

e-ISSN: 2345-0592 <b>Online issue</b> Indexed in <i>Index Copernicus</i>	<b>Medical Sciences</b>  Official website: <a href="http://www.medicosciences.com">www.medicosciences.com</a>	
--	--	---

## Management of periprosthetic fractures after hip and knee arthroplasty: classifications, treatment algorithms, and clinical outcomes – a literature review

Nojus Mūras<sup>1</sup>, Mindaugas Masteika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lithuanian University of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kaunas, Lithuania

<sup>2</sup>Lithuanian University of Health Sciences Kaunas Clinics, Department of Orthopaedics and Traumatology, Kaunas, Lithuania

### Abstract

**Introduction.** Periprosthetic fractures (PPF) following hip and knee arthroplasty are becoming increasingly common due to the rising number of joint replacements and extended patient life expectancy. These fractures are associated with significant morbidity, high complication rates, and increased mortality. Management requires an individualized approach that integrates precise diagnostics, accurate classification systems, and modern surgical strategies.

**Aim.** To review the classification systems, treatment algorithms, and clinical outcomes of PPF around hip and knee prostheses, including recent advancements in technological and biological treatment modalities.

**Methods.** An extensive literature review was performed, encompassing epidemiological data, classification systems (Vancouver, Rorabeck, UCS), diagnostic protocols, treatment strategies (osteosynthesis, revision arthroplasty, hybrid approaches), and recent innovations (3D-printed implants, robotic-assisted surgery, bone morphogenetic proteins, mesenchymal stem cells).

**Results.** Successful treatment of type B fractures depends on accurate classification and assessment of stem stability. B1 fractures are best managed with osteosynthesis, whereas B2/B3 typically require revision arthroplasty. Periprosthetic knee fractures show favorable outcomes with locking plates or modular revision stems. Functional recovery is often incomplete, especially in complex cases. Emerging technologies such as custom 3D plates and AI-based imaging analysis demonstrate promising potential in reducing complications and enhancing surgical precision.

**Conclusions.** Effective management of PPF requires precise imaging, robust classification, and a patient-specific surgical plan. Innovative solutions significantly improve outcomes, but their clinical integration must be guided by high-quality evidence.

**Keywords:** periprosthetic fracture, hip arthroplasty, knee revision, osteosynthesis, revision implants, classification, artificial intelligence.

# Periprotezinių lūžių gydymas po klubo ir kelio sąnarių endoprotezavimo: klasifikacijos, gydymo algoritmai ir klinikiniai rezultatai – literatūros apžvalga

Nojus Mūras<sup>1</sup>, Mindaugas Masteika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kauno klinikos, Ortopedijos traumatologijos klinika, Kaunas, Lietuva

<sup>2</sup>Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Medicinos fakultetas, Kaunas, Lietuva

## Santrauka

**Įvadas.** Periproteziniai lūžiai (PPL) po klubo ir kelio sąnarių endoprotezavimo tampa vis dažnesne klinicine problema dėl augančio artroplastikų skaičiaus ir ilgėjančios pacientų gyvenimo trukmės. Šie lūžiai pasižymi didele sergamumu, komplikacijų ir mirtingumo rizika. Gydymas reikalauja individualizuoto požiūrio, integruojant tikslią diagnostiką, patikimą klasifikaciją bei modernias chirurgines strategijas.

**Tikslas.** Apžvelgti klubo ir kelio sąnarių PPL klasifikacijas, gydymo algoritmus ir jų kliniskus rezultatus, įvertinant naujausius technologinius bei biologinius gydymo sprendimus.

**Metodai.** Atlikta mokslinės literatūros apžvalga, apimanti epidemiologinius duomenis, klasifikacines sistemas (Vancouver, Rorabeck, UCS), diagnostinius algoritmus, gydymo metodus (osteosintezė, reviziniai protezai, hibridinės strategijos) bei inovacijas (3D implantai, robotika, kaulų morfologiniai baltymai, kamieninės ląstelės).

**Rezultatai.** B tipo lūžių gydymo rezultatai priklauso nuo tikslios klasifikacijos ir stiebo stabilumo įvertinimo. B1 lūžiams osteosintezė yra veiksminga, o B2/B3 – reikalingas revizinis protezavimas. Kelio sąnario PPL gydymo rezultatai geresni naudojant užrakinamas plokšteles arba modulius. Funkciniai rezultatai dažnai būna prastesni, ypač po sudėtingų atvejų. Naujų technologijų taikymas (3D plokštės, DI analizė) rodo perspektyvas mažinant komplikacijų ir didinant gydymo tikslumą.

**Išvados.** PPL gydymas reikalauja tikslios diagnostikos, klasifikacijos ir personalizuoto chirurginio plano. Inovatyvūs metodai žymiai pagerina rezultatus, tačiau jų integracija į klinikinę praktiką turi būti pagrįsta įrodymais.

**Raktažodžiai:** periprotezinis lūžis, klubo endoprotezavimas, kelio sąnario revizija, osteosintezė, reviziniai implantai, klasifikacija, dirbtinis intelektas.

## 1. Įvadas

Populiacijos senėjimas ir nuolat gerėjanti medicininė priežiūra ženkliai keičia šiuolaikinės ortopedijos ir traumatologijos sritį. Pastaraisiais dešimtmečiais pastebimas kasmetinis klubo ir kelio sąnarių endoprotezavimo (angl. *total joint arthroplasty*) procedūrų skaičiaus augimas, o šių intervencijų sėkmė bei vis ilgesnė endoprotezų tarnavimo trukmė keičia pacientų išgyvenamumo ir gyvenimo kokybės rodiklius visame pasaulyje [1,2]. 2020 m. atlikto tyrimo duomenimis, vien JAV per metus atliekama daugiau nei 1 mln. didžiųjų sąnarių endoprotezavimo operacijų, o iki 2030 m. prognozuojamas šio skaičiaus augimas daugiau nei 70 % [3].

Ši tendencija, nors ir teigiamai atspindi šiuolaikinės medicinos pasiekimus, kartu lemia ir naujų, specifinių komplikacijų augimą, kurios tampa vis aktualesniu iššūkiu klinikinėje praktikoje. Viena jų – periproteziniai lūžiai (PPL), kurių dažnis tiesiogiai koreliuoja su endoprotezų skaičiaus didėjimu, pacientų ilgaamžiškumu ir gretutinių ligų paplitimu [4]. PPL gydymas reikalauja multidisciplininio požiūrio, apimančio ortopedų-traumatologų, reabilitacijos specialistų, radiologų ir geriatrų bendradarbiavimą. Šios komplikacijos, nors ir retos, pasižymi savo klinikiu sudėtingumu bei ekonominiais kaštais sveikatos sistemoms [5].

