je učinkovita metoda površinske modifikacije za tvorbo samoorganiziranih nanocevk TiO₂ s premeri od nekaj deset do nekaj sto nanometrov [3,4]. Takšne nanotubularne površine so zaradi izboljšane bioaktivnosti, adhezije celic in oseointegracije zelo zanimive za biomedicinske aplikacije. Nastanek in morfologija TiO₂ nanocevk sta odvisna tako od anodizacijskih parametrov, kot so napetost, sestava elektrolita in čas anodizacije, kot tudi od mikrostrukture podlage [3,4].

Čeprav je anodizacija gnetene zlitine Ti-6Al-4V dobro raziskana, je študij o anodizaciji DED-LB Ti-6Al-4V razmeroma malo. Razumevanje vpliva specifične mikrostrukture, nastale pri DED-LB, na nastanek nanocevk je zato pomembno za optimizacijo površinskih lastnosti aditivno izdelanih vsadkov. Namen te raziskave je primerjati obnašanje DED-LB in gnetene zlitine Ti-6Al-4V med anodizacijo v enakih procesnih pogojih ter pojasniti vpliv mikrostrukture podlage na nastanek in morfologijo plasti TiO₂ nanocevk.

II. MATERIALI IN METODE

Konvencionalna kovana zlitina Ti-6Al-4V (Grade 5) in zlitina Ti-6Al-4V, izdelana s postopkom DED-LB, sta bili za primerjalno analizo pripravljeni v obliki diskov s premerom 15 mm in debelino 2 mm. Pred anodizacijo sta bila oba vzorca kemijsko-mehansko polirana po predhodno opisanem postopku [5,6].

Anodizacija je bila izvedena v dwoelektrodni konfiguraciji, pri čemer je vzorec Ti-6Al-4V služil kot delovna elektroda, grafitna palica pa kot protielektroda. Elektrolit je bil sestavljen iz etilen glikola z dodatkom 0,5 mas.% NH₄F in 2,5 mas.% H₂O. Postopek je potekal pri napetosti 30 V 2 uri pri sobni temperaturi (~23 °C). Tako pripravljeni vzorci so bili označeni z okrajšavo NT. Po anodizaciji so bili vzorci sprani z deionizirano vodo in etanolom ter posušeni na zraku.

Elektrokemijske meritve so bile izvedene v Hanksovi uravnoveženi solni raztopini (HBSS), ki simulira ionsko sestavo zunajcelične tekočine človeškega telesa. Vse uporabljene kemikalije so bile analitske čistosti. Po 60-minutni stabilizaciji pri potencialu odprtega tokokroga je bila izvedena potenciodinamska polarizacija s hitrostjo skeniranja 1 mV s⁻¹. Korozijski potencial (E_{kor}) in gostota korozijskega toka (j_{kor}) sta bila določena z ekstrapolacijo Tafelovih premic.

Površinska morfologija je bila analizirana z vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM) za oceno nastanka in enakomernosti plasti TiO₂ nanocevk. Reprezentativni posnetki so bili pridobljeni pri povečavah od ×1200 do ×50.000.

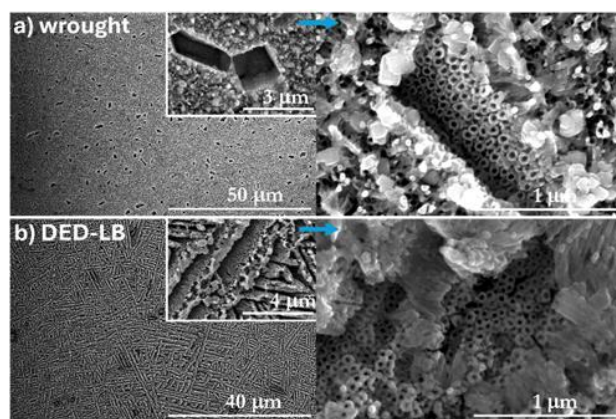
III. REZULTATI

Po postopku anodizacije sta tako kovani kot tudi DED-LB vzorec zlitine Ti-6Al-4V razvila porozne oksidne plasti z izrazito različno morfologijo, ki je bila pogojena z načinom izdelave (Slika 1). Pri obeh vzorcih je bilo na β-fazi opazno lokalizirano raztapljanje, kar je verjetno posledica obogatitve z vanadijem in višjega elektrokemijskega potenciala, medtem ko je α-faza pri večjih povečavah izkazovala enakomerno prekritost z

nanotubami, kar odraža njeno stabilnejše obnašanje med anodizacijo.

Površina kovane vzorca zlitine Ti–6Al–4V (Slika 1a) je izkazovala enakomerno in zvezno oksidno plast, sestavljeno iz dobro definiranih, navpično orientiranih nanocevk s premerom od 70 do 90 nm, kar kaže na stabilne pogoje anodizacije po celotni površini.

Nasprotno je imel vzorec DED-LB (Slika 1b) bolj hrapavo in heterogeno površino. Oksidni film je vseboval nepravilne in delno deformirane nanocevkke s premeri od 30 do 90 nm ter lokalno deformirane nanocevkke in oksidne aglomerate, zlasti vzdolž mej med posameznimi nanosenimi plastmi. Opažene nepravilnosti so posledica večje površinske hrapavosti in lokalnih sprememb kemijske sestave, ki nastanejo med AP postopkom [3,4].



Slika 1: SEM-posnetki anodiziranih vzorcev zlitine Ti–6Al–4V (30 V, 2 h): (a) kovane in (b) DED-LB vzorca.

Čeprav je bila morfologija manj enakomerna, lahko večja površinska hrapavost in heterogenost DED-LB vzorca povečata specifično površino in število aktivnih mest, kar lahko izboljša bioaktivnost površine oziroma omogoči učinkovitejše kontrolirano sproščanje zdravil [4].

Potenciodinamske polarizacijske meritve so pokazale jasne razlike v korozijskem obnašanju med obema anodiziranimi vzorcema. Oba vzorca sta v primerjavi z neanodiziranimi izkazovala izrazito izboljšano pasivacijo, kar potrjuje zaščitni učinek plasti TiO₂. Podatki o korozijskem potencialu in korozijski gostoti toka, izmerjeni v HBSS so podani v Tabeli 1. Tvorba nanocevk zmanjšuje j_{kor} in premakne E_{kor} bolj pozitivno.

Tabela 1: Podatki o korozijskem potencialu in korozijski gostoti toka, izmerjeni v HBSS za različno pripravljene zlitine Ti–6Al–4V.

Vzorec	Elektrokemijski parametri	
	E_{kor} (V vs. Ag/AgCl)	j_{kor} (nA/cm ²)
kovana zlitina	–0.398	10,2
DED-LB zlitina	–0.402	23,1
NT kovana zlitina	0.084	4,1
NTDED-LB zlitina	0.039	8,8

IV. ZAKLJUČKI

Tako kovana kot tudi z metodo DED-LB izdelana zlitina Ti–6Al–4V sta z anodizacijo v elektrolitu na osnovi etilen glikola pri napetosti 30 V in času 2 h uspešno tvorili samoorganizirane nanotubularne plasti TiO₂.

Na kovani zlitini so nastale enakomerne in dobro urejene nanocevkke, ki so izkazovale boljšo stabilnost pasivne plasti. Nasprotno je zlitina DED-LB tvorila nepravilne in lokalno deformirane nanocevkke ter izkazovala nekoliko višje korozijske tokove, kar odraža vpliv njene martenzitne mikrostrukture α' na slabšo korozijsko odpornost in večjo mikrostrukturno heterogenost. Toplotna obdelava bi lahko izboljšala enakomernost oksidne plasti ter omogočila zanesljivo biofunkcionalizacijo za uporabo pri ortopedskih vsadkih.

Rezultati kažejo, da proizvodni postopek odločilno vpliva na morfologijo anodno nastale oksidne plasti in korozijsko obstojnost.

LITERATURA

- [1] Milošev I, Rodič P, Kapun B, Sačer D, Nair A, Kramar D, Jeromen A, Govekar E. Composition, microstructure and corrosion resistance of DED-LB additively manufactured Ti–6Al–4V alloy: Comparison with wrought alloy, J. Alloy Comps. 2015;1033:181280.
- [2] Jeromen A, Nair A, Rodič P, Sačer D, Kapun B, Čater M, Brunčič A, Kozlica K, Milačič Ščančar R, Cör A, Govekar E, Milošev I, Horvat S. DED-LB manufactured Ti–6Al–4V–4Cu alloy: materials development, characterization, and in vivo biocompatibility. J. Mater. Res. Technol. 2025;39:5597–5611. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.10.151>.
- [3] Ribeiro B, Offoiach R, Rossetti S, Salatin E, Lekka M, Fedrizzi L. et al. On Growth and Morphology of TiO₂ Nanotubes on CP-Ti by Anodic Oxidation in Ethylene Glycol Electrolyte: Influence of Electrolyte Aging and Anodization Parameters. Materials 2022;15(9):3338. <https://doi.org/10.3390/ma15093338>.
- [4] Macak JM, Hildebrand H, Marten-Jahns U, Schmuki P. Mechanistic aspects and growth of large diameter self-organized TiO₂ nanotubes. J. Electroanal. Chem. 2008;621:254–266. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2008.01.005>.
- [5] Sačer D, Birer, AE, Kraš, A, Kapun B, Milošev I. DED-LB Ti–6Al–4V as a template for TiO₂ formation: Comparison with Wrought Alloy. Akademija strojništva 2025, str. 116–117. <https://www.zveza-zsis.si/2025/10/29/svet-strojnistva-akademija-strojnistva-2025-november-2025/>
- [6] Sačer D, Kraš A, Milošev I. TiO₂ nanotube formation on additively manufactured Ti–6Al–4V alloys: Effects of microstructure and Cu addition. Topical ISE Meeting, abstract No. 260191, June 7–11, 2026, Belgrade, Serbia.

Raziskava je sofinancirana s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (J7-4639). <https://bioad.ijs.si/>

Ocena kontaktne protimikrobne aktivnosti aditivno proizvedenih zlitin Ti-6Al-4V z različnim deležem bakra

Katja ŠUSTER¹ in Ingrid MILOŠEV^{1,2}

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

Ključne besede: kontaktna protimikrobna aktivnost, Ti-6Al-4V-Cu zlitine, ortopedski biomateriali, baker.

I. UVOD

Periprotetične okužbe predstavljajo enega najresnejših zapletov endoprotezne kirurgije, saj bakterijska kolonizacija površine implantata in posledična tvorba biofilma otežujeta zdravljenje ter pogosto zahtevata revizijski kirurški poseg. Zaradi naraščajoče odpornosti bakterij proti antibiotikom se vse več raziskav osredotoča na razvoj biomaterialov s protimikrobno aktivnostjo, ki bi lahko zmanjšali začetno adhezijo bakterij in tveganje za razvoj okužbe. Zlitina Ti-6Al-4V zaradi odličnih mehanskih lastnosti, korozijske odpornosti in biokompatibilnosti ostaja eden najpogostejše uporabljenih materialov za izdelavo ortopedskih vsadkov, vendar sama po sebi ne izkazuje protimikrobnih lastnosti. Dodatek bakra predstavlja obetaven pristop za pridobitev titanovih zlitin s protimikrobnim delovanjem, pri čemer dosedanje raziskave poročajo o učinkovitem zmanjšanju bakterijske kolonizacije in tvorbe biofilma na površini materiala [1,2].

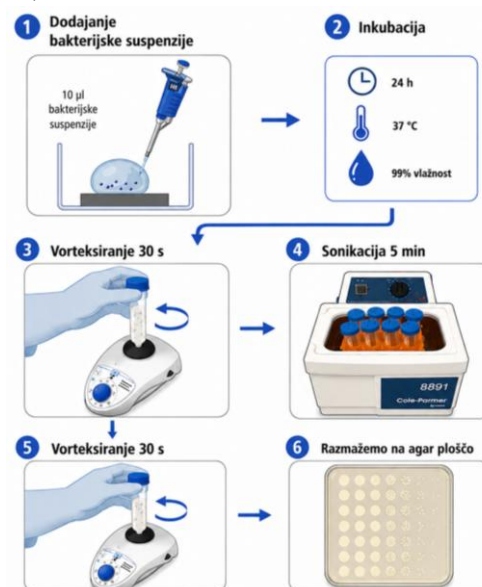
Namen raziskave je bil ovrednotiti kontaktno protimikrobno aktivnost aditivno proizvedenih zlitin Ti-6Al-4V z in brez dodanega Cu ter oceniti vpliv termične obdelave na njihovo učinkovitost proti kliničnim izolatom *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* in *Pseudomonas aeruginosa*. Preiskovane zlitine so bile izdelane z aditivno tehnologijo laserskega usmerjenega nanašanja materiala (laser-based directed energy deposition, DED-LB), ki omogoča izdelavo zlitin z nadzorovano sestavo in predstavlja obetavno tehnologijo za razvoj funkcionalnih biomaterialov [3].