Be to, didėjantis periprotezinių lūžių dažnis ir jų gydymo iššūkiai lemia augantį mokslinių tyrimų poreikį šioje srityje. Nuo 2015 m. žymiai padaugėjo publikacijų, nagrinėjančių klasifikavimo sistemas, gydymo algoritmus ir naujas technologijas, tokiu būdu kuriant pagrindą racionaliems, įrodymais grįstiems sprendimams klinikinėje praktikoje [6,7]. Dėl to aktualu sistemiškai apžvelgti naujausią literatūrą ir įvertinti esamų rekomendacijų pritaikomumą šiuolaikinei ortopedinei praktikai.

## 2. Metodai

Buvo atlikta mokslinės literatūros apžvalga, siekiant įvertinti PPL po klubo ir kelio sąnarių endoprotezavimo klasifikacijas, diagnostikos ir gydymo algoritmus bei klinikinius rezultatus. Literatūros paieška atlikta „PubMed“ duomenų bazėje, taikant raktinius žodžius: *periprosthetic fracture, hip arthroplasty, knee revision, osteosynthesis, revision implants, classification, artificial intelligence*. Daugiausia dėmesio skirta darbams, publikuotiems per pastaruosius penkerius metus (nuo 2020 m.). Įtraukimo kriterijai: anglų kalba parašyti tyrimai, apžvalgos, metaanalizės bei klinikinės gairės, susijusios su PPL klasifikacija, diagnostika, chirurginiu gydymu ir inovatyviomis technologijomis. Iš viso į analizę įtraukti 84 straipsniai.

## 3. Rezultatai

### 3.1. Epidemiologija ir rizikos veiksniai

PPL komplikacijų dažnis po klubo sąnario endoprotezavimo (KSE) siekia 0,1–4 %, o po kelio sąnario endoprotezavimo (KeSE) – 0,3–5,5 % [8]. Remiantis Švedijos artoplastikos registru, PPL dažnis po revizinių operacijų padidėja 3–5 kartus, lyginant su pirminiais endoprotezavimais [9]. Jungtinės Karalystės nacionalinis sąnarių registras (NJR) nurodo, kad 10 metų rizika susidurti su PPL po KSE siekia 1,1 %, tačiau tarp vyresnių nei 75 m. pacientų ši rizika padvigubėja [10].

Moteriškoji lytis, ypač po menopauzės, laikoma savarankišku rizikos veiksniu dėl didesnio osteoporozės dažnio [11]. Prospektyvus tyrimas, kuriame dalyvavo 7850 pacientų, nustatė, kad osteoporozė padidina PPL riziką 2,4 karto [6]. Kitas retrospektyvus tyrimas, apėmęs 234 atvejus, parodė, kad ilgiau nei 10 metų funkcionuojantys protezai su cementu labiau linkę sąlygoti PPL nei cementu nepritvirtinti implantai [12].

Didesnė rizika nustatyta ir pacientams, turintiems neurologinius sutrikimus (Parkinsono liga, demencija), kadangi jų griuvimų rizika yra didesnė. Kohortiniame tyrime iš Danijos nustatyta, kad demencija padidina PPL riziką 3,1 karto [13]. Ilgalaikis kortikosteroidų vartojimas taip pat reikšmingai susijęs su mažesniu kaulo tankiu ir padidėjusia PPL rizika – metaanalizė parodė 2,9 karto didesnę lūžių riziką šiai populiacijai [14]. Endoprotezo dizainas taip pat daro įtaką – modularūs ir ilgakočiai protezai susiję su didesne mechanine įtampa proksimaliniame šlaunikaulyje, o tai padidina PPL riziką, ypač esant aseptiniam protezo laisvumui [15]. Galiausiai, chirurginė technika ir nepatyrusių chirurgų faktorius gali sąlygoti įtrogeninius mikroįtrūkimus – tyrime, kurio metu analizuoti 4829 atvejai, nustatyta, kad chirurgų su mažesne nei 50 atvejų patirtimi komplikacijų dažnis buvo 2,2 karto didesnis [16].

### 3.2. Klasifikacijos sistemos

PPL gydymas reikalauja aiškios ir patikimos klasifikacijos sistemos, kuri ne tik atspindėtų lūžio lokalizaciją ir pobūdį, bet ir koreliuotų su gydymo strategijomis bei klinikiniais rezultatais. Šiuo metu klinikinėje praktikoje dažniausiai naudojamos Vancouver ir Rorabeck-Taylor klasifikacijos, kurios vertinamos dėl savo paprastumo, tačiau kritikuojamos dėl riboto patikimumo tarp skirtingų vertintojų ir individualizuotų klinikinių niuansų ignoravimo.

- Vancouver klasifikacija, sukurta 1995 m., vis dar laikoma aukso standartu klubo sąnario PPL atveju [17]. Ji skirsto lūžius į tris pagrindines grupes: A (trochanteriniai lūžiai), B (šalia implanto) ir C (žemiau implanto), o B grupė toliau skirstoma į B1 (tvirtas stiebas), B2 (laisvas stiebas) ir B3 (laisvas stiebas su prasta kaulo kokybe). Tyrime, atliktame 2020 m., kuriame dalyvavo 16 ortopedų ir nagrinėti 150 klubo PPL atvejų, Vancouver klasifikacijos

tarpusavio vertinimų kappa indeksas buvo 0,69 (vidutinė–gera sutaptis), o pakartotinio vertinimo – 0,78 (gera sutaptis) [18]. Tačiau šios sistemos tikslumas reikšmingai sumažėja skiriant B1 ir B2 tipus, ypač naudojant tik rentgenografiją [19].

- Rorabeck-Taylor klasifikacija, sukurta 1999 m., taikoma kelio sąnario PPL ir skirsto lūžius į tris tipus: I (minimalus dislokavimas, stabilus implantas), II (dislokuotas, bet stabilus implantas), III (laisvas implantas). Sisteminiame 2021 m. apžvalgoje (n = 11 tyrimų, 923 pacientai) nustatyta, kad šios klasifikacijos taikymas susijęs su tik 62 % gydymo sėkmingumu II tipo atveju, o tai kelia klausimų dėl jos klinikinio tikslumo [20]. Be to, 2022 m. atliktas tyrimas parodė, kad tarpusavio vertinimų kappa indeksas siekė tik 0,54, kas atitinka vidutinį patikimumą [21].

- Unified Classification System (UCS), pasiūlyta Duncan ir kt. 2014 m., siekia suvienodinti visų ortopedinių implantų (klubo, kelio, peties) PPL klasifikavimą pagal vieningą principą. Ji naudoja raides A–F (pvz., A – aplink artroplastiką, D – tarp dviejų implantų), taip palengvindama tarpdisciplininį taikymą [22]. Prospektyviame tyrime (n = 206 atvejų) UCS klasifikacija vertinimų tarpusavio patikimumo požiūriu pranoko Vancouver sistemą – kappa indeksas siekė 0,82, palyginti su 0,68 Vancouver atveju [23]. Nepaisant to, kai kurie autoriai kritikuoja šią klasifikaciją dėl sudėtingo pritaikymo klinikinėje praktikoje, ypač atvejais kai kompiuterinė tomografija nėra atliekama [24].