II. MATERIALI IN METODE

A. Kontaktni protimikrobni test

Protimikrobna aktivnost aditivno proizvedenih zlitin Ti-6Al-4V z in brez dodanega bakra je bila ovrednotena s kontaktnim protimikrobnim testom po 24 urah inkubacije. Preizkušene so bile naslednje skupine vzorcev: komercialna zlitina Ti-6Al-4V in kovina bakra (Cu) kot referenčni material, proizvedeni s konvencionalno metalurško izdelavo (dobavitelj Goodfellow, Cambridge, Anglija), ter zlitine izdelane z DED-LB metodo: Ti-6Al-

4V, termično obdelan Ti-6Al-4V (HT), Ti-6Al-4V-xCu, Ti-6Al-4V-xCu (HT), Ti-6Al-4V z dvakratno vsebnostjo Cu in Ti-6Al-4V-2xCu (HT). Kot testni mikroorganizmi so bili uporabljeni klinični izolati *S. aureus* SA 2102, *S. epidermidis* SE 1401 in *P. aeruginosa* PA 1901. Bakterijske kulture so bile gojene do eksponentne faze rasti, nato pa razredčene do končne koncentracije $\approx 1 \times 10^5$ CFU/mL. Na površino vsake kovinske ploščice je bilo nanesenih 10 μ L bakterijske suspenzije. Vzorci so bili inkubirani 24 h pri 37 °C v vlažni komori brez stresanja. Za določitev začetnega inokuluma so bile pripravljene serijske razredčitve za določitev začetnega števila živih bakterij (CFU/mL). Po inkubaciji so bile bakterije s površine ploščic eluirane v 700 μ L Ringerjeve raztopine z zaporednim 30 s vorteksiranjem, 5 min soniciranjem in ponovnim 30 s vorteksiranjem. Iz dobljene suspenzije so bile pripravljene 10 $\times$ serijske razredčitve, iz vsake razredčitve pa so bili v treh tehničnih ponovitvah na BHI agar plošče naneseni po 3 μ L vzorca (Slika 1).



Slika 1: Shema izvedbe kontaktnega protimikrobnega testa.

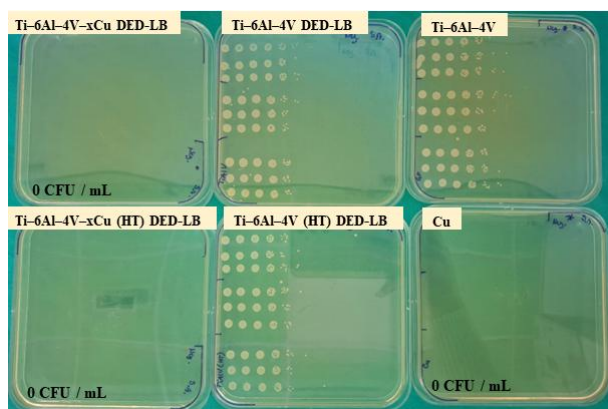


Po inkubaciji so bile preštete kolonije, rezultati pa izraženi kot število kolonijskih enot (CFU) na ploščici. V posamezni neodvisni izvedbi eksperimenta so bile za vsako skupino materialov analizirane 3 vzporedne ploščice in 1 sterilna kontrolna ploščica. Celoten eksperiment je bil za vsak bakterijski sev izveden v treh neodvisnih ponovitvah. Protimikrobna aktivnost posameznega materiala je bila ocenjena na podlagi zmanjšanja števila živih bakterij v primerjavi z začetnim inokulumom.

III. REZULTATI

A. Protimikrobna aktivnost zlitin

Kontaktni protimikrobni test po 24 urah je pokazal izrazite razlike v preživetju bakterij na testiranih materialih (Slika 2).



Slika 2: Primer rezultatov kontaktnega protimikrobnega testa za *S. aureus* SA 2102.

Pri vseh treh bakterijskih vrstah so bile na površinah komercialne metalurške zlitine Ti-6Al-4V ter DED-LB zlitine Ti-6Al-4V, ne glede na termično obdelavo, prisotne visoke koncentracije živih bakterij. V primerjavi z začetnim inokulumom je prišlo do izrazitega povečanja števila bakterij, kar kaže, da Ti-6Al-4V brez dodatka bakra ne zavira bakterijske rasti. Na površinah čistega bakra po 24 urah živih bakterij nismo zaznali pri nobenem izmed testiranih bakterijskih sevov. Enak rezultat je bil dosežen tudi pri vseh zlitinah Ti-6Al-4V z bakrom za *S. aureus* in *S. epidermidis*. Pri *P. aeruginosa* so bile na zlitini Ti-6Al-4V z nižjo vsebnostjo Cu v eni od treh neodvisnih izvedb eksperimenta zaznane posamezne preživele bakterije ($<10^4$ CFU), medtem ko pri preostalih dveh izvedbah rast ni bila zaznana. Med termično obdelanimi in neobdelanimi vzorci enake sestave niso bile opažene očitne razlike v protimikrobni aktivnosti.

IV. RAZPRAVA

Rezultati naše raziskave jasno kažejo, da je dodatek bakra odločilen dejavnik za vzpostavitev kontaktne protimikrobne aktivnosti aditivno proizvedenih zlitin Ti-6Al-4V, kar potrjuje tudi dosedanja literatura [1,2]. Neposredna primerjava rezultatov je sicer omejena zaradi razlik v pripravi materialov in eksperimentalnem pristopu. Ma *in sod.* [2] so proučevali konvencionalno izdelano

zlitino Ti-6Al-4V-5Cu, pripravljeno s taljenjem in naknadnim vročim kovanjem, ter pokazali, da dodatek bakra izboljša protimikrobne lastnosti zlitine, pri čemer je bila učinkovitost odvisna tudi od režima termične obdelave. Martín Vilardell *in sod.* pa so uporabili aditivno proizvedeno zlitino Ti6Al4V(ELI)-3 at.% Cu, izdelano s postopkom taljenja kovinskega prahu z laserjem (LPBF), pri kateri so dokazali izrazito baktericidno delovanje proti *S. aureus* in zmanjšano tvorbo biofilma v primerjavi z zlitino brez bakra. V njihovi raziskavi je naknadna termična obdelava dodatno povečala baktericidni učinek materiala. V nasprotju z navedenima raziskavama v naši študiji med termično obdelanimi in neobdelanimi zlitinami enake sestave nismo opazili razlik v kontaktni protimikrobni aktivnosti. V naši raziskavi so bile zlitine izdelane z DED-LB iz prahov Ti-6Al-4V in Cu [3]. Kljub razlikam v tehnologiji izdelave, sestavi zlitin in metodah vrednotenja protimikrobne aktivnosti pa vse tri raziskave potrjujejo, da dodatek bakra bistveno prispeva k protimikrobnim lastnostim zlitin Ti-6Al-4V.

V. ZAKLJUČKI

Dodatek bakra je aditivno proizvedenim zlitinam Ti-6Al-4V zagotovil izrazito kontaktno protimikrobno aktivnost proti *S. aureus*, *S. epidermidis* in *P. aeruginosa*, medtem ko osnovna zlitina Ti-6Al-4V ni omejevala bakterijske rasti. Termična obdelava v uporabljenih eksperimentalnih pogojih ni pomembno vplivala na protimikrobno učinkovitost zlitin. Rezultati potrjujejo potencial DED-LB izdelanih zlitin Ti-6Al-4V z dodatkom bakra za uporabo pri razvoju ortopedskih biomaterialov z vgrajeno protimikrobno aktivnostjo. Nadaljnje raziskave bodo usmerjene v *in vivo* ovrednotenje protimikrobne učinkovitosti zlitin v mišjem modelu.

LITERATURA

- [1] Martín Vilardell A, Cantillo Alzamora V, Bauso LV, Madrid C, Krakhmalev P, Albu M, Yadroitsava I, Yadroitsev I, Garcia-Giralt N. Effect of Heat Treatment on Osteoblast Performance and Bactericidal Behavior of Ti6Al4V(ELI)-3at.%Cu Fabricated by Laser Powder Bed Fusion. *J Funct Biomater*. 2023 Jan 23;14(2):63. doi: 10.3390/jfb14020063.
- [2] Ma Z, Ren L, Liu R, Yang K, Zhang Y, Liao Z, Liu W, Qi M, Misra R.D.K. Effect of Heat Treatment on Cu Distribution, Antibacterial Performance and Cytotoxicity of Ti-6Al-4V-5Cu Alloy. *Journal of Materials Science & Technology*. 2015. 31(7):723-732. doi: 10.1016/j.jmst.2015.04.002.
- [3] Jeromen A, Nair A, Rodič P, Sačar D, Kapun B, Čater M, Brunčič A, Kozlica K, Milačič Ščančar R, Cör A, Govekar E, Milošev I, Horvat S. DED-LB manufactured Ti-6Al-4V-4Cu alloy: materials development, characterization, and *in vivo* biocompatibility. *Journal of Materials Research and Technology*. 2025. 39:5597-5611. doi: 10.1016/j.jmrt.2025.10.151.

Raziskava je sofinancirana s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (J7-4639). <https://bioad.ijs.si/>

VABLJENO PREDAVANJE

Predklinično vrednotenje nove titanove zlitine Ti-6Al-4V-4Cu v mišjem modelu

Andrej JEROMEN¹, Maša ČATER², Ana BRUNČIČ², Katarina KOZLICA³, Radmila MILAČIČ ŠCANČAR³, Andrej CÖR⁴, Edvard GOVEKAR¹, Ingrid MILOŠEV^{3,4}, Katja ŠUSTER⁴ in Simon HORVAT²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana

²Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana

³Institut »Jožef Stefan«, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

⁴Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

Ključne besede: titanove zlitine, biokompatibilnost, ortopedski implantati, baker, predklinični mišji model.

I. UVOD

Titanove zlitine, predvsem Ti-6Al-4V, zaradi ugodnega razmerja med mehansko trdnostjo, korozijsko odpornostjo in biokompatibilnostjo predstavljajo pogosto uporabljen standardni material za izdelavo ortopedskih in zobnih implantatov [1]. Kljub visokemu deležu uspešnih posegov ostajajo okužbe, povezane z vsadki, eden najresnejših zapletov, saj pogosto zahtevajo revizijsko operacijo in dolgotrajno antibiotično zdravljenje. Zato razvoj novih biomaterialov z lastnimi protimikrobnimi lastnostmi predstavlja pomembno raziskovalno področje.

Med obetavnimi pristopi za preprečevanje okužb implantatov je dodajanje bakra titanovim zlitinam, ki lahko zagotovi protibakterijsko delovanje. Postavili smo hipotezo, da je mogoče z dodatkom 4 % bakra v zlitino Ti-6Al-4V razviti material z dobro *in vivo* biokompatibilnostjo, ki predstavlja primerne kandidata za nadaljnji razvoj protibakterijskih ortopedskih implantatov.

V raziskavi smo ovrednotili *in vivo* biokompatibilnost nove zlitine Ti-6Al-4V-4Cu, razvite z uporabo laserskega usmerjenega nanašanja materiala (DED-LB) [2], v mišjem modelu [3] z namenom preveriti postavljeno hipotezo.

II. MATERIALI IN METODE

Biokompatibilnost zlitine Ti-6Al-4V-4Cu je bila ovrednotena v mišjem modelu subkutane implantacije. V raziskavo so bile vključene 10 tednov stare samice miši C57BL/6J-OlaHsd, razdeljene v štiri skupine: kontrolna skupina brez operacije, navidezno operirana skupina (sham), skupina z implantatom Ti-6Al-4V in skupina z implantatom Ti-6Al-4V-4Cu. Sterilne implantate v obliki diskov (5 mm × 1 mm) smo subkutano vsadili med

lopatici. Živali smo spremljali 7 in 56 dni po implantaciji, kar je omogočilo oceno akutnega in kroničnega odziva.

Biokompatibilnost smo ovrednotili s spremljanjem kliničnega stanja živali, hematološkimi in biokemijskimi analizami krvi, histološko analizo tkiv ob implantatu ter določitvijo koncentracij Al, Ti, V in Cu v serumu z metodo ICP-MS. Vsi poskusi na živalih so bili izvedeni v skladu z veljavno slovensko in evropsko zakonodajo ter odobreni s strani pristojnega državnega organa.

Predstavljena raziskava je bila izvedena v okviru raziskovalnega projekta ARIS J7-4639 Protibakterijske zlitine: razvoj z aditivno 3D tehnologijo, karakterizacija in klinična uporaba (vodja projekta: dr. Ingrid Milošev), pri katerem je sodelovala interdisciplinarna raziskovalna skupina partnerjev, avtorji tega prispevka pa smo izvedli predklinično vrednotenje biokompatibilnosti v živalskem modelu.