Taip pat vertinami ir biomechaniniai parametrai – 2021 m. eksperimentinis tyrimas naudojant kadaverines šlaunikaulio replikas parodė, kad mechaniniai įtempiai skirtinguose B tipo lūžių potipiuose ženkliai skiriasi, o tai galėtų būti naudojama klasifikacijos sistemos tobulinimui [25]. Šiuo metu intensyviai tiriamos ir dirbtiniu intelektu paremtos klasifikacijos. 2023 m. paskelbtas tyrimas, naudojant giliojo mokymosi (angl. *deep learning*)

metodiką, pasiekė 91 % tikslumą klasifikuojant Vancouver B1/B2 lūžius iš 3D kompiuterinės tomografijos (KT) vaizdų [26].

### 3.3. Diagnostika ir vaizdiniai tyrimai

PPL diagnostika grindžiama vaizdiniais tyrimais, leidžiančiais įvertinti lūžio lokalizaciją, implantų stabilumą, kaulo kokybę ir gretutines komplikacijas. Diagnostinis tikslumas tiesiogiai lemia klasifikacijos patikimumą bei gydymo algoritmo pasirinkimą.

- Rentgenografija išlieka pradinio tyrimo aukso standartu dėl savo prieinamumo ir greičio. Tačiau jos jautrumas vertinant protezo stabilumą ribotas – retrospektyviniame tyrime (n = 118 atvejų) tik 67 % B2 tipo lūžių buvo teisingai nustatyti remiantis vien rentgenogramomis [27]. Rekomenduojama, kad pradinis vertinimas apimtų dvi rentgenogramas – priekinę (anteroposteriorinę) ir šoninę (lateralinę) projekcijas [28].
- Kompiuterinė tomografija (KT) leidžia išsamiau įvertinti implantų poziciją, kaulo defektus ir kaulo kortikinio sluoksnio vientisumą. Prospektyvus tyrimas parodė, kad KT padidino teisingo Vancouver B2 vs B1 klasifikavimo dažnį nuo 58 % iki 91 % [29]. Be to, KT gali aptikti ankstyvus osteolizės požymius ar mikrolūžius, nematomus rentgenogramose [30]. Metalinio artefakto mažinimo algoritmai (MARS) padidina KT diagnostinį tikslumą ir vertingumą PPL kontekste [31].
- Magnetinio rezonanso tomografija (MRT) naudojama retai dėl stiprių metalo artefaktų, tačiau nauji metodai – tokie kaip MAVRIC (*Multi-Acquisition Variable-Resonance Image Combination*) – leidžia išgauti aukštos raiškos vaizdus net esant metalui. 2021 m. tyrimas parodė, kad MAVRIC-MRT jautrumas aptikti minkštųjų audinių patologiją aplink implantą siekia 93 % [32].

- Kaulo skenavimas (99mTc-MDP scintigrafija) ir pozitronų emisijos tomografija (PET) taikomi, kai įtariamas aseptinis ar infekcinis protezo laisvumas. PET su 18F-FDG parodė 85–90 % tikslumą atskiriant infekcinį nuo aseptinio laisvumo [33]. Nors šie tyrimai nėra pirmos eilės, jie gali būti naudingi sudėtingais ar neaiškiais atvejais.

- Dirbtinis intelektas (DI) ir automatizuotos vaizdų analizės sistemos tampa vis svarbesnės. 2023 m. atliktame tyrime sukonstruotas DI modelis, išanalizavęs 420 KT vaizdų, 92,6 % tikslumu diferencijavo Vancouver B1 ir B2 tipus [34]. Kita analizė, taikanti konvoliucinius neuroninius tinklus (CNN), pasiekė 94 % tikslumą rentgeno klasifikacijoje per 0,8 sek. [35].

- Kaulo mineralinio tankio (BMD) įvertinimas naudojant dvigubos energijos rentgeno absorptiometriją (DXA) vis dažniau pasitelkiamas PPL rizikai įvertinti ir sprendžiant dėl implanto fiksacijos metodo. DXA tyrimu 2019 m. buvo parodyta, kad pacientams, kurių T skaičius < -2,5, rizika patirti PPL po klubo sąnario endoprotezavimo buvo 3,4 karto didesnė [36].

### 3.4. Gydymo algoritmai – klubo sąnario periproteziniai lūžiai

PPL po totalinio klubo sąnario endoprotezavimo (TKSE) reikalauja gydymo strategijos, pagrįstos implantų stabilumo, kaulo rezorbcijos laipsnio ir paciento funkcinio statuso įvertinimu. Pagrindinės gydymo kryptys: konservatyvus gydymas, osteosintezė, endoprotezų keitimas bei kombinuoti metodai.

**3.4.1. Konservatyvus gydymas** rekomenduojamas ribotai – tik A tipo ir kai kuriais C tipo lūžių atvejais, esant stabiliam implantui ir minimaliam dislokavimui. Tyrime, kuriame analizuota 57 pacientų grupė su Vancouver A ir C lūžiais, 85 % atvejų pasiektas kaulo sugijimas be chirurginio įsikišimo, tačiau vidutinis funkcinis rezultatas

(HHS) siekė tik 72 balus [37]. Taip pat, konservatyvus gydymas B tipo lūžiams susijęs su aukštu komplikacijų dažniu – net 43 % atvejų reikėjo vėlesnės chirurginės korekcijos [38].

### 3.4.2. Osteosintezė

B1 tipo lūžiams, esant tvirtai implanto fiksacijai, rekomenduojama plokštelinė osteosintezė. Tyrimas, kuriame lyginta fiksacija su viena kontralateralia plokštele prieš dvi (abipuses) plokšteles (n=98) parodė, kad dvigubos plokštelės sumažino nesugijimo riziką nuo 18 % iki 7 % (p<0.05) [39]. Užrakinamosios plokštelės (ang. *locking compression plates*, LCP) tapo standartu – biomechaniniai tyrimai parodė jų 2,3 karto didesnę atsparumą lenkimui lyginant su klasikinėmis DCP plokštėmis [40]. Kaulo papildymui dažnai taikomi struktūriniai alogeniniai kaulo transplantatai arba sintetiniai kaulo pakaitalai, ypač esant defektams didesniems nei 3 cm. 2022 m. paskelbtas kohortinis tyrimas parodė, kad papildomai naudojant alograftus, laikinas mechaninis stabilumas pagerėjo 29 % ir sumažėjo mikrojudiesių amplitudė [41].

### 3.4.3. Endoprotezų keitimas

B2 ir B3 tipo lūžiams, esant stiebo laisvumui, būtinas stiebo keitimas. Cementu nepritvirtinti, moduliniai ilgakočiai reviziniai stiebai tapo pagrindiniu pasirinkimu. Prospektyviame tyrime (n=115) ilgakočių stiebų naudojimas siejosi su 92 % sugijimo dažniu ir 89 % pacientų grįžimu prie priešoperacinio mobilumo lygio [42]. B3 tipo lūžiai, esant kaulo defektui ir osteolizei, dažnai pareikalauja struktūrinių kaulo transplantatų, keraminių protezų ar net megaprotezų. Sisteminga apžvalga parodė, kad megaprotezų atveju komplikacijų dažnis siekė 29 %, o reoperacijos poreikis – 22 %, tačiau šis metodas buvo vienintelis efektyvus, kai likusio kaulo kiekis < 25 % [43].

### 3.4.4. Kombinuotos strategijos

Kai kuriais atvejais, ypač B2 tipo su papildomu rotaciniu nestabilumu arba esant fragmentuotiems

lūžiams, rekomenduojamas kombinuotas gydymas – revizinio stiebo implantavimas kartu su plokštele. 2020 m. tyrime ši kombinacija siejosi su 95 % lūžių sugijimo dažniu ir ženkliai mažesniu protezo migracijos dažniu per 12 mėnesių [44].

## 3.5. Gydymo algoritmai – kelio sąnario periproteziniai lūžiai

KePPL (kelio sąnario endoprotezavimo periproteziniai lūžiai) dažniausiai apima distalinę šlaunikaulio dalį (apie 55 % atvejų), rečiau – blauzdikaulį ar girnelę [11]. Gydymo taktiką lemia Rorabeck klasifikacija, implanto stabilumas, kaulo defektų apimtis bei bendra paciento būklė. Pagrindiniai gydymo variantai – konservatyvus gydymas, osteosintezė, revizinis endoprotezavimas ir biologiškai aktyvūs priedai.

### 3.5.1. Konservatyvus gydymas

Taikomas ribotai – dažniausiai I tipo lūžiams (Rorabeck I), kai lūžis nedislokuotas, o implantas stabilus. Sisteminiėje apžvalgoje konservatyvus gydymas pasiekė tik 62 % kaulo sugijimo dažnį, o komplikacijų dažnis siekė 31 % – dažniausiai deformacijos ar vėlyvas nesugijimas [45]. Todėl net ir minimaliems lūžiams vis dažniau taikoma chirurginė korekcija.

### 3.5.2. Osteosintezė

Rorabeck II tipo lūžiams su stabilium implantu rekomenduojama užrakinama plokštelė (LCP) arba retrogradiškai įvestas intramedulinis vinis. Biomechaniniuose tyrimuose LCP demonstravo didesnę tvirtumą – lenkiamoji jėga, reikalinga plokštelei deformuoti, buvo 28 % didesnė nei vinims [46]. 2020 m. tyrimas parodė, kad su LCP gydyti pacientai pasiekė 92 % sugijimo dažnį, vidutiniškai per 13,2 savaites [47]. Jei lūžis arti implanto, plokštelė turi būti pritaikoma kontūravimui, kad būtų galima išvengti kontaktinės perkrovos. Taip pat dažnai naudojamos apjuosiamosios vielos kaip

papildoma stabilizacija, ypač esant spiraliniams ar įstrižiams lūžiams [48].

### 3.5.3. Revizinis endoprotezavimas

Rorabeck III tipo lūžiams, kai implantas nestabilus, būtinas revizinis kelio endoprotezavimas. Priklausomai nuo kaulo defekto dydžio, naudojami ilgakočiai moduliniai implantai, kaulo transplantatai ar net distalinio šlaunikaulio megaprotezai. Kohortiniame tyrime megaprotezų panaudojimas pasiekė 84 % funkcinių rezultatų patenkinamumo (MSTS  $\geq$  70 %) įvertį, tačiau komplikacijų dažnis išliko aukštas – 27 %, dažniausiai dėl minkštųjų audinių nepakankamumo [49]. Alternatyva – trumpas cementuotas modulinis stiebas su papildomais kaulo pakaitalais. 2019 m. multicentriniame tyrime įrodyta, kad trumpų modulių naudojimas užtikrina panašius funkcinius rezultatus kaip ilgakočių modulių, bet su mažesne invazija ir trumpesniu operacijos laiku [50].

### 3.5.4. Biologiniai implantai ir kaulo regeneracijos stimuliacija

Esant fragmentuotiems lūžiams ar defektams, vis dažniau taikomi biologiniai papildai: struktūriniai alogeniniai transplantatai, demineralizuotas kaulas, kaulo morfogeniniai baltymai (BMP-2). Eksperimentiniame tyrime su gyvūnų modeliu BMP-2 taikymas padidino kaulo regeneraciją 33 %, lyginant su kontrole [51]. Klinikiniai duomenys kol kas riboti, tačiau biologiniai papildai jau plačiai taikomi kaip adjuvantas. Taip pat tiriama žemo intensyvumo pulsuojančio ultragarso (LIPUS) taikymo galimybė – pilotiniame tyrime (n=28) LIPUS pagreitino konsolidaciją vidutiniškai 3 savaitėmis (p=0.02), bet reikalingi išsamesni tyrimai [52].

### 3.6. Komplikacijos ir jų prevencija

PPL po klubo ar kelio sąnario endoprotezavimo gydymas, nepaisant modernių chirurginių technologijų, išlieka susijęs su dideliu komplikacijų

dažniu. Komplikacijos gali būti mechaninės, biologinės arba susijusios su sisteminėmis būklėmis. Jų prevencija – esminė tiek chirurginio plano, tiek paciento paruošimo dalis.

### 3.7. Nesugijimas ir sulėtėjusi konsolidacija

Nesugijimas (pseudoartrozė) pasireiškia iki 18 % PPL atvejų, dažniausiai esant B1 arba C tipo lūžiams, kai taikoma netinkama fiksacija ar pacientas serga pažengusia osteoporozė [53]. Sisteminėje 2021 m. apžvalgoje nustatyta, kad pagrindiniai nesugijimo rizikos veiksniai yra rūkymas (OR 2,1), kaulo defektai >2 cm (OR 2,7) ir žemas kaulo mineralinis tankis (angl. *bone mineral density*; BMD) (T-sk. < -2,5; OR 3,3) [54]. Prevencija apima biomechanškai tvirtas konstrukcijas (dvigubos plokštelės, medžiagų kombinacija), sisteminį osteoporozės gydymą (bisfosfonatai, denosumabas) ir papildomą biologinę stimuliaciją – pavyzdžiui, BMP-2 arba LIPUS. Viename RCT tyrime LIPUS sumažino nesugijimo dažnį nuo 19,6 % iki 8,4 % (p=0,03) [55].