III. REZULTATI

A. Splošno zdravstveno stanje živali

V celotnem 56-dnevem obdobju spremljanja pri nobeni skupini nismo zaznali znakov neugodja, sprememb vedenja ali drugih kliničnih znakov sistemske toksičnosti. Telesna masa ter vnos hrane in vode so ostali primerljivi med skupinami z implantatom Ti-6Al-4V in Ti-6Al-4V-4Cu ter kontrolnimi živalmi. Tudi ocena bolečine in neugodja z uporabo lestvice Mouse Grimace Scale ni pokazala razlik med skupinami, kar kaže, da implantacija nove zlitine ni vplivala na splošno zdravstveno stanje živali.

B. Sistemska biokompatibilnost

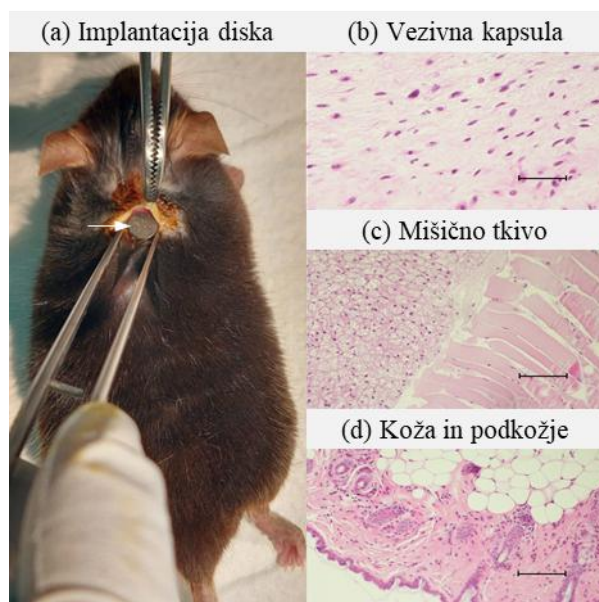
Hematološki in biokemijski parametri 7. in 56. dan po implantaciji niso pokazali statistično značilnih razlik med



eksperimentalnimi skupinami. Koncentracije kovinskih ionov (Al, Ti, V in Cu) v serumu, določene z metodo ICP-MS, so ostale primerljive s kontrolnimi skupinami, kar kaže na odsotnost povečanega sproščanja kovin iz implantatov. Rezultati potrjujejo, da dodatek 4 % bakra ni povzročil merljivih sistemskih toksičnih učinkov v obdobju spremljanja.

C. Lokalni tkivni odziv

Histološka analiza je pokazala nastanek tanke vezivnotkivne ovojnice okoli implantatov brez znakov granulomatoznega vnetja ali drugih neželenih lokalnih reakcij. V tkivu ob implantatih so bili prisotni makrofagi, fibroblasti in posamezna kolagenska vlakna, kar predstavlja pričakovani odziv na implantacijo. Značilnosti tkiva okoli implantatov Ti-6Al-4V-4Cu so bile primerljive s kontrolno zlitino Ti-6Al-4V, kar potrjuje dobro lokalno biokompatibilnost nove zlitine.



Slika 1: Implantacija diska iz zlitine Ti-6Al-4V-4Cu v podkožno tkivo miši (a) ter reprezentativni histološki preparati 56 dni po implantaciji: (b) tanka vezivna kapsula okoli implantata brez izrazitega vnetnega infiltrata, (c) ohranjeno skeletno mišično tkivo brez znakov degeneracije ali vnetnega infiltrata in (d) normalna koža s podkožnim maščobnim tkivom. Barvanje H&E; merilne črte predstavljajo 200 μ m (b) ter 500 μ m (c in d).

IV. RAZPRAVA

Rezultati raziskave potrjujejo postavljeno hipotezo, da dodatek 4 % bakra v zlitino Ti-6Al-4V ne poslabša njene *in vivo* biokompatibilnosti. V primerjavi s standardno zlitino Ti-6Al-4V nismo ugotovili razlik v splošnem zdravstvenem stanju živali, hematoloških in biokemijskih parametrov, koncentracijah kovinskih ionov v serumu ali lokalnem histološkem odzivu. Podobne rezultate so opisali tudi drugi avtorji pri Ti-Cu implantatih v modelu zajčje stegenice ter pri implantatih iz nerjavnega jekla, legiranih z bakrom, kjer dodatek bakra v podganjem modelu ni povzročil pomembnega lokalnega vnetnega odziva ali

sistemske toksičnosti [4,5]. Tudi naše meritve koncentracij kovinskih ionov v serumu niso pokazale povečanega sproščanja bakra ali drugih kovin, kar je skladno s predhodnimi raziskavami ortopedskih in drugih medicinskih implantatov [6,7]. Ti rezultati dodatno potrjujejo, da dodatek 4 % bakra ne vpliva negativno na biokompatibilnost titanove zlitine in predstavlja obetaven pristop za razvoj protibakterijskih ortopedskih implantatov.

V. ZAKLJUČKI

Razvita zlitina Ti-6Al-4V-4Cu je v predkliničnem mišjem modelu pokazala dobro *in vivo* biokompatibilnost brez znakov sistemske ali lokalne toksičnosti. Dobljeni rezultati predstavljajo pomembno osnovo za nadaljnji razvoj protibakterijskih ortopedskih implantatov. Nadaljnje raziskave so usmerjene v vrednotenje protibakterijske učinkovitosti zlitine v ustreznih predkliničnih modelih okužbe ter v nadaljnjo klinično validacijo.

LITERATURA

- [1] Long M, Rack HJ. Titanium alloys in total joint replacement--a materials science perspective. *Biomaterials*. 1998 Sep;19(18):1621-39. doi: 10.1016/s0142-9612(97)00146-4.
- [2] Milošev I, Rodič P, Kapun B, Sačar D, Nair A, Kramar D, Jeromen A, Govekar E. Composition, microstructure and corrosion resistance of DED-LB additively manufactured Ti-6Al-4V alloy: comparison with wrought alloy. *J Alloys Compd*. 2025 Jun 20;1033:181280. doi:10.1016/j.jallcom.2025.181280
- [3] Jeromen A, Nair A, Rodič P, Sačar D, Kapun B, Čater M, Brunčič A, Kozlica K, Milačič Ščančar R, Cör A, Govekar E, Milošev I, Horvat S. DED-LB manufactured Ti-6Al-4V-4Cu alloy: materials development, characterization, and *in vivo* biocompatibility. *J Mater Res Technol*. 2025 Nov-Dec;39:5597-5611. doi:10.1016/j.jmrt.2025.10.151.
- [4] Wang X, Dong H, Liu J, Qin G, Chen D, Zhang E. *In vivo* antibacterial property of Ti-Cu sintered alloy implant. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2019 Jul;100:38-47. doi: 10.1016/j.msec.2019.02.084.
- [5] Ren L, Wong HM, Yan CH, Yeung KW, Yang K. Osteogenic ability of Cu-bearing stainless steel. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2015 Oct;103(7):1433-44. doi: 10.1002/jbm.b.33318.
- [6] Kram W, Rebl H, de la Cruz JE, Haag A, Renner J, Epting T, Springer A, Soria F, Wienecke M, Hakenberg OW. Interactive Effects of Copper-Doped Urological Implants with Tissue in the Urinary Tract for the Inhibition of Cell Adhesion and Encrustation in the Animal Model Rat. *Polymers (Basel)*. 2022 Aug 16;14(16):3324. doi: 10.3390/polym14163324.
- [7] Sengodan VC, Doddihithlu S. Analysis of hematological metal element levels in orthopedic patients with implants. *J Nat Sci Biol Med*. 2020;11(1):17-20. doi:10.4103/jnsbm.JNSBM_120_19.

Raziskava je sofinancirana s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (J7-4639). <https://biomad.ijs.si/>

Vpliv aktivacije zunanjih in notranjih rotatorjev rame na moč prijema

Ivana HRVATIN¹ in Špela ŠKERJANC¹

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

Ključne besede: moč prijema, zunanji rotatorji, notranji rotatorji, rama, mišična moč.

I. UVOD

Moč prijema (angl. *grip strength*) se v klinični praksi uporablja kot pomemben pokazatelj splošne funkcijske zmogljivosti posameznika. Ocenjuje se s pomočjo ročnega dinamometra, običajno v nevtralnem položaju roke ali pri določenih stopnjah odročenja [1]. Z njim ne ocenjujemo le mišične moči mišic podlakti in dlani, temveč služi tudi kot pokazatelj splošne funkcije rotatorne manšete in celotne funkcije zgornjega uda. Povezava med močjo prijema in funkcijo ramenskega sklepa temelji na načelu proksimalne stabilnosti za distalno mobilnost, kjer stabilna baza v rami omogoča učinkovito delovanje celotnega zgornjega uda [1,2].

Na podlagi omenjenega načela imajo rotatorji ramenskega sklepa odločilno vlogo pri zagotavljanju stabilnosti ramenskega sklepa. Njihova ustrezna mišična moč je ključna za preprečevanje kompenzatornih vzorcev in zagotavljanje večje moči celotnega zgornjega uda [2].

Namen raziskave je bil ugotoviti, ali lahko s specifično aktivacijo notranjih (NR) ali zunanjih rotatorjev (ZR) ramena neposredno vplivamo na večjo moč prijema.

II. MATERIALI IN METODE

V raziskavo so bili vključeni zdravi, polnoletni preiskovanci obeh spolov, ki niso imeli težav z ramenskim sklepom. Naključno so bili razdeljeni v dve skupini, tako da so izžrebali listek z imenom skupine. Na dominantni roki smo izvedli meritev moči prijema in izometrične moči ZR ter NR ramenskega sklepa z dinamometrom. Moč prijema smo izmerili v standardiziranem položaju, kot so ga opisli avtorji Jakovljevič in Hlebs [3] ter v položaju roke v 90° abdukcije v ramenskem sklepu, 90° ZR v ramenskem sklepu in 90° fleksije v komolčnem sklepu. Preiskovanci, ki so bili vključeni v skupino za aktivacijo ZR so izvedli 2-krat 10 ponovitev vaj za ZR z 2kg utežjo. Preiskovanci v skupini aktivacije NR so izvedli 2-krat 10 ponovitev vaj za NR s tršo elastiko. Vaje so preiskovanci izvajali pod nadzorom fizioterapevta, vsako kontrakcijo mišic so

zadržali 2 sekundi. Po končanih vajah smo ponovili meritvi moči prijema.

Obe skupini smo primerjali med seboj tako pred vajami, kot po njih. Pri primerjavi med skupinama smo uporabili t-test za neodvisna vzorca, medtem, ko smo za primerjavo znotraj skupine uporabili t-test za odvisna vzorca. Statistično analizo smo izvedli v programu Excel. Stopnja značilnosti je bila postavljena pri $p < 0,05$.

III. REZULTATI

V raziskavo je bilo vključenih 60 preiskovancev, po 30 v vsaki skupini. Med obema skupinama nismo opazili razlik pred intervencijo. Demografski podatki o preiskovancih so predstavljeni v Tabeli 1.

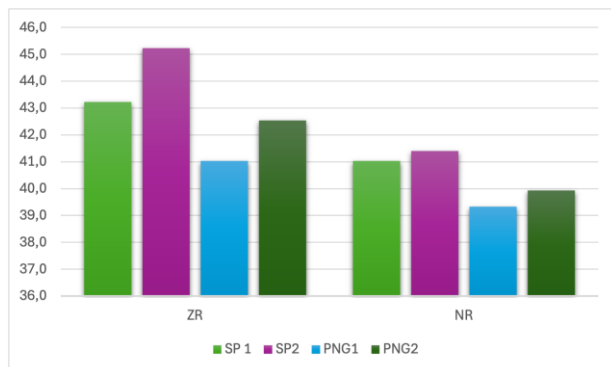
Tabela 1: Demografski podatki.

	Skupina		
	ZR (Š=30)	NR (Š=30)	p
Moški spol (Š)	14 (46,7%)	11 (36,7%)	0,43
Ženski spol (Š)	16 (53,3%)	19 (63,3%)	0,45
Starost (leta)	35,1	39,2	0,11
Moč prijema (kg)	43,2	41,1	0,22
Moč prijema v ABD in ZR (kg)	41,1	39,3	0,25
Moč notranjih rotatorjev (N)	118,1	101,7	0,11
Moč zunanjih rotatorjev (N)	93,9	81,7	0,05
Legenda: ZR – zunanji rotatorji, NR – notranji rotatorji, Š – število, kg – kilogram, N – newton.			