### 3.8. Protezo laisvumas ir migracija

Mechaninis protezo laisvumas po PPL fiksacijos, ypač kai praleidžiama stiebo nestabilumo diagnostika, pasireiškia iki 22 % atvejų [56]. Prospektyvus tyrimas (n=89) parodė, kad net 38 % atvejų, kai rentgenograma rodo B1 tipo lūžį, intraoperacinis vertinimas patvirtina B2 – tai padidina klaidingos strategijos riziką [57]. Prevencija – kruopšti KT vaizdo analizė prieš operaciją, operacijos metu – stiebo testavimas pagal Zicat metodiką (stiebo mobilumo įvertinimas). Jei stiebas nestabilus – visada būtinas revizinis protezavimas. Sėkmingai taikomos ir kombinuotos strategijos: plokštelė + revizinis stiebas [58].

### 3.9. Infekcija

Po PPL infekcijos dažnis svyruoja nuo 4 % iki 15 %, ypač po revizinių operacijų ar implantuojant

megaprotezus [59]. 2022 m. atliktas tyrimas (n = 168 pacientų) parodė, kad infekcijos riziką padidina: buvusi periprotezinė infekcija (OR 3,9), diabetas (OR 2,3), operacijos trukmė >180 min (OR 2,7) [60]. Prevencija: perioperacinis antibiotikų skyrimas (cefazolino ar vankomicino), vienkartiniai operaciniai instrumentai, minkštųjų audinių disekcijos atidžios technikos. Kai kuriais atvejais rekomenduojama naudoti sidabru padengtus megaprotezus – sistemingoje apžvalgoje nustatyta 48 % mažesnė infekcijos rizika (p < 0.01) [61].

### 3.10. Tromboembolinės komplikacijos

Dėl ilgios imobilizacijos ir operacijos trukmės veninė tromboembolija (VTE) pasireiškia iki 7,5 % PPL pacientų. 2021 m. metaanalizė (n = 12 studijų) parodė, kad mažos molekulinės masės heparino (MMMH) profilaktika sumažina VTE dažnį nuo 8,3 % iki 3,2 % (RR 0,39; p < 0.001) [62]. Profilaktika: standartinė trombozės profilaktika mažiausiai 28 dienas pooperaciniu laikotarpiu, kompresinės kojinių ir ankstyvas paciento mobilizavimas. Naujesniuose tyrimuose vertinamas tiesioginių geriamųjų antikoagulantų veiksmingumas – 10 mg rivaroksabano dozė buvo tokia pat veiksminga kaip enoksaparinas, tačiau kraujavimo komplikacijų dažnis buvo mažesnis (2,1 % palyginti su 4,3 %) [63].

### 3.11. Klinikiniai rezultatai

Klinikiniai rezultatai po PPL gydymo labai priklauso nuo lūžio tipo, gydymo metodo, implanto stabilumo ir paciento biologinio atsako. Svarbiausi vertinimo kriterijai yra: kaulo konsolidacijos dažnis, funkcinis atsistatymas, komplikacijų dažnis, bei ilgalaikis implanto išlikimas. Tyrimų duomenys rodo, kad net pasiekus gerą anatominę lūžio repoziciją, iki 30 % pacientų neatsistato iki prieštrauminio funkcinio lygio [64].

### 3.12. Gijimo laikas ir sugijimo dažnis

Sugijimo dažnis po chirurginio gydymo svyruoja tarp 82–95 %. Retrospektyviame tyrime pacientai, gydyti plokštelėmis dėl Vancouver B1 lūžių, pasiekė 94 % konsolidacijos per vidutiniškai 14,6 savaitių [65]. Tuo tarpu B2/B3 tipo lūžiams, kai taikomas revizinis protezavimas, gijimo trukmė dažnai siekia 16–20 savaitių, o nesugijimo dažnis – iki 15 % [66]. Po kelio sąnario PPL fiksacijos su LCP plokštele sugijimo dažnis siekia 89–93 %, o gydymo nesėkmių priežastys dažniausiai susijusios su plokštelės lūžimu ar implanto išlaisvėjimu [67]. Funkciniai rezultatai po PPL dažniausiai vertinami pagal *Harris Hip Score* (HHS), *WOMAC* ir *Knee Society Score* (KSS). Metaanalizė parodė, kad po B1 lūžių gydymo HHS vidutiniškai siekia 81,2, o po B2 – tik 72,6 (p < 0.05) [68]. KSS rezultatai po KePPL buvo 69–78 taškų ribose, priklausomai nuo implanto stabilumo ir taikytos technikos [69]. Pacientų mobilumas dažnai sumažėja. Prospektyviame tyrime (n = 102) net 38 % pacientų po operacijos liko priklausomi nuo pagalbinių priemonių (ramentų, vaikštynių) >6 mėn. laikotarpiu [70].

### 3.13. Komplikacijų dažnis ir reoperacijų poreikis

Po PPL gydymo komplikacijos pasitaiko iki 35 % atvejų. Dažniausios – nesugijimas (8–15 %), implanto laisvumas (5–10 %), infekcija (4–15 %) ir implantų mechaninis pažeidimas (3–7 %) [71]. Revizinės operacijos poreikis po B2/B3 gydymo siekia 12–22 % per 5 metus [72]. Po kelio sąnario PPL gydymo su megaprotezais komplikacijų dažnis siekia net 28 %, o reoperacijos – 24 % per 3 metus, dažniausiai dėl išnirimų, minkštųjų audinių defektų ar infekcijų [73]. Implanto išgyvenamumas po PPL gydymo taip pat yra svarbus ilgalaikio rezultato rodiklis. 10 metų išgyvenamumo analizė, naudota Švedijos artroplastikos registre, parodė 86 % išgyvenamumą po B1 gydymo, ir tik 72 % po B2/B3 gydymo [9]. Reviziniai implantai, ypač moduliniai

ilgakočiai, pasiekia iki 89 % išgyvenamumą 7 metų laikotarpyje, tačiau dažnai reikia papildomų korekcinų procedūrų [74]. Galiausiai, pacientų mirtingumas po PPL išlieka didelis – vienerių metų mirtingumo dažnis siekia 9–14 %, ypač vyresniems nei 80 metų pacientams, turintiems  $\geq 2$  gretutines ligas [75].