Povprečna moč prijema v standardiziranem testnem položaju se ni statistično pomembno spremenila pri preiskovancih, ki so izvajali vaje za NR ($p=0,26$). Pred vajo je znašala 41,1 kg ($SD=10,6$), po vaji pa 41,4 kg ($SD=14,6$). V položaju roke v 90° abdukcije in 90° ZR v ramenskem sklepu ter 90° fleksije v komolčnem sklepu prav tako nismo zabeležili statistično pomembnih razlik ($p=0,13$). Pred vajo je bila povprečna moč prijema 39,3kg ($SD=10,3$), po vaji pa 39,9kg ($SD=14,6$). Rezultati so prikazani na Sliki 1.



V skupini, ki je izvajala vaje za ZR smo zabeležili statistično pomembno razliko v moči prijema v standardiziranem položaju ($p=0,002$). Pred vajo je bila povprečna moč prijema 43,2kg (SD=11,1), po vaji pa 45,3kg (SD=11,7). V položaju roke v 90° abdukcije in 90° ZR v ramenskem sklepu ter 90° fleksije v komolčnem sklepu smo prav tako zabeležili statistično pomembno razliko ($p=0,03$). Pred vajo je bila povprečna moč prijema 41,1kg (SD=9,3), po vaji pa 42,5kg (SD=11,1). Rezultati so prikazani na Sliki 1.



Slika 1: Moč prijema v standardnem položaju (SP) in položaju 90° abdukcije in 90° zunanje rotacije v ramenskem sklepu ter 90° fleksije v komolčnem sklepu (PNG), pred vajo (SP1, PNG1) in po vaji (SP2, PNG2).

IV. RAZPRAVA

Načelo proksimalne stabilnosti za distalno mobilnost opisuje, da ramenski sklep deluje kot stabilna baza, ki zagotavlja nujne pogoje za učinkovito delovanje distalnih delov zgornjega uda, saj omogoča optimalen prenos sil vzdolž kinetične verige [1]. Rezultati raziskave, ki smo jo izvedli kažejo na različen vpliv NR oziroma ZR.

Z biomehanskega in anatomskega vidika imajo mišice rotatorne manšete različno vlogo pri zagotavljanju stabilnosti ramenskega sklepa. Mišična aktivnost v ZR ramena povzroči depresijo in medializacijo glavnice nadlahtnice in preprečuje njeno kranialno in anteriorno translacijo, s čimer ustvari stabilnost glenohumeralnega sklepa. Ustrezna stabilnost v gelnohumeralnem sklepu omogoča energijsko in funkcijsko učinkovitejšo uporabo mišic nadlakti, podlakti ter dlani [1,2].

Posebej pomembna je potrditev učinka v funkcijsko zahtevnejšem položaju 90° abdukcije in ZR v ramenskem sklepu. Biomehansko gledano je v tem položaju največja napetost okoliških mehko tkivnih struktur, kar predstavlja funkcijsko in energijsko zahteven položaj za mišice rotatorne manšete. Sam položaj je ključen v fazi zamaha, pri čemur je primerna aktivnost ZR nujna za ohranjanje stabilnosti sklepa [1,2].

Nasprotno pa aktivacija NR ni privedla do statistično značilnih sprememb v moči prijema. Z vidika biomehanike ramenskega obroča je potrebno ločiti maksimalno mišično moč in mišično aktivnost, ki je ključna za stabilizacijo sklepa. Čeprav so NR pogosto močnejši, kar potrjujejo tudi naši osnovni podatki (NR s

povprečno močjo 118,1 N v primerjavi z 93,9 N pri ZR), njihova večja maksimalna moč ne prispeva k večji zmogljivosti v distalnem delu zgornjega uda. To nakazuje na to, da NR kljub večji moči niso ključni pri stabilizaciji ramenskega sklepa, kar omogoča močnejši in učinkovitejši prijem [1].

Rezultati raziskave kažejo na to, da ZR s svojo aktivacijo zagotavlja nujno uravnoteženje sil v ramenskem sklepu, kar ustvarja stabilno osnovo za delovanje celotnega zgornjega uda [1,2,3]. Izsledki so skladni z ugotovitvami Horsleyja in sodelavcev [1], ki so v svoji raziskavi poročali o visoki stopnji korelacije ($r = 0,72$ do $0,91$) med močjo ZR in močjo prijema v različnih položajih ramenskega sklepa. To dodatno potrjuje biomehansko teorijo, da je prav aktivacija ZR tista, ki preko proksimalne stabilizacije neposredno vpliva na moč prijema.

V. ZAKLJUČKI

Raziskava nakazuje, da aktivacija ZR ramena povzroči takojšnje izboljšanje distalne zmogljivosti zgornjega uda pri zdravi populaciji. Ta učinek pripisujemo izboljšani proksimalni stabilnosti in centralizaciji glave nadlahtnice, kar optimizira prenos sil vzdolž kinetične verige. Za fizioterapevtsko prakso to pomeni, da lahko s vključitvijo specifičnih vaj za aktivacijo ZR izboljšamo rehabilitacijo tako ramenskega sklepa, kot tudi poškodb podlakti ali povečamo zmogljivost prijema pri športnikih v fazi priprave na obremenitev.

LITERATURA

- [1] Horsley I, Herrington L, Hoyle R, Prescott E, Bellamy N. Do changes in hand grip strength correlate with shoulder rotator cuff function?. *Shoulder Elbow*. 2016;8(2):124-129. doi:10.1177/1758573215626103
- [2] AlAnazi A, Alghadir AH, Gabr SA. Handgrip Strength Exercises Modulate Shoulder Pain, Function, and Strength of Rotator Cuff Muscles of Patients with Primary Subacromial Impingement Syndrome. *Biomed Res Int*. 2022;2022:9151831. Published 2022 Aug 30. doi:10.1155/2022/9151831
- [3] Jakovljevič M, Hlebš G. Zanesljivost merjenja moči stiska roke z dinamometrom na vzmet pri zdravih mladih odraslih. *Fizioterapija*. 2017;25(1):15-22

Pristop k bolečini v nativnem kolenskem sklepu - pregled literature

Nika RUPČIĆ¹, Neža VAVPETIČ¹ in Klemen RAVNIHAR¹

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

Ključne besede: bolečina, nativen sklep, septični artritis, nujna obravnava.

I. UVOD

Bolečina v kolenu vsaj enkrat v življenju prizadene približno 25 % odraslih in pomembno vpliva na kakovost življenja, mobilnost in funkcionalnost posameznika [1]. Bolečina je lahko znak življenja ogrožujočega stanja, v primeru katerega je potrebno takojšnje ukrepanje in preprečevanje škode ali pa je znak poslabšanja kronične bolezni, ki ne zahteva nujne obravnave. Zato je pri obravnavi primarno pomembna izključitev nujnih stanj. V tem primeru, je potek bolezni hiter, z nenadnim ali hitrim poslabšanjem, pridruženo bolečino, oteklino, omejeno gibljivostjo, nestabilnostjo sklepa, anamnezo travmatskega dogodka ali vročino. Pri obravnavi nas vodita anamneza in klinični pregled, laboratorijska in slikovna diagnostika pa diagnozo potrdita [2]. Najpogostejši vzroki za bolečino v kolenu so artroza, akutni zagon revmatološke bolezni, na primer revmatoidnega artritisa in putike, septični artritis in drugi artritis po okužbi, poškodbe sklepnih in vezivnih struktur [3]. V spodnjem besedilu bomo na podlagi dostopne literature obravnavali pogostost, značilnosti in obravnavo nujnih stanj, ki se kažejo z bolečino v nativnem kolenskem sklepu.

II. MATERIALI IN METODE

Besedilo temelji na pregledu obstoječe, v podatkovni bazi PubMed/MEDLINE dostopne znanstvene literature, novejšje od 2012, ki opisuje pogostosti stanj za katere je značilna bolečina v nativnem kolenskem sklepu, njihovi obravnavi in značilnosti.

III. RAZPRAVA

Bolečina v kolenu je lahko posledica nujnega stanja ali kronične bolezni [2, 3]. Ob pregledu laboratorijskih izvidov krvi smo pozorni na povišane vnetne parametre, C-reaktivni protein (CRP), število nevtrofilnih granulocitov ter pospešeno sedimentacijo eritrocitov. Ob sumu na okužbo je pomemben dokaz povzročitelja iz hemokultur in sklepne punkture, ki je v tem primeru moten, rumen, ima majhno viskoznost, številni so nevtrofilni granulociti nivo glukoze pa je nizek [4]. Za izključitev akutne poškodbe in oceno stanja sklepne hrustanca je smiselna rentgenska diagnostika, medtem ko ultrazvok prikaže prisotnost sklepne izliva. V namen

nujne diagnostike magnetno resonanco uporabljamo redko, le v primerih kot so akutno postravmatsko vkleščanje meniska, širjenje okužbe na mehka tkiva, malignom ali poškodbe žil [2, 4, 5].

Vsak akutni artritis moramo obravnavati kot septični artritis, dokler ga ne izključimo [5]. To je redek, a najnevarnejši vzrok bolečine v kolenu, z incidenco 0.035 % glede na izsledke raziskave He *et al.* [7]. Podobne rezultate beležijo tudi raziskovalci na Tajskem, in sicer 0.041 %, medtem ko naj bi splošna incidenca septičnega artritisa v Zahodni Evropi, znašala okoli 2-10 primerov /100.000/leto [8, 9].

Septični artritis je posledica hematogenega razsoja bakterij (*Staphylococcus aureus*, beta-hemolitični streptokoki skupin A, B, C in G, po Gramu negativne bakterije, redkeje anaerobi, virusi, *Borrelia burgdorferi sensu lato*, mikobakterije in glive), ki ima v primeru neukrepanja hude posledice za sklepni hrustanec. Najpogostejše prizadene otroke in starostnike [4]. Indicirana je antibiotična terapija, prilagojena mikrobiološkemu rezultatom hemokultur in punkture, pri čemer so lahko kulture negativne v do 30 % vseh primerov bolezni [4, 5, 6]. Prav tako, je pomembna kirurška oskrba sklepa, redno artroskopsko izpiranje in po potrebi sinovektomija ali odprta operacija sklepa [4, 5].

Podobno klinično sliko imata tudi poststreptokokni reaktivni artritis (PRA) in juvenilni idiopatski artritis, oba značilna za otroke in mladostnike [10, 11, 12]. Prvi je pozen zaplet okužbe z beta-hemolitičnim-streptokokom skupine A, s katerim se danes v razvitem svetu zaradi dostopne antibiotične terapije, redko srečamo [10]. Pri bolnikih z zapleti po streptokokni okužbi je bila bolečina v kolenu prisotna v 62 % [11]. Drugi je posledica virusnih ali bakterijskih okužb sečil in prebavil, pomanjkanja vitamina D, stresa, travme, katerega globalna incidenca je bila ocenjena na do 0.023 % [12, 13]. Pri obeh so ukrepi usmejeni v analgetsko terapijo, pri prvem je indicirana tudi antibiotična pri drugem pa protivnetna terapija [12].

Poleg akutnih stanj, se z bolečino v kolenu kaže tudi poslabšanje kronične bolezni. Pogost vzrok je akutni zagon protina, katerega globalna prevalenca je bila leta 2020 ocenjena na 0.65 % in poslabšanje revmatoidnega artritisa, z ocenjeno prevalenco bila istega leta, 0.21 % [14,15]. Za slednjega sta značilni simetrična sklepna

bolečina in jutranja okorelost, kot tudi sklepne deformacije. Prisotni so lahko tudi simptomi in znaki, ki spominjajo na akutno stanje. Za protin pa je značilen burzitis, tendinitis ali kronični destruktivni poliartritis s tofi, pri čemer se zagon pogosto prične ponoči, najbolj značilno na I. metatarzofalangealnem sklepu. Cilja nujne obravnave sta v obeh primerih analgetska in protivnetna terapija, pomembno pa je dobro vodenje osnovne bolezni [16].

Nenevarno, pogosto stanje, ki se kaže z bolečino v kolenu, je artroza sklepa, ki je posledica vnetja, mehanske obremenitve in metabolnih procesov. Po podatkih Allen *et al.*, znaša letna incidenca simptomatske osteoartroze kolena 240 novih primerov na 100.000 oseb-let (0,24 % novih primerov letno) [17]. Značilna je bolečina med gibanjem, obremenitvijo, ki se med počitkom umiri. Rentgenska diagnostika pokaže zožitev sklepne špranje. Dejavnike tveganja predstavljajo debelost, starost in ženski spol. Ukrepi sprva temeljijo na edukaciji, krepitvi miškulature in redukciji telesne teže. Ob akutnem zagonu lahko pomagajo krioterapija, kratkotrajna razbremenitev in protivnetna ter analgetska terapija. Edina dokončna rešitev je sklepna proteza [18, 19].

Pogosto je bolečina v kolenu povezana s travmatskim dogodkom, z incidenco 0,23 %. V teh primerih se pogosto srečamo s poškodbo ligamentarnega aparata (najpogosteje sprednje križne vezi in medialnega kolateralnega ligamenta), meniska (zlasti medialnega), zlomom sklepa ali poškodbo pogačice [20].

IV. ZAKLJUČKI

Pri obravnavi akutne bolečine je najprej pomembna, usmeritev k izključevanju nujnih stanj. Primer je septični artritis, s katerim se sicer redko srečamo, a je hitro ukrepanje ključnega pomena, saj v kratkem času lahko na sklepu pusti hude posledice. Poleg tega je pomembna izključitev drugih okužb, poškodb sklepa ter ligamentarnega aparata. Ko so nujna stanja izključena, se usmerimo v ugotavljanje drugih, manj nevarnih možnih vzrokov. Izmed teh so pogosti osteoartroza, akutni zagon protina, akutno poslabšanje revmatoidnega artritisa in drugih kroničnih revmatoloških bolezni.

LITERATURA

- [1] Nguyen US, et al., Increasing prevalence of knee pain and symptomatic knee osteoarthritis: survey and cohort data. *Ann Intern Med.* 2011 Dec 6;155(11):725-32. doi: 10.7326/0003-4819-155-11-201112060-00004.
- [2] Nguyen US, et al., Increasing prevalence of knee pain and symptomatic knee osteoarthritis: survey and cohort data. *Ann Intern Med.* 2011 Dec 6;155(11):725-32. doi: 10.7326/0003-4819-155-11-201112060-00004.
- [3] Sullivan R. Diagnosis and management of acute joint pain in the emergency department. *Emerg Med Pract.* 2022 Jan;24(1):1-28.
- [4] Tomažič J, Strle F, et al. Infekcijske bolezni. 2. izdaja. Ljubljana: Združenje za infektologijo, Slovensko zdravniško društvo, 2017. 183-185 p.
- [5] Benito N, Martínez-Pastor JC, et al. Executive summary: Guidelines for the diagnosis and treatment of septic arthritis in adults and children, developed by the GEIO (SEIMC), SEIP and SECOT. *Enferm Infecc Microbiol Clin (Engl Ed).* 2024 Apr;42(4):208-214. doi: 10.1016/j.eimce.2023.07.007.
- [6] Cimatti P, Ciaffi J, Dallari B, Amicucci F, Trisolino G, Storni E, Maso A, Ursini F, Dallari D. Ten-Year Experience with Native Joint Septic Arthritis: A Retrospective Cohort Study from a Tertiary Center. *Journal of Clinical Medicine.* 2025; 14(18):6403.
- [7] He M, Arthur Vithran DT, Pan L, Zeng H, Yang G, Lu B, Zhang F. An update on recent progress of the epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of acute septic arthritis: a review. *Front Cell Infect Microbiol.* 2023 May 2;13:1193645. doi: 10.3389/fcimb.2023.1193645.
- [8] Foocharoen T, Onchan T, Pongkulkiat P, Mahakkanukrauh A, Suwannaroj S, Foocharoen C. Incidence and Prevalence of Septic Arthritis in Thailand: A Database from the Ministry of Public Health. *Open Access Rheumatol.* 2023 Nov 7;15:213-222. doi: 10.2147/OARRR.S434983.
- [9] A. Johansson, O. Bornai, J. Tverring, and O. Ljungquist, "Septic Arthritis and Its Mimics: Assessing the Incidence, Mortality Rate, Cause-of Death and Preventability in a Population-Based Cohort Study," *Health Science Reports* 9(2026): e72845
- [10] Jeong SH, Shekhar N, Mutyal N, Canaday O. Distinguishing Acute Rheumatic Fever From Post-streptococcal Reactive Arthritis. *Cureus.* 2024 Mar 7;16(3):e55739.
- [11] Sato S, Uejima Y, Sugauma E, Takano T, Kawano Y. A retrospective study: Acute rheumatic fever and post-streptococcal reactive arthritis in Japan. *Allergol Int.* 2017 Oct;66(4):617-620. doi: 10.1016/j.alit.2017.04.001.
- [12] Zaripova LN, Midgley A, Christmas SE, Beresford MW, Baildam EM, Oldershaw RA. Juvenile idiopathic arthritis: from aetiopathogenesis to therapeutic approaches. *Pediatr Rheumatol Online J.* 2021 Aug 23;19(1):135. doi: 10.1186/s12969-021-00629-8.
- [13] Al-Mayouf SM, Al Mutairi M, Bouayed K, Habjoka S, Hadeef D, Lotfy HM, Scott C, Sharif EM, Tahoun N. Epidemiology and demographics of juvenile idiopathic arthritis in Africa and Middle East. *Pediatr Rheumatol Online J.* 2021 Dec 2;19(1):166. doi: 10.1186/s12969-021-00650-x.
- [14] GBD 2021 Rheumatoid Arthritis Collaborators. Global, regional, and national burden of rheumatoid arthritis, 1990-2020, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Rheumatol.* 2023 Sep 25;5(10):e594-e610. doi: 10.1016/S2665-9913(23)00211-4.
- [15] GBD 2021 Gout Collaborators. Global, regional, and national burden of gout, 1990-2020, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Rheumatol.* 2024 Aug;6(8):e507-e517. doi: 10.1016/S2665-9913(24)00117-6. Epub 2024 Jul 9. Erratum in: *Lancet Rheumatol.* 2024 Nov;6(11):e749. doi: 10.1016/S2665-9913(24)00303-5.
- [16] Košnik M, Štajer D, et al., *Interna medicina*. 5. izdaja. Ljubljana: MF Ljubljana, Slovensko zdravniško društvo, Knjigotštvo Buča d.o.o., 2018. 1328-1334/1342-1343 p.
- [17] Allen KD, Thoma LM, Golightly YM. Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2022 Feb;30(2):184-195. doi: 10.1016/j.joca.2021.04.020.
- [18] Gelber AC. Knee Osteoarthritis. *Ann Intern Med.* 2024 Sep;177(9):ITC129-ITC144. doi: 10.7326/ANNALS-24-01249.
- [19] Zhu S, Qu W, He C. Evaluation and management of knee osteoarthritis. *J Evid Based Med.* 2024 Sep;17(3):675-687. doi: 10.1111/jebm.12627.
- [20] Yassen S. K., *Common knee injuries, diagnosis and treatment*. 2. Izdaja. (Surgery) Oxford. April 2023. 215-222 p.

Rekonstrukcija medialnega patelofemoralnega ligamenta s tetivo mišice rectus femoris

Matic POVH¹ in Samo NOVAK¹

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

Ključne besede: medialni patelofemoralni ligament, rectus femoris, nestabilnost pogačice, rekonstrukcija medialnega patelofemoralnega ligamenta.

I. UVOD

Ponavljajoča se nestabilnost pogačice je pogosta težava, zlasti pri mladostnikih in mladih odraslih. Večina prvih izpahov pogačice se pojavi med 10. in 19. letom starosti, pri čemer je več kot 50 % povezanih s športnimi poškodbami [1,2].

Najpogostejše je indicirano kirurško zdravljenje, pri čemer imajo prednost mehko tkivne rekonstrukcije in tehnike poravnave pred kostnimi posegi [3]. Rekonstrukcija medialnega patelofemoralnega ligamenta (MPFL) je postala najširše sprejeta kirurška metoda za zdravljenje ponavljajoče se nestabilnosti pogačice.

Tetiva mišice rectus femoris je bila nedavno raziskovana kot potencialni vir presadka pri rekonstrukciji sprednje križne vezi (angl. *anterior cruciate ligament*, ACL), pri čemer so bile ugotovljene ugodne biomehanske lastnosti [4,5]. V tem prispevku predstavljamo kirurško tehniko rekonstrukcije MPFL z uporabo proste tetive mišice rectus femoris.

II. KIRURŠKA TEHNIKA

A. Položaj bolnika

Bolnik je nameščen v ležeči položaj na hrbtu, napihne se pnevmatska preveza. Sprva se opravi standardna diagnostična artroskopija. Zatem se pozornost usmeri na odvzem avtolognega presadka.

B. Odvzem grafta

Približno 3 cm proksimalno od zgornjega roba pogačice in nekoliko lateralno se izvede 4 cm dolg vzdolžni rez. Takšen pristop zmanjša tveganje za poškodbo mišice vastus medialis ter izboljša preglednost operativnega polja.

Po preparaciji podkožja se približno 4 cm proksimalno od zgornjega roba pogačice naredita dva vzporedna reza, med seboj oddaljena 10 mm in globoka približno 2 mm. Topi ukrivljeni disektor se uvede iz enega reza v drugega, s čimer se dvigne tetiva mišice rectus femoris.

Preparacija se nadaljuje proksimalno, dokler ni pridobljen približno 8 cm dolg elastičen tetivni presadek. Ohranjanje elastičnosti presadka je ključno, saj lahko neelastičen presadek povzroči distalno pretrganje in nezadostno dolžino.

Po preparaciji začetnih 8 cm tetive se za dokončanje odvzema presadka uporabi zaprti stripper. Noga je med odvzemom postavljena skoraj v iztegnjen položaj. Na Sliki 1 je viden avtologni presadek iz tetive mišice rectus femoris, ki je bil dolg 32 cm.



Slika 1: Avtologni presadek iz tetive mišice rectus femoris.

Po pridobitvi presadka se le-ta očisti in pripravi za tehniko dvojnega snopa, pri čemer sta oba konca prešita z neresorbilnim šivom.

C. Femoralna in patelarna fiksacija

Identificira se zgornji rob pogačice, nato pa se vzdolž njenega proksimalnega medialnega dela izvede 2 cm dolg rez. Kostna površina se dekortikira in vstavijo se tri all-suture sidra.

Nato se med medialnim epikondilom in adduktornim tuberkulom izvede 2 cm dolg kožni rez. Pod fluoroskopskim nadzorom se med tema orientacijskima točkama identificira Schöttlejeva točka. Skozi to točko se prevrta vodilna žica.

S topim disektorjem se med drugo in tretjo plastjo od pogačice ustvari kanal do mesta femoralne fiksacije. Graft se nato povleče skozi ta prostor in pritrdi na pogačico z drsnimi vozli. Femoralna fiksacija se izvede s sistemom za vlečenje šivov. Ob fleksiji kolena med 45° in 60° se graft napne do popolne poravnave lateralne fasete pogačice in trohleje. Fiksacija se doseže z bioresorbilnim interferenčnim vijakom. Sledenje pogačice in izometrija se preveri skozi celoten obseg gibanja.

III. POOPERATIVNA OBRAVNAVA

Bolniku se namesti kolenska opornica v iztegnjenem položaju. Fleksija je v prvih šestih tednih omejena na 90 stopinj. Takojšnja obremenitev operirane spodnje okončine do bolečine je dovoljena, pri hoji pa se uporabljajo bergle.

Vrnitev k športnim aktivnostim je predvidena približno po 6 mesecih, najprej z nizko intenzivnimi dejavnostmi, nato pa postopno do popolne vrnitve k vsem športom po 9 mesecih.

IV. RAZPRAVA

Prispevek opisuje kirurško tehniko rekonstrukcije MPFL z uporabo prostega avtolognega presadka tetive mišice rectus femoris. Čeprav je bil ta presadek doslej predvsem opisan v kontekstu revizijskih rekonstrukcij ACL, njegove prednosti — predvsem zadostna dolžina in enostaven odvzem ob obvladovanju ključnih tehničnih podrobnosti — predstavljajo privlačno možnost tudi za rekonstrukcijo MPFL [4].

Avtograft tetive mišice rectus femoris je lahko pomembna alternativa, saj ohranja hamstringe za morebitno prihodnjo rekonstrukcijo ACL, če bi bila potrebna. Za razliko od odvzema hamstringskega avtolognega presadka ta tehnika ne oslabi medialne stabilnosti kolena [6]. V primerjavi s standardnim presadkom tetive kvadriceps in tehnikami pecljatih presadkov ta pristop zmanjšuje verjetnost nenamernega vstopa v sklep med odvzemom presadka. S tem se ohrani glavni preplet plasti v proksimalnem patelarnem narastišču tetive kvadricepsa, kar lahko zmanjša pooperativno mišično oslabeledost in skrajša rehabilitacijo v primerjavi s klasičnim odvzemom tetive kvadricepsa ter potencialno vodi do manjše pojavnosti patelofemoralne artroze [7].