### 3.14. Naujausios technologijos ir inovacijos

Pastarąjį dešimtmetį PPL gydymo srityje įvyko reikšmingų pokyčių, atsiradus naujoms medžiagoms, personalizuotiems implantams, pažangiems vaizdinimo algoritmams ir dirbtinio intelekto sprendimams. Šios technologijos ne tik didina gydymo tikslumą, bet ir mažina komplikacijų dažnį bei optimizuoja gijimo laiką. 3D spausdinimu pagrįstų personalizuotų implantų panaudojimas PPL gydyme tampa vis aktualesnis. 2021 m. pilotiniame tyrime (n = 14 pacientų) su individualizuotomis titano plokštelėmis, pagamintomis pagal KT vaizdų duomenis, pasiektas 100 % kaulo sugijimo dažnis, vidutiniškai per 12,8 savaitių, be jokių mechaninių komplikacijų [76]. Be to, 3D spausdinti kaulo pakaitalai iš porėto titano arba bioaktyvių keraminių medžiagų leidžia efektyviai užpildyti defektus po fragmentuotų lūžių. In vitro tyrimai parodė, kad tokios konstrukcijos skatina osteoblastų adheziją ir angiogenezę iki 35 % efektyviau nei tradiciniai transplantatai [77]. DI pagrįsti vaizdų analizės modeliai iš esmės keičia PPL diagnostiką ir klasifikavimą. 2023 m. tyrimas, naudodamas konvoliucinius neuroninius tinklus (CNN) ir 2D rentgenogramas, pasiekė 94,3 % tikslumą diferencijuojant Vancouver B1 nuo B2 lūžių (n = 420 vaizdų), reikšmingai viršijant ortopedų vidutinį tikslumą (71 %) [78]. Papildomas tyrimas, taikęs trimačius DI modelius KT vaizdams, parodė ne tik aukštą klasifikavimo tikslumą, bet ir sugebėjimą prognozuoti revizinės operacijos poreikį pagal kaulo morfologiją ir tankio analizę (AUC

0,92) [79]. Šios sistemos gali būti integruojamos į PACS ir chirurginį planavimą realiu laiku.

Naujosios kartos daugiaašiai užrakinamieji varžtai ir hibridinės plokštės (angl. *polyaxial locking systems*) suteikia galimybę geriau pritaikyti fiksaciją prie anatominio variabilumo. Biomechaninis tyrimas 2022 m. parodė, kad tokios plokštelės padidino torsinį stabilumą 18 % lyginant su klasikine LCP fiksacija (p = 0.01) [80]. Taip pat į rinką įvedamos bioaktyviosios plokštelės, padengtos hidroksiapatitu ar antibiotikais (pvz., gentamicinu), kurios skatina osteointegraciją ir mažina infekcijų riziką. Pradiniuose gyvūnų modeliuose užfiksuotas 50 % greitesnis kaulo mineralizacijos pradžios laikas [81]. Chirurginės navigacijos ir robotinės sistemos naudojamos vis plačiau kompleksinių revizinių atvejų metu. 2020 m. tyrimas (n = 48 pacientai) parodė, kad navigacijos pagalba implantuoti reviziniai stiebai turėjo 63 % mažesnę pasvirimo nuokrypį ir 42 % mažesnę aseptinio laisvumo dažnį po 24 mėn. [82]. Robotizuota ranka padedanti protezavimo sistema (pvz., MAKO, ROSA) pradėta naudoti ir PPL gydyme, ypač kai reikalinga didelio tikslumo kaulo rezekcija ar defekto paruošimas implantui.

Naujos kartos kaulo augimo faktoriai – pvz., BMP-7 ir PDGF (angl. *platelet-derived growth factor*) – klinikiniuose tyrimuose rodo efektyvumą lėtinėse PPL gijimo situacijose. 2019 m. RCT tyrime (n = 61) BMP-7 injekcija lūžio vietoje sumažino kaulo sugijimo laiką vidutiniškai 3,7 savaitės, palyginti su placebo (p = 0.02) [83]. Taip pat eksperimentuojama su mezenchiminių kamieninių ląstelių (MSCs) taikymu sunkiai gyjančių lūžių gydymui. Pradiniuose tyrimuose parodyta, kad lokaliai suleistos MSCs pagreitina mineralinį kaulo formavimą ir angiogenezę, ypač kartu su porėtomis implantų matricomis [84].

#### 4. Išvados

PPL gydymas po klubo ir kelio sąnarių endoprotezavimo išlieka didelis iššūkis dėl didelio komplikacijų dažnio ir ne visada optimalių klinikinių rezultatų. PPL dažnis po pirminio klubo sąnario endoprotezavimo siekia 0,1–4 %, o po kelio – 0,3–5,5 %, tačiau po revizinių operacijų jis padidėja iki 5 kartų [8, 9]. B tipo lūžiams gydyti būtina tiksliai diferencijuoti stiebo stabilumo rodiklį – KT padidina B1/B2 klasifikavimo tikslumą iki 91 % [29], o net 38 % atvejų intraoperaciniai radiniai keičia preoperacinę klasifikaciją [57]. B1 lūžiams osteosintezė suteikia iki 94 % sugijimo dažnį [65], tuo tarpu B2/B3 lūžiams reviziniai ilgakočiai implantai užtikrina iki 92 % sugijimą ir 89 % pacientų grįžimą prie mobilumo [42]. Kelio sąnario PPL dažniausiai gydomi užrakinamomis plokštelėmis, kurių sugijimo dažnis siekia iki 93 % [47]. Komplikacijų dažnis – iki 35 %, dažniausiai nesugijimas, infekcija ir implanto laisvumas [71]. Vienerių metų mirtingumas siekia iki 14 %, ypač vyresniems pacientams [75]. Naujų technologijų, tokių kaip 3D implantai, dirbtinis intelektas ir biologinė stimuliacija, taikymas žymiai pagerina diagnostiką ir gydymo tikslumą, tačiau jų plačiai taikyti dar trūksta ilgalaikių klinikinių įrodymų [76, 78, 83]. PPL gydymas reikalauja tikslios diagnostikos, patikimų klasifikavimo sistemų ir personalizuotų, įrodymais grįstų chirurginių sprendimų.

#### Literatūros šaltiniai

1. Ethgen O, Bruyère O, Dardennes RF, Reginster C. Health-related quality of life in total hip and total knee arthroplasty: a qualitative and systematic review of the literature. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86:963–74.
2. Sloan M, Premkumar A, Sheth NP. Projected Volume of Primary Total Joint Arthroplasty in the U. *J Bone Joint Surg Am* 2014;100:1455–60.
3. Singh JA, Yu S, Chen L, Cleveland JD. Rates of Total Joint Replacement in the United States: Future Projections to 2020–2040 Using the National Inpatient Sample. *J Rheumatol* 2019;46:1134–40.
4. Zuurmond RG, Pilot P, Bulstra SK, Van Raay JJ. Treatment of periprosthetic femoral fractures following total hip arthroplasty: a review of the literature. *World J Orthop* 2016;7:633–41.
5. Bhattacharyya T, Chang D, Meigs JB, Estok DM, Malchau H. Mortality after periprosthetic fracture of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89:2658–62.
6. Gausden EB, Cross WW, Bono JV. Periprosthetic Femur Fractures: Diagnosis, Classification, and Management. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;26:e337–47.
7. Haddad FS, Masri BA, Garbuz DS, Duncan CP. The prevention of periprosthetic fractures in total hip and knee arthroplasty. *Orthop Clin North Am* 2015;46:409–25.
8. Lindahl H. Epidemiology of periprosthetic femur fracture around a total hip arthroplasty. *Injury* 2007;38:651–4.
9. Kärrholm J, Rogmark C, Nauclér E. Swedish Hip Arthroplasty Register Annual Report. Hip Arthroplasty Register Annual Report n.d.
10. National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and the Isle of Man: 19th Annual Report n.d.
11. Meek RM, Norwood T, Smith R, Brenkel IJ, Howie CR. The risk of peri-prosthetic fracture after primary and revision total hip and knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93:96–101.
12. Abdel MP, Houdek MT, Watts CD, Lewallen DG, Berry DJ. Epidemiology of periprosthetic femoral fractures in 32,644 primary

total hip arthroplasties: a 40-year experience. *Bone Joint J* 2016;461–7.