Možni zapleti pri odvzemu avtolognega presadka tetive mišice rectus femoris vključujejo oslabeledost kvadricepsa, nenamerno penetracijo v sklep, hematoma in

bolečino v stegnu [4,7]. Vendar pa se pričakuje, da bo pojavnost teh zapletov nižja kot pri klasičnem odvzemu kvadricepsovega avtolognega presadka [7]. Pomembno je tudi, da ta tehnika ne ogroža medialne stabilnosti kolena in ne oslabi fleksorjev kolena, kar sta tveganji, ki ju pogosteje srečamo pri odvzemu hamstringskega avtolognega presadka [6].

V. ZAKLJUČKI

Glede na trenutne izkušnje se zdi dvopasovna rekonstrukcija MPFL z avtolognim presadkom tetive mišice rectus femoris obetavna tehnika, ki zagotavlja robusten presadek z nizko morbiditeto odvzemnega mesta. Poleg tega ohranja hamstringe za morebitne prihodnje rekonstrukcije ligamentov, zaradi česar predstavlja posebej privlačno možnost v izbranih kliničnih primerih.

LITERATURA

- [1] Wolfe S, Varacallo MA, Thomas JD, Carroll JJ, Kahwaji CI. Patellar Instability. 2023 Sep 4. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan.
- [2] Sahin E, Tandogan R, Liebensteiner M, Demey G, Kayaalp A. Management of patellar instability in skeletally immature patients. EFORT Open Rev. 2024 Jan 9;9(1):60-68. doi: 10.1530/EOR-23-0070.
- [3] Wilkens OE, Hannink G, van de Groes SAW. Recurrent patellofemoral instability rates after MPFL reconstruction techniques are in the range of instability rates after other soft tissue realignment techniques. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2020 Jun;28(6):1919-1931. doi: 10.1007/s00167-019-05656-3.
- [4] Sonnery-Cottet V, Alayane A, Mouarbes D, Pailhe R, Cavaignac E. The quad 2.0 technique: a single rectus femoris tendon autograft solution for combined anterior cruciate ligament and double-bundle anterolateral ligament reconstruction. Arthrosc Tech. 2025 Jun 2;14(8):103669. doi: 10.1016/j.eats.2025.103669.
- [5] Marot V, Carrozzo A, Chahla J, Martinel V, Sonnery-Cottet V, Limam K, Bouguennec N, Pailhé R, Cavaignac E. Rectus femoris tendon morphometry and practical landmarks for harvesting: A cadaveric study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2025 Nov 14. doi: 10.1002/ksa.70186.
- [6] Kremen TJ, Polakof LS, Rajae SS, Nelson TJ, Metzger MF. The effect of hamstring tendon autograft harvest on the restoration of knee stability in the setting of concurrent anterior cruciate ligament and medial collateral ligament injuries. Am J Sports Med. 2018 Jan;46(1):163-170. doi: 10.1177/0363546517732743.
- [7] Dansby J, Tibone J, Huang DT, Nakla A, Batten C, Metzger MF. Biomechanical comparison of full-thickness versus partial-thickness quadriceps tendon grafts for ACL reconstruction. Orthop J Sports Med. 2025 Jun 20;13(6):23259671251342607. doi: 10.1177/23259671251342607.

Protokol hitre obravnave pri vstavitvi kolčne in kolenske endoproteze z uporabo kratkodelujoče spinalne anestezije

Desiree CELIN¹, Jurij KRAJAČIČ¹, Darja KODRIČ¹, Barbara ULJANČIČ¹,
Marija BULATOVIČ¹, Samo ROŠKAR^{1,2}, Simon KOVAČ^{1,3} in Kamil BERRO¹

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

³Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Taborska ulica 8, 2000 Maribor

Ključne besede: totalna endoproteza kolka, totalna endoproteza kolena, parcialna kolenska endoproteza, kratkodelujoča spinalna anestezija, pospešeno okrevanje, učinkovitost.

I. UVOD

Protokoli pospešenega okrevanja po vstavitvi kolčne ali kolenske endoproteze omogočajo zgodnejšo pooperativno rehabilitacijo, zmanjšujejo potrebo po opioidnih analgetikih ter prispevajo k hitrejšem funkcionalnem okrevanju [1,2]. Kratkodelujoča spinalna anestezija predstavlja učinkovito in varno anesteziološko tehniko pri vstavitvi kolčne ali kolenske endoproteze [1]. Omogoča hitro povrnitev motorične funkcije, ohranjanje hemodinamske stabilnosti ter zgodnjo mobilizacijo, kar ugodno vpliva na obvladovanje pooperativne bolečine, z zgodnjo mišično aktivacijo pripomore k manjšem otekanju v operiranem področju in je povezana z večjim zadovoljstvom bolnikov v zgodnjem pooperativnem obdobju [1,3].

Namen raziskave je ovrednotiti klinične rezultate uporabe kratkodelujoče spinalne anestezije v okviru protokola hitre obravnave pri bolnikih po primarni vstavitvi kolčne ali kolenske endoproteze v enem ortopedskem centru.

II. MATERIALI IN METODE

Analizirali smo zaporedno kohorto bolnikov, ki so imeli v letu 2026 v Ortopedski bolnišnici Valdoltra vstavljeno kolčno ali kolensko endoprotezo z uporabo pospešenega protokola okrevanja. V raziskavi uporabljen protokol vključuje: predoperativno multimodalno analgezijo dve uri pred posegom (zaviralec protonske črpalke, selektivni zaviralec COX-2, paracetamol in oksikodon). Spinalna anestezija je bila izvedena s kloropropainom in dopolnjena z lokalno infiltracijsko analgezijo (LIA) operativnega področja. Med operacijo so bolniki prejeli intravensko propofol, deksametazon, traneksamično kislino in metamizol ter dodatno 2 g traneksamične kisline lokalno v operativno področje. Po operaciji je bila uvedena multimodalna peroralna

analgezija, vključno z enkratnim odmerkom 5–10 mg morfina neposredno po posegu.

Pri vseh bolnikih je bila opravljena vertikalizacija v dveh urah po operaciji. Ob tem so bolniki pričeli z zgodnjo funkcionalno rehabilitacijo na dan posega, ki je vključevala hojo ob spremstvu fizioterapevta, izvedeno dvakrat v obdobju med peto in osmo uro po operaciji.

III. REZULTATI

V letu 2026 je bilo po protokolu hitre obravnave opravljenih 75 primarnih vstavitvev kolčne ali kolenske endoproteze, od tega 37 primarnih kolčnih endoprotez in 38 primarnih kolenskih endoprotez. Povprečna starost bolnikov obravnavanih po hitrem protokolu je znašala $69,2 \pm 8,8$ leta, 59 % je bilo žensk, 23 bolnikov (30,7 %) sodilo v klasifikacijski razred ASA III, 47 bolnikov (62,7 %) v razred ASA II in 5 bolnikov (6,6 %) ASA I. Povprečni indeks telesne mase je znašal $29,8 \pm 5,8$ kg/m². Povprečni operativni čas je znašal 50 ± 11 minut, pri kolnih (55 ± 10 min) je bil povprečni čas operacije 10 min daljši kot pri kolčnih (45 ± 10 min), najdaljši čas operativnega posega je znašal 100 min. Pri nobenem bolniku ni bila potrebna konverzija v splošno anestezijo. Povprečno trajanje hospitalizacije je znašalo $2,0 \pm 1,0$ dan, pri čemer je bil minimalni pogoj za odpust bolnika v domačo oskrbo suha preveza pooperativne rane, mobilizacija z berglama po stopnicah, v primeru kolenskih sklepov dodatno še minimalna pasivna fleksija v operiranem sklepu 90°. Vsi bolniki so bili mobilizirani in so na dan operacije hodili z berglami, razen 2 bolnikov, ki sta bila zmožna zgolj stoje, zaradi slabosti. V celotni opazovani kohorti smo zabeležili pojavnost pooperativne retence urina s potrebo po katetrizaciji pri 4 bolnikih (5,4 %), pri dveh bolnikih po kolenski in dveh po kolčni endoprotezi. Vsaj en odmerek antiemetika je pooperativno potrebovalo 15 bolnikov (20 %). Pri 34 bolnikih (45 %) ni bilo potrebne dodatne opioidne analgetične terapije kot dodatek osnovnemu protokolu. Celokupno je 41 bolnikov potrebovalo vsaj en



odmerek piritramida, povprečje celokupnega potrebovanega odmerka je znašalo 3 ± 5 mg. Pri 29 bolnikih je bil potreben vsaj en dodatni odmerek peroralnega morfina, pri čemer je povprečna celokupna doza potrebnega morfina znašala 10 ± 12 mg. Primerov globoke venske tromboze ali pljučne embolije nismo zabeležili.

IV. RAZPRAVA

V zadnjem času se v luči visoke uspešnosti artroplastike kolka in kolena pri zmanjšanju bolečin zavoljo napredovale obrabe sklepa in možnosti povrnitve funkcionalnega statusa sklepa tovrstni posegi izvajajo pri čedalje mlajših osebah, ki imajo večinoma željo po čimprejšnji povrnitvi k vsem aktivnostim [4,5]. Pred desetletjem je povprečna ležalna doba po kolčni ali kolenski endoprotezi znašala povprečno 7 dni [6]. V želji po dosegi čimprejšnjega okrevanja so bili zasnovani sodobni, multimodalni protokoli pospešenega okrevanja, ki vključujejo multimodalno analgezijo, izboljšanje nege pooperativne rane ter izboljšanje fizikalno terapevtskih protokolov obravnave, s čemer se je ležalna doba za ASA I in ASA II bolnike znižala na srednjo vrednost 3 dni [7]. Manj je podatkov o uporabi in primernosti protokolov pospešenega okrevanja pri bolnikih s pridruženimi pomembnimi komorbidnostmi, ASA 3 [8,9].

Rezultati naše raziskave kažejo, da je z uporabo kratkodelujoče spinalne anestezije moč doseči mobilizacijo pacienta nekaj ur po vstavitvi kolčne ali kolenske endoproteze, kar je povezano z manj otekanja operiranega sklepa, manjšo potrebo po uporabi opioidnih analgetikov in posledično krajšo hospitalizacijo z ohranjenimi minimalnimi potrebnimi kriteriji za odpust (suha preveza pooperativne rane, mobilizacija z berglamo po stopnicah, v primeru kolenskih sklepov dodatno še minimalna fleksija v operiranem sklepu 90°) v primeru artroplastike kolenskega sklepa na približno polovico, s 4,4 na 2,0 dneva. Dodatno z raziskavo ugotavljamo, da se omenjen protokol pospešenega okrevanja nakazuje primeren tudi za bolnike s pridruženimi komorbidnostmi, ASA 3.

Primerjava različnih protokolov pospešenega okrevanja je otežena zaradi različnosti kirurške tehnike, različne rabe posameznih analgetikov in različnosti v protokolih mobilizacije [6,10]. Različni protokoli pospešenega okrevanja poročajo o manj zgodnjih pooperativnih zapletih. Manj je retence urina in posledične potrebe po kateterizaciji, manj slabosti in bruhanja, manj perioperativne bolečine in manj globoke venske tromboze [6,8,11]. V naši raziskavi smo opazili nizko pojavnost pooperativne retence urina, 5,4 %, potrebo po vsaj enem odmerku antiemetika pri 20 % bolnikov, brez zaznanega primera globoke venske tromboze ali pljučne embolije, kar je primerljivo z dosedanjimi objavami [11].

V. ZAKLJUČKI

Protokol hitre obravnave, ki temelji na uporabi kratkodelujoče spinalne anestezije, multimodalne analgezije in zgodnje mobilizacije, pomembno skrajša

trajanje hospitalizacije ob nespremenjenih minimalnih kriterijih za odpust pacienta (suha preveza pooperativne rane, mobilizacija z berglamo po stopnicah, v primeru kolenskih sklepov dodatno še minimalna pasivna fleksija v operiranem sklepu 90°). Pri tem se zmanjša tudi potreba po dodatnih opioidnih analgetikih pri bolnikih po primarni vstavitvi kolčne ali kolenske endoproteze.

LITERATURA

- [1] Hengartner M, Kiss MO, Massé V, Rousseau P, Lavigne M, Vendittoli PA. SOLIS protocol, a specific anesthesia technique for hip and knee arthroplasty: Clinical results of 906 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2026 May;112(3):104544. doi: 10.1016/j.otsr.2025.104544.
- [2] Fransen BL, Hoozemans MJM, Argelo KDS, Keijser LCM, Burger BJ. Fast-track total knee arthroplasty improved clinical and functional outcome in the first 7 days after surgery: a randomized controlled pilot study with 5-year follow-up. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018 Sep;138(9):1305-1316. doi: 10.1007/s00402-018-3001-2.
- [3] Wainwright TW, Kehlet H. Fast-track hip and knee arthroplasty - have we reached the goal? *Acta Orthop.* 2019 Feb;90(1):3-5. doi: 10.1080/17453674.2018.1550708.
- [4] Learmonth ID, Young C, Rorabeck C. The operation of the century: total hip replacement. *Lancet.* 2007 Oct 27;370(9597):1508-19. doi: 10.1016/S0140-6736(07)60457-7.
- [5] Kievit AJ, van Geenen RC, Kuijjer PP, Pahlplatz TM, Blankevoort L, Schafroth MU. Total knee arthroplasty and the unforeseen impact on return to work: a cross-sectional multicenter survey. *J Arthroplasty.* 2014 Jun;29(6):1163-8. doi: 10.1016/j.arth.2014.01.004.
- [6] den Hertog A, Gliesche K, Timm J, Mühlbauer B, Zebrowski S. Pathway-controlled fast-track rehabilitation after total knee arthroplasty: a randomized prospective clinical study evaluating the recovery pattern, drug consumption, and length of stay. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012 Aug;132(8):1153-63. doi: 10.1007/s00402-012-1528-1.
- [7] Kehlet H. Fast-track hip and knee arthroplasty. *Lancet.* 2013 May 11;381(9878):1600-2. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61003-X.
- [8] Fransen BL, Hoozemans MJM, Argelo KDS, Keijser LCM, Burger BJ. Fast-track total knee arthroplasty improved clinical and functional outcome in the first 7 days after surgery: a randomized controlled pilot study with 5-year follow-up. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018 Sep;138(9):1305-1316. doi: 10.1007/s00402-018-3001-2.
- [9] Jørgensen CC, Kehlet H; Lundbeck Foundation Centre for Fast-track Hip and Knee Replacement Collaborative Group. Role of patient characteristics for fast-track hip and knee arthroplasty. *Br J Anaesth.* 2013 Jun;110(6):972-80. doi: 10.1093/bja/ae505.
- [10] Verburg H, Mathijssen NM, Niesten DD, Verhaar JA, Pilot P. Comparison of Mini-Midvastus and Conventional Total Knee Arthroplasty with Clinical and Radiographic Evaluation: A Prospective Randomized Clinical Trial with 5-Year Follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2016 Jun 15;98(12):1014-22. doi: 10.2106/JBJS.15.00654.
- [11] Hengartner M, Kiss MO, Massé V, Rousseau P, Lavigne M, Vendittoli PA. SOLIS protocol, a specific anesthesia technique for hip and knee arthroplasty: Clinical results of 906 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2026 May;112(3):104544. doi: 10.1016/j.otsr.2025.104544

Mehkotkivna stabilizacija pogačice po totalni kolenski endoprotezi

Matic POVH¹ in Samo NOVAK¹

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska c. 31, 6280 Ankaran

Ključne besede: medialni patelofemoralni ligament, medialni patelotibialni ligament, artroplastika kolena, nestabilna pogačica

I. UVOD

Vloga medialnega patelofemoralnega ligamenta (MPFL) je dobro opredeljena. MPFL opravlja vlogo primarnega stabilizatorja, ki preprečuje lateralni izpah pogačice. Rekonstrukcija MPFL pa predstavlja najpogostejši kirurški poseg pri nestabilnosti pogačice [1]. V zadnjih letih pa se vse več pozornosti namenja tudi drugim medialnim stabilizatorjem pogačice, predvsem medialnemu patelotibialnemu ligamentu (MPTL) in medialnemu patelomeniskalnemu ligamentu (MPML) [2]. Obe strukturi pomembno prispevata k stabilnosti pogačice, zlasti pri približevanju skrajni fleksiji kolena, ko se vpliv MPFL postopoma zmanjšuje [3]. Biomehanske raziskave so pokazale, da ima MPTL pomembno vlogo pri omejevanju lateralnega pomika in nagiba pogačice v fleksiji [4].

Rekonstrukcija MPFL in MPTL izboljša stabilnost pogačice skozi celoten obseg gibanja kolena ter potencialno zmanjša tveganje za ponavljajočo nestabilnost po opravljenem kirurškem posegu. Poleg tega kombinirana rekonstrukcija omogoča bolj fiziološko porazdelitev sil v patelofemoralnem sklepu in lahko prispeva k izboljšanim kliničnim izidom pri izbranih bolnikih [4].

II. PREDSTAVITEV PRIMERA

Predstavljamo primer bolnika s subluksacijo pogačice po vstavitvi totalne endoproteze kolena (angl. *total knee arthroplasty*, TKA), povezano s kronično bolečino in omejenim obsegom gibljivosti (5°–80°). Na Sliki 1 je vidna subluksirana pogačica pri 40° fleksije. Računalniška tomografija (angl. *computer tomography*, CT) po Bergerjevem protokolu ni pokazala nepravilne postavitve ali rotacijske nepravilnosti komponent proteze. Po izključitvi mehanskih vzrokov vezanih na postavitev posameznih komponent TKA je bila sprejeta odločitev za kombinirano rekonstrukcijo MPFL in MPTL z uporabo avtolognih presadkov tetiv mišic semitendinozus in gracilis.

Ker pogačica ni bila preplaščena, je bila dodatno stanjšana za 5 mm (iz začetnih 22 mm na 17 mm), z namenom zmanjšanja napetosti mehkih tkiv.



Slika 1: Predoperativna slika s subluksirano pogačico

III. REZULTATI

Prvi pooperativni dan je imel bolnik pomembno izboljššan obseg gibljivosti (0°–90°) ob minimalni bolečini med gibanjem, kar kaže na zgodnjo uspešnost stabilizacije pogačice ter dobro začetno toleranco mehkih tkiv na opravljeno rekonstrukcijo. V prvih šestih tednih je bila aktivna gibljivost omejena na 0°–90°, dovoljena je bila takojšnja obremenitev operirane spodnje okončine do bolečine z uporabo bergel, kar je omogočilo zgodnjo mobilizacijo z namenom preprečitve togosti sklepa in minimalizirati mišično atrofijo. Po pooperativni rehabilitaciji, ki je vključevala predvsem krioterapijo, aktivacijo stegenske in glutealne mišične mase ter obremenjevanje spodnje okončine do bolečine, z namenom zagotavljanja čim hitrejši pokretnosti pacienta.

Tretji pooperativni dan je bil pacient odpuščen v domačo oskrbo.

Ob kontrolnem pregledu 6 tednov po opravljenem posegu je obseg gibljivosti kolena znašal 0°–120°.



bolečina je popolnoma izzvenela, bolnik pa je samostojno hodil brez pripomočkov za hojo. Na Sliki 2 je vidna maksimalna fleksija ob kontrolnem pregledu. Poleg izboljšanja gibljivosti je bilo klinično opaženo tudi stabilno sledenje pogačice skozi celoten obseg giba, brez znakov subluksacije ali lateralnega zdrsa. Funkcionalni status bolnika se je pomembno izboljšal, kar je omogočilo postopno vključevanje v vsakodnevne aktivnosti brez omejitev. Bolnik je bil s posegom in rezultatom zadovoljen.



Slika 2: Pooperativna slika kolena 6. tednov po operaciji s centralno ležečo pogačico in izboljšano gibljivostjo.

IV. RAZPRAVA

Čeprav sta rekonstrukciji MPFL in MPTL dobro opisani operativni tehniki, je njuna uporaba po TKA razmeroma redka. V tem primeru je bila kirurška intervencija indicirana zaradi persistentne subluksacije pogačice skozi celoten obseg gibljivosti, in ne zgolj v srednji fleksiji, kjer je funkcija MPFL običajno najpomembnejša. Poleg tega novejša raziskave nakazujejo, da lahko kombinirana rekonstrukcija MPFL in MPTL zmanjša pojav ponavljajoče se pooperativne nestabilnosti pogačice ter hkrati zmanjša potrebo po kostnih posegih, kot sta osteotomija tuberositas tibije ali trohleoplastika [5].

Stanjšanje pogačice je verjetno prispevalo k boljšemu izidu, saj je zmanjšalo napetost v lateralnih mehkih tkivih, zlasti med fleksijo, ter omogočilo bolj uravnoteženo delovanje patelofemoralnega sklepa v spremenjenih biomehanskih pogojih po TKA.

Skrbno predoperativno načrtovanje, vključno s CT po Bergerjevem protokolu, je ključno za izključitev malpozicije ali rotacijske nepravilnosti komponent TKA, ki predstavljajo najpogostejši razlog za patelarno nestabilnost po TKA. Natančna analiza rotacije femoralne in tibialne komponente omogoča pravilno indikacijo za mehkotivne rekonstrukcije in preprečuje neustrezno zdravljenje zgolj z mehkotivno augmentacijo v primerih

malpozicije komponent TKA, kjer je razrešitev težav mogoča le z revizijsko artroplastiko [6].

V. ZAKLJUČKI

Čeprav je za oblikovanje dokončnih zaključkov potrebno dolgotrajnejše klinično spremljanje tovrstnih bolnikov z večjim številom vključenih primerov in primerjalnimi študijami, so zgodnji pooperativni rezultati predstavljenega kliničnega primera zelo spodbudni. Kombinirana rekonstrukcija MPFL in MPTL lahko predstavlja učinkovito možnost zdravljenja v skrbno izbranih primerih persistentne nestabilnosti pogačice po TKA ob odsotnosti malpozicije komponent.

Ob izboljšanju obsega gibljivosti in odpravi bolečine že v zgodnjem pooperativnem obdobju naši rezultati nakazujejo tudi potencialno pomembno vlogo dinamične rekonstrukcije medialnih stabilizatorjev pogačice pri bolnikih, kjer mehanski vzroki za nestabilnost niso prisotni. Dodatno lahko kombiniran pristop, ki vključuje MPFL in MPTL, zagotovi boljšo kontrolo pogačice skozi celoten obseg gibanja v primerjavi z izolirano rekonstrukcijo MPFL, kar je posebej pomembno pri bolnikih po TKA, kjer so biomehanski pogoji pogosto spremenjeni.

LITERATURA

- [1] Wilkens OE, Hannink G, van de Groes SAW. Recurrent patellofemoral instability rates after MPFL reconstruction techniques are in the range of instability rates after other soft tissue realignment techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020 Jun;28(6):1919-1931. doi: 10.1007/s00167-019-05656-3.
- [2] Aicale R, Maffulli N. Combined medial patellofemoral and medial patellotibial reconstruction for patellar instability: a PRISMA systematic review. *J Orthop Surg Res.* 2020 Nov 12;15(1):529. doi: 10.1186/s13018-020-02072-z.
- [3] Abbaszadeh A, Saeedi M, Hoveidaei AH, Dadgostar H, Razi S, Razi M. Combined medial patellofemoral ligament and medial patellotibial ligament reconstruction in recurrent patellar instability: A systematic review and meta-analysis. *World J Clin Cases.* 2023 Jul 6;11(19):4625-4634. doi: 10.12998/wjcc.v11.i19.4625.
- [4] Maffulli N, Aicale R, D'Addona A, Young DA, Kader DF, Oliva F. Combined medial patellofemoral and patellotibial reconstruction with soft tissue fixation in recurrent patellar dislocation. *Injury.* 2020 Aug;51(8):1867-1873. doi: 10.1016/j.injury.2020.06.028.
- [5] Martinez-Cano JP, Cuadros JA, Gravini G, Mejia FM. Simultaneous Reconstruction of Medial Patellofemoral and Medial Patellotibial Ligaments. *Video J Sports Med.* 2025 Oct 22;5(5):26350254251379504. doi: 10.1177/26350254251379504.
- [6] Rajgopal A, Sudarshan P, Kumar S, Aggarwal K. Failure modes in malrotated total knee replacement. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023 May;143(5):2713-2720. doi: 10.1007/s00402-022-04569-0.

Klinični primer obravnave pacienta z agenezijo stegenice tipa D po Aitkenu: stopenjski, multidisciplinarni pristop

Urban VADNJAL¹, Samo ROŠKAR^{1,2}, Jurij ŠTALC², René MIHALIČ^{1,2} in Rihard TREBŠE^{1,2}

¹Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran

²Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Korytkova ulica 2, 1000 Ljubljana

Ključne besede: prirojena agenezija stegenice, klasifikacija po Aitkenu, rekonstrukcija kolčnega sklepa, amputacija po Symu, multidisciplinarni pristop, klinični primer.