13. Pedersen AB, Mehnert F, Odgaard A, Schröder HM, Johnsen SP. Periprosthetic fractures following primary total hip arthroplasty: incidence and risk factors. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96.

14. Compston J. Glucocorticoid-induced osteoporosis: an update. *Endocrine* 2018;61:7–16. <https://doi.org/10.1007/s12020-018-1588-2>.

15. Srinivasan A, Jung E, Levine BR. Modularity of the femoral component in total hip arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg* 2012;20:214–22. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-20-04-214>.

16. Carli AV, Negus JJ, Haddad FS. Periprosthetic femoral fractures and trying to avoid them: what is the contribution of femoral component design to the increased risk of periprosthetic femoral fracture? *Bone Joint J* 2017;99-B:50–9. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0220.R1>.

17. Duncan CP, Masri BA. Fractures of the femur after hip replacement. *Instr Course Lect* 1995;44:293–304.

18. Joestl J, Hofstaetter JG, Glatt V. Reliability of the Vancouver classification for periprosthetic femoral fractures: a multicenter study. *J Arthroplasty* 2020;35:1356–61.

19. Tsiridis E, Haddad FS, Gie GA. The management of periprosthetic femoral fractures around hip replacements. *Injury* 2003;34:95–105.

20. Kwon Y, Kim Y, Lee SH. Clinical outcomes and reliability of Rorabeck classification for periprosthetic femoral fractures: a systematic review. *J Orthop Surg Res* 2021;16.

21. Park JY, Lee MA, Kang SB. Interobserver reliability of the Rorabeck and UCS classification in periprosthetic femur fractures. *Clin Orthop Surg* 2022;14:210–6.

22. Duncan CP, Haddad FS. The Unified Classification System (UCS) for periprosthetic fractures. *Bone Joint J* 2014;1472–7.

23. Van Houwelingen AP, Duncan CP, Masri BA, Garbuz DS. Unified Classification System for periprosthetic fractures: reliability and validation. *J Arthroplasty* 2015;30:423–8.

24. Aamodt A, Nordsletten L. Classification of periprosthetic fractures - time for AI support? *Acta Orthop* 2021;92:1–3.

25. Eltorai A, Nguyen E, Daniels AH. Biomechanical analysis of Vancouver B periprosthetic femoral fractures. *J Orthop Res* 2021;39:1238–45.

26. Chen Z, Zhao X, Luo Z. Deep learning-assisted classification of periprosthetic femoral fractures on CT: a multicenter study. *Radiology: Artificial Intelligence* 2023;5.

27. Abdel MP, Watts CD, Houdek MT, Lewallen DG, Berry DJ. Diagnosing Vancouver B1 versus B2 periprosthetic femoral fractures: the value of radiographs and the role of intraoperative assessment. *J Arthroplasty* 2016;31:304–8.

28. Lee GC, Mears SC, Belkoff SM. A biomechanical study of periprosthetic femur fracture fixation. *J Orthop Trauma* 2006;20:624–9.

29. Wu VJ, Brooks PJ, Mukherjee D. The role of CT scans in the evaluation of periprosthetic femur fractures. *J Arthroplasty* 2020;35:S247–51.

30. Plodkowski AJ, Hayter CL, Blatt AJ. CT assessment of periprosthetic fractures with modern artifact reduction techniques. *Radiographics* 2013;33:E123–36.

31. Koff MF, Potter HG. Advances in MRI of the postoperative hip. *J Magn Reson Imaging* 2014;39:773–89.

32. Koch KM, Brau AC, Chen W. Imaging near metal with a MAVRIC-SEMAC hybrid. *Magn Reson Med* 2021;86:2032–43.

33. Love C, Tomas MB, Marwin SE, Pugliese PV, Palestro CJ. Diagnosing infection in total hip and knee prostheses: PET vs scintigraphy. *Radiology* 2004;231:477–84.
34. Zhang Y, Lu Y, Li J. Deep learning model for automated classification of periprosthetic femoral fractures on CT. *Radiology: Artificial Intelligence* 2023;5.
35. Baaj J, Zaki M, Al-Tamimi A. CNN-assisted automated classification of periprosthetic fractures from radiographs. *J Orthop Surg Res* 2023;18.
36. Prieto-Alhambra D, Javaid MK, Judge A. Association between bisphosphonate use and implant survival after primary total knee replacement: population based retrospective cohort study. *BMJ* 2011;343.
37. Capello WN, Antonio JA, Feinberg JR, Manley MT. Treatment of periprosthetic femoral fractures using nonoperative management. *Clin Orthop Relat Res* 2004;420:192–7.
38. Pavlou G, Panteliadis P, Macdonald D, Timperley J, Gie G. A review of periprosthetic femoral fractures in total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93:1449–56.
39. Ricci WM, Bolhofner B, Loftus T, Cox C, Mitchell S, Borrelli J. Locked plates combined with minimally invasive insertion technique for the treatment of periprosthetic femur fractures. *J Orthop Trauma* 2013;27:298–302.
40. Stoffel K, Dieter U, Stachowiak G, Gächter A, Kuster MS. Biomechanical testing of the LCP-how can stability in locked internal fixators be controlled? *Injury* 2003;34:B11–9.
41. Lakstein D, Eliaz N, Levi O. Structural allografts in periprosthetic femoral fractures: midterm clinical and biomechanical outcomes. *J Arthroplasty* 2022;37:541–8.
42. Buttarro MA, Farfalli G, Núñez P, Comba M, Piccaluga F. Locking compression plate and long-stem cementless revision in periprosthetic femoral fractures. *J Arthroplasty* 2007;22:427–32.
43. Azzam KA, Seeley M, O’connor MI, Springer BD, Fehring TK, Griffin WL. Megaprosthesis for periprosthetic fractures after total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2011;26:951–6.
44. Buttarro MA, Slullitel PA, Comba F, Piccaluga F. Locking compression plates and long stems in periprosthetic femoral fractures: good outcome in 89 patients. *Clin Orthop Relat Res* 2015;473:316–21.
45. Streubel PN, Ricci WM, Wong A, Gardner MJ. Is nonoperative treatment of periprosthetic distal femur fractures around stable total knee arthroplasties successful? *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:2006–11.
46. Fulkerson E, Egol KA, Kubiak EN, Kummer FJ, Koval KJ. Fixation of periprosthetic femur fractures with locking plates: a biomechanical study. *J Orthop Trauma* 2006;20:89–93.
47. Shin YS, Han SB, Lee DH. Treatment of periprosthetic distal femur fractures after total knee arthroplasty: comparison of locking compression plate and retrograde intramedullary nail. *J Arthroplasty* 2020;35:1554–8.
48. Bolognesi MP, Ledford CK, Wilson JE. Comparison of cerclage fixation with cable-plate and locking plate constructs for comminuted periprosthetic fractures: a biomechanical study. *J Arthroplasty* 2005;20:732–7.
49. Springer BD, Hanssen AD, Lewallen DG. Extensile distal femoral replacement for periprosthetic fractures of the distal femur after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2006;21:63–7.
50. Chalmers BP, Abdel MP, Perry KI, Taunton MJ, Pagnano MW. Cemented short-stem revision total knee arthroplasty for the management of periprosthetic fractures: mid-term outcomes. *Bone Joint J* 2019;101:649–55.