I. UVOD

Prirojena agenezija stegenice (CFD, angl. *congenital femoral deficiency*) je redka prirojena razvojna nepravilnost skeleta, za katero je značilna delna ali popolna odsotnost stegenice, razlika v dolžini spodnjih okončin ter pridružene deformacije kolena in stopala [1]. Spekter CFD je širok in zajema razlike tako v kostnem kot v mehko tkivnem deficitu. Pojavnost CFD je ocenjena na 2/100.000 živorojenih otrok [1,2]. Večina, 85–90 % primerov CFD je enostranskih, večinoma na desni strani [2]. Okoli 30–60 % primerov CFD je povezanih z drugimi skeletnimi anomalijami, kot so agenezija fibule, deformacije hrbtenice ter različne oblike deformacije stopala (pes equinovarus, pes planovalgus, in oligodaktilija) [3,4]. V literaturi so opisani številni dejavniki tveganja za razvoj CFD, v grobem povezani z obdobjem nosečnosti in porodom (hipoksija, ishemija, sladkorna bolezen, obsevanje, mikrobiološki agensi, kemični agensi, hormonske motnje, mehanske in termične poškodbe) [5,6].

Natančna etiologija CFD ostaja neznana. Zaradi redkosti patologije na eni strani kot raznolikosti njene manifestacije ni poznane enotne klasifikacije patologije in enotnega protokola zdravljenja. Med klasifikacijskimi sistemi CFD različne objave uporabljajo klasifikacijo po Aitkenu, Pappasu, Amstutzu, Paleyu, Lloyd Robertsu ter Gillespieju/Torodeju [7]. Klasifikacija po Aitkenu je bila razvita leta 1968, je ena najpogostejše uporabljenih klasifikacij in temelji izključno na radiološkem izgledu [8]. Glede na radiološki izgled nepravilnosti klasifikacija po Aitkenu oblike CFD deli na štiri tipe: za tip A je značilna blaga prikrasava stegenice z ohranjeno femoralno glavo in varus deformacijo; tip B se od njega loči s prisotnostjo femoralne glave z zmerno displastičnim acetabulumom, pri katerem je lahko prisotna psevdartroza; pri tipu C je acetabulum odsoten in je možna psevdartroza; tip D pa zaznamuje popolna odsotnost femoralne glave in proksimalnega femurja v kombinaciji s izrazito displastično in skrajšano stegenico [1,9].

Zdravljenje CFD je individualizirano in odvisno od stopnje femoralne insuficience, stabilnosti kolka ter pridruženih deformacij stopala [9]. Možnosti zdravljenja CFD obsegajo intervencije od podaljševanja uda in kompleksne rekonstrukcije do amputacije s protetično rehabilitacijo, pri čemer je cilj najboljši možen funkcionalni izid [1]. V hudih primerih z nerekonstruiranimi deformacijami stopala in nestabilnimi sklepi Symova amputacija zagotavlja zanesljivo protetično oskrbo ter stabilen, neboleč krn [10]. Novejši sistematični pregledi in kohortne študije kažejo, da Symova amputacija pri otrocih s CFD omogoča visoko stopnjo uporabe proteze, hojo ter udeležnost v dnevnih dejavnostih ob nizki stopnji zapletov. Namen tega prispevka je predstaviti klinični primer stopenjske obravnave CFD tipa D po Aitkenu pri najstniku in poudariti pomen multidisciplinarnega, stopenjskega pristopa zdravljenja.

II. OPIS PRIMERA

Pacient je bil v času obravnave mladoleten, zato sta on in njegova mati (zakonita skrbnica) podala izrecno pisno soglasje za uporabo anonimiziranih kliničnih podatkov pacienta v raziskovalne namene. Vsi izvedeni postopki so bili v skladu z etičnimi standardi, odobrenimi s strani institucijskega etičnega odbora, ter so bili usklajeni z Helsinško deklaracijo iz leta 1964 in njenimi kasnejšimi dopolnitvami oziroma primerljivimi etičnimi standardi.

Šestnajstletni najstnik z desnostransko CFD tipa D po Aitkenu ter pridruženo deformacijo stopala je bil leta 2022 napoten v našo bolnišnico. Ob prvem pregledu je od zgodnjega otroštva naprej uporabljal ortoprotezo, ki mu je omogočala osnovno gibanje. Poročal je o neugodju v predelu stopala in pete. Osnovni problem glede nosilnosti desne spodnje okončine v luči nameščanja proteze je bila nestabilnost kolka. Na začetnem rentgenu je bilo moč razbrati fibulo in tibio z rudimentarno osifikacijo v višini velikega trohantra. Pacient je za natančnejšo opredelitev anatomije in nadaljnje načrtovanje opravil CT, MRI in CT-angiografijo kolkov ter levega spodnjega uda. Po opravljeni slikovni diagnostiki je bila izvedena diaskopija za analizo teleskopskega premika v desnem spodnjem udu, ki je znašal približno 5 cm. Med tibio in



rudimentarnim velikim trohanterjem ni bil zaznan noben pomemben premik. Multidisciplinarni konzilij (protetično-ortotskega inženirja, radiologa, ortopeda artroplastika usmerjenega v kolčno patologijo in ortopeda subspecializiranega za patologijo gležnja in stopala ter fiziatra) je po pregledu pacienta in dokumentacije skupaj s pacientom sprejel odločitev, da bil najboljši funkcionalni izid ter največje udobje dosegljivo z rekonstrukcijo desnega kolčnega sklepa z vstavitvijo endoproteze ter amputacijo stopala in gležnja, ki bi omogočila dolg krn z distalno osno obremenitvijo.

Načrtovana je bila dvostopenjska obravnava. V prvem aktu totalna artroplastika kolka (THA, angl. *total hip arthroplasty*) z individualno, po meri pacientove anatomije stegenice izdelano femoralno komponento ter standardno brezementno acetabularno komponento. Rekonstrukciji desnega kolčnega sklepa je sledila Symova amputacija gležnja in stopala z namenom oblikovanja primerne krna za nadaljnjo protetično obravnavo.

Aprila 2024 je bila opravljena rekonstrukcija desnega kolka z brezementno, primarno acetabularno ponvico Allofit (Zimmer Biomet, Warsaw, Indiana, ZDA) in individualno izdelano brezementno femoralno komponento, vstavljeno v ostanke distalne femoralne epifize in tibije (Waldemar Link GmbH & Co., Hamburg, Nemčija). Za zagotovitev večje površine prirastišča je bila v istem posegu opravljena deza obeh kosti. Pacient je bil odpuščen pet dni po posegu. Mesec dni po posegu je bil brez pomembnih bolečin v kolku in bil nadaljnje sprejet v rehabilitacijski center.

Julija 2024 je bila opravljena amputacija po Symu. Po zacetitvi pooperativnih ran je opravil intenzivno fizioterapijo z namenom okrepitve miškulature ter oblikovanja ustrezno dozorelega krna, nadaljnje pa na ortoprotetično oskrbo. Začetna ortoproteza je bila prilagojena krmu in pozneje zamenjena z lažjo individualno izdelano ortoprotezo.

Leto dni po zadnjem posegu sta pacient in njegova družina poročala o znatnem funkcionalnem izboljšanju, vključno z zmožnostjo hoje brez bolečin in brez pripomočkov za hojo ter izboljšani samopodobi ter socialni interakciji.

III. RAZPRAVA

Klinični primer prikazuje, da je z multidisciplinarnim, stopenjskim pristopom obravnave redke oblike prirojene nepravilnosti spodnje okončine moč doseči dober funkcionalni izid pri pacientu.

Zdravljenje CFD predstavlja izziv subspecialistom, usmerjenim v mišičnoskeletno patologijo z avloj redkosti patologije in ponavadi prisotne kompleksnosti deformacije. V splošnem je v literaturi opisano, da je smiselno poskusiti s podaljšavo prizadete okončine kadar je razlika v dolžini spodnjih okončin manjša od 20 cm in je prisoten stabilen kolčni sklep, medtem ko je pri razliki, večji od 20 cm, primarno potrebno zagotoviti stabilen kolčni sklep, kar omogoči obremenljivost prizadete

okončine ob nadaljnjem ortoprotetičnem zdravljenju [2]. V skladu s tem je v predstavljenem kliničnem primeru bila za vse nadaljnje korake ključna rekonstrukcija desnega kolčnega sklepa, pri čemer je desna spodnja okončina pridobila na obremenljivosti pri uporabi zunanje ortoproteze. Po drugi strani pa naš primer kaže, da se je s pacientom potrebno odkrito pogovoriti o elementih, ki so potrebni za funkcijo in kateri od prisotnih elementov so potencialno moteči. Novejši sistematični pregledi in kohortne študije kažejo, da Symova amputacija pri otrocih s CFD omogoča visoko stopnjo uporabe proteze, hojo ter udeležnost v dnevnih dejavnostih ob nizki stopnji zapletov [10]. V našem primeru je amputacija afunkcionalnega gležnja in stopala omogočila oblikovanje ustreznega ležišča za nadaljnje ortoprotetično zdravljenje in s tem boljši funkcionalni izid zdravljenja.

IV. ZAKLJUČKI

Predstavljen klinični primer prikazuje, da je za optimalen funkcionalni izid kompleksne patologije razvoja mišičnoskeletnega sistema pomembno sodelovanje multidisciplinarne skupine strokovnjakov (protetično-ortotskega inženirja, ortopedov različnih subspecialnosti, radiologov, inženirjev za izdelavo za patologijo prilagojenih vsadkov, fiziatra in fizioterapevtov) ter planiranje z vključevanjem pacienta in njegove bližnje okolice.

LITERATURA

- [1] Nossor SB, Hollin IL, Phillips J, Franklin CC. Proximal femoral focal deficiency/congenital femoral deficiency: evaluation and management. *JAAOS - J Am Acad Orthop Surg.* 2022 Jul 1; 30 (13): e899.
- [2] Özdemir M, Kavak RP, Ceylan AH, Cevval ZK. Isolated unilateral proximal focal femoral deficiency presenting in a young woman. *BMJ Case Rep CP.* 2020 Jan 1; 13 (1): e232714.
- [3] Thomas M, Tosson A, Taher M. Unilateral isolated proximal femoral focal deficiency in an egyptian infant and review of literature. *Journal of Child Science* 2020; 10: e126–ee33.
- [4] Otera Y, Morokuma S, Yumoto Y, Hojo S, Gotoh T, Hara T, Ushijima Y, Nakashima Y, Tsukimori K, Wake N. Prenatal three-dimensional images of proximal focal femoral deficiency produced by helical computed tomography. *Fetal Diagnosis Therapy* 2009; 25: 349–53.
- [5] Gerscovich EO, Sekhon S, Loehfelm TW, Greenspan A. Fetal ultrasound: early diagnosis and natural evolution of proximal femoral focal deficiency. *J Ultrason.* 2017 Dec; 17 (71): 294–8.
- [6] Filly AL, Robnett-Filly B, Filly RA. Syndromes with focal femoral deficiency: strengths and weaknesses of prenatal sonography. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med.* 2004 Nov; 23 (11): 1511–6.
- [7] Gillespie R, Torode IP. Classification and management of congenital abnormalities of the femur. *J Bone Joint Surg Br.* 1983 Nov;65(5):557–68.
- [8] Louer CR, Scott-Wyand P, Hernandez R, Vergun AD. Principles of amputation surgery, prosthetics, and rehabilitation in children. *J Am Acad Orthop Surg.* 2021 Jul 15; 29 (14): e702–13.
- [9] Alldredge RH, Thompson TC. The technique of the Syme amputation. *J Bone Joint Surg Am.* 1946 Jul; 28: 415–26.
- [10] Hosny GA, Elsheikh AA. Proximal femoral focal deficiency/congenital femoral deficiency: a proposal for a new classification. *J Pediatr Orthop B.* 2025 Jul 1;34(4):362–366. doi: 10.1097/BPB.0000000000001241.





RAZISKOVALNI DAN

Skeniraj in razišči.

ZBORNICI RAZISKOVALNIH DNI

DIGITALNI ARHIV

Prelistaj in odkrij prispevke raziskovalcev iz preteklih let.



2010

PRETEKLI RAZISKOVALNI DNEVI

DANES

• NAPREJ

SKENIRAJ ZA ARHIV



RAZISKOVANJE SE NE KONČA Z DOGODKOM.



13. raziskovalno srečanje OBV je namenjeno predstavitvi aktualnih tem na področju ortopedske kirurgije in znanstveno-raziskovalnih dosežkov zaposlenih ter zunanjih sodelavcev, ki so vključeni v raziskovalno delo te ustanove. Vsak predavatelj predstavi najnovejša spoznanja iz klinične prakse, registra artroplastike Slovenije ter rezultate laboratorijskih analiz in s tem prispeva k osvežanju vseh udeležencev o najnovejših smernicah zdravljenja ortopedskih bolnikov.

Srečanje je odprtega tipa, namenjeno vsem, ki jih zanimajo razvoj, inovacije in raziskovanje v ortopediji.

ORTOPEDSKA BOLNIŠNICA VALDOLTRA
Jadranska cesta 31, 6282 Ankaran
t. +386 5 6696 100
f. +386 5 6257 185
valdoltra@ob-valdoltra.si
www.ob-valdoltra.si