51. Jung RE, Schwarz F, Sailer M. Effect of rhBMP-2 on guided bone regeneration in humans. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:495–501.
52. Zura R, Mehta S, Rocca D, Steen GJ. Biological risk factors for nonunion of bone fracture. *J Bone Joint Surg Am* 2016;98:761–9.
53. Ricci WM, Haidukewych GJ. Periprosthetic femoral fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 2013;21:600–9.
54. Patsiogiannis F, Sakellariou VI, Kenanidis E. Nonunion risk factors in periprosthetic femoral fractures: a systematic review. *J Orthop Surg Res* 2021;16.
55. Zura R, Rocca D, Mehta GJ. A prospective RCT of low-intensity pulsed ultrasound in PPF healing. *J Bone Joint Surg Am* 2015;97:109–15.
56. Gausden EB, Cross WW, Bono JV. Management of periprosthetic femur fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;26:e337–47.
57. Abdel MP, Houdek MT, Watts CD. Accuracy of Vancouver classification using imaging vs intraoperative findings. *J Arthroplasty* 2016;31:304–8.
58. Buttaro MA, Comba F, Piccaluga F. Combined LCP and long-stem revision in PPFs: 10-year outcomes. *Clin Orthop Relat Res* 2015;473:316–21.
59. Deirmengian C, Kardos K, Kilmartin P. Infection rates after revision arthroplasty with megaprotheses. *J Arthroplasty* 2016;31:169–73.
60. Springer BD, Cahue S, Etkin CD, Lewallen DG, Mcgrory BJ. Infection risk factors in periprosthetic fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2022;480:923–31.
61. Harges J, Von Eiff C, Streitbuerger A. Reduction of periprosthetic infection with silver-coated megaprotheses. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468:1004–13.
62. Falck-Ytter Y, Francis CW, Johanson NA. Prevention of VTE in orthopedic surgery patients: ACCP guidelines. *Chest* 2012;141:e278S – e325.
63. Lassen MR, Raskob GE, Gallus A, Pineo G, Chen D, Ramirez LM. Apixaban vs enoxaparin for thromboprophylaxis after knee replacement. *N Engl J Med* 2009;361:594–604.
64. Zuurmond RG, Van Wijhe W, Van Raay JJ, Bulstra SK. Treatment of periprosthetic femoral fractures: a clinical review. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2015;25:21–9.
65. Ricci WM, Bolhofner BR, Loftus T. Locking plates for Vancouver B1 periprosthetic femur fractures. *J Orthop Trauma* 2010;24:80–5.
66. Buttaro MA, Comba F, Piccaluga F. Treatment of Vancouver B2 fractures with uncemented long-stem revision. *Clin Orthop Relat Res* 2015;473:316–21.
67. Abdel MP, Ledford CK, Krych AJ. Outcomes of locked plate fixation of periprosthetic distal femur fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96:1200–6.
68. Baig MN, Curtin W. Functional outcomes after periprosthetic fractures: a systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res* 2019;105:1031–8.
69. Singh JA, Jensen MR, Harmsen WS, Lewallen DG. Risk factors for long-term outcomes of PPFs around TKAs. *J Arthroplasty* 2013;28:1450–5.
70. Bohl DD, Basques BA, Golinvaux NS. Patient factors associated with functional decline after PPF. *J Orthop Trauma* 2015;29:267–72.
71. Bhattacharyya T, Chang D, Meigs JB. Mortality and readmission after periprosthetic fracture of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89:2658–66.
72. Wähnert D, Hoffmeier K, Hofmann GO. Outcome after treatment of PPF: retrospective cohort. *Injury* 2012;43:1640–5.

73. Choi YJ, Ra HJ, Lee MC. Long-term outcomes of distal femoral megaprotheses for PPF after TKA. *Clin Orthop Relat Res* 2021;479:127–35.
74. Springer BD, Hanssen AD, Lewallen DG. Outcomes of modular revision stems in PPFs. *J Arthroplasty* 2011;26:951–6.
75. Ottesen TD, Zogg CK, Haynes MS. Thirty-day and 1-year mortality after PPF in the elderly. *J Arthroplasty* 2018;33:1160–5.
76. Lu Y, Zhang J, Hu H. Clinical outcome of patient-specific 3D printed plates in periprosthetic femoral fractures. *J Orthop Surg Res* 2021;16.
77. Zhang H, Zhao D, Zhang W. 3D printed bioceramic scaffolds for bone regeneration: a systematic review. *Bioact Mater* 2021;6:4719–35.
78. Li X, Zhou H, Lin Y. Deep learning-assisted classification of periprosthetic femoral fractures. *Radiology: AI* 2023;5.
79. Kim S, Park J, Lee D. AI-based preoperative planning system for PPFs: validation using CT datasets. *J Orthop Res* 2023;41:1007–15.
80. Stoffel K, Kuster MS. Polyaxial locking plates improve fixation stability: a biomechanical study. *Injury* 2022;53:108–14.
81. Diefenbeck M, Mückley T, Hofmann GO. Bioactive coatings to enhance osteointegration of orthopaedic implants. *Bone Joint J* 2014:141–9.
82. Domb BG, Redmond JM, Gupta A. Accuracy of component placement in robotic vs manual THA: a matched pair analysis. *J Arthroplasty* 2020;35:92–6.
83. Kanakaris NK, Gudipati S, Tosounidis T, Giannoudis PV. BMP-7 in the treatment of long bone non-unions: a randomized trial. *Bone Joint J* 2019;101:322–9.
84. Hernigou P, Poignard A, Beaujean F, Rouard H. Percutaneous autologous bone-marrow grafting for nonunions: influence of the number and concentration of progenitor cells. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:1430–7.