

Revijalni rad

Review article

**ANESTEZIOLOŠKI ASPEKTI
UPOTREBE POVESKE U
ORTOPEDSKOJ HIRURGIJI:
PREDNOSTI I NEDOSTACI***Ana Milosavljević*Institut za ortopediju „Banjica”, Služba za anesteziologiju,
reanimatologiju i intenzivnu terapiju**ANESTHESIOLOGICAL ASPECTS
OF TOURNIQUET USE IN ORTHOPEDIC
SURGERY: ADVANTAGES AND
DISADVANTAGES***Ana Milosavljević*Institute of Orthopedics “Banjica”, Department of Anesthesiology,
Reanimation and Intensive Care

Datum prijema rada: 14.03.2025. Prva ispravka rukopisa: 02.06.2025. Datum prihvatanja rada: 04.07.2025.

Sažetak

Pneumatska poveska ili turnike predstavlja standardni deo operativne procedure u ortopedskoj hirurgiji. Obezbeđujući beskrvno hirurško polje, ona olakšava hirurgu rad, poboljšava vizualizaciju i identifikacija anatomskih struktura i smanjuje gubitak krvi. U ortopediji se koriste nepneumatske i pneumatske poveske. Poveska se plasira na proksimalni deo ekstremiteta, iznad hirurškog polja. Pritisak u manžetni trebalo bi da iznosi za 100 mmHg iznad sistolnog krvnog pritiska pacijenta, a najviši dozvoljeni pritisak je 300 mmHg, u trajanju od najviše dva sata. Međutim, njihova upotreba je povezana i sa brojnim komplikacijama. Komplikacije povezane sa upotrebom poveske mogu biti lokalne i sistemske. Lokalne komplikacije nastaju zbog direktne traume, usled kompresije na mestu plasiranja manžetne, ili zbog ishemije tkiva distalno od poveske; dok sistemske nastaju kao posledica reperfuzije, nakon inflacije ili deflacije poveske. Najčešće lokalne komplikacije su oštećenje kože, povreda nerava, oštećenje mišića uz potencijalnu bubrežnu insuficijenciju, povreda krvnih sudova sa mogućnošću pojave tromboze. Sistemske komplikacije uočavaju se u vidu promena u respiratornom, kardiovaskularnom, urinarnom i centralnom nervnom sistemu i pojava tromboze dubokih vena donjih ekstremiteta. Bol uzorokovan poveskom je jedan od problema sa kojima se susreću anesteziolozi u svakodnevnom radu, koji se teško reguliše primenom analgetika i promenom dubine anestezije. Bol se može održavati do tri nedelje nakon operacije, otežavajući oporavak bolesnika. Upotrebom poveske smanjeno je intraoperativno krvarenje, postiže se veća debljina cementnog omotača, čime je omogućena bolja fiksacija implantata za kost.

Ključne reči: Anestezija; Ortopedija; Poveska; Turnike.**Summary**

A pneumatic cuff or tourniquet is a standard part of the operative procedure in orthopaedic surgery. Its role is to provide a bloodless surgical field, facilitate the surgeon's work, improve the visualisation and identification of anatomical structures, and reduce blood loss. Non-pneumatic and pneumatic cuffs are used in orthopaedics. The pressure in the pneumatic cuff should be 100mmHg above the patient's systolic blood pressure, and the highest allowed pressure is 300mmHg for a maximum of two hours. Local complications occur due to direct trauma, compression at the cuff placement site, or tissue ischemia distal to the cuff, while systemic ones arise as a result of reperfusion after inflation or deflation of the cuff. The most common local complications are skin damage, nerve damage, muscle damage with potential kidney failure, and blood vessel damage with the possibility of thrombosis. Systemic complications are observed in the form of changes in the respiratory, cardiovascular, urinary and central nervous systems and the occurrence of deep vein thrombosis of the lower extremities. Pain caused by tourniquets is one of the problems that anesthesiologists encounter in their daily work, which is difficult to regulate by administering analgesics and changing the depth of anaesthesia. Pain can persist for up to three weeks after surgery, making the patient's recovery difficult. The use of a tourniquet reduces intraoperative bleeding, and the thickness of the cement shell is greater, which achieves a better fixation of the implant to the bone.

Key words: Anesthesia; Orthopaedics; Tourniquets.

Uvod

Upotreba pneumatske poveske ili turnikea (engl. *tourniquet*) datira još iz drugog veka, iz doba Rimljana, kada je ulogu pronalazila u ratnim uslovima. Termin *tourniquet* potiče od francuske reči *tourner* što znači okretanje (engl. *to turn*)¹. Prvu povesku u hirurgiji koristio je Charvey Cushing 1904. godine². Vremenom, pneumatska poveska upotrebljavana je tokom operacija u ortopediji i plastičnoj hirurgiji, s ciljem da se obezbedi beskrvno hirurško polje, kako bi se smanjio perioperativni gubitak krvi i omogućila bolja vidljivost anatomskih struktura³. Takođe, anesteziolozi su koristili povesku tokom izvođenja intravenske regionalne anestezije, tzv. Bierovog bloka, da bi se sprečilo širenje lokalnog anestetika u sistemsku cirkulaciju i pojava toksičnih efekata⁴.

Upotreba poveske predstavlja osnovni element tokom totalne artroplastike kolena. Međutim, upotreba poveske je povezana sa određenim komplikacijama i fiziološkim promenama, koje mogu da utiču na ishod lečenja. Postoje studije koje ukazuju na pojavu perioperativnog i postoperativnog bola, pojavu hipotenzije, povećan rizik od nastanka tromboze dubokih vena donjih ekstremiteta, oštećenje nerava, mišića, otoka, koji su povezani sa upotrebom poveske⁵.

Za sada ne postoji jasan stav o upotrebi poveske. Neke studije ukazuju na prednosti njene upotrebe koje se ogledaju u skraćanju vremena trajanja operacije, smanjenju perioperativnog gubitka krvi i mogućnosti stvaranja debljeg cementnog omotača^{3,5}, dok druge ukazuju na potencijalne štetne efekte upotrebe poveske, poput pojave bola, otoka, oštećenja nerava i povećanog ukupnog gubitka krvi^{6,7}. Uprkos nejasnim stavovima, upotreba

poveske je i dalje svakodnevna. Danas se najčešće može videti kratkotrajna upotreba poveske, samo u periodu cementiranja, dok se smanjenje perioperativnog gubitka krvi postiže upotrebom traneksamske kiseline i održavanjem permisivne hipotenzije⁸. Ograničenom upotrebom smanjuje se rizik pojave štetnih efekata ishemije. Cilj članka je da ukaže na fiziološke promene i komplikacije povezane sa upotrebom pneumatske poveske, sa posebnim osvrtom na njihov značaj u anesteziološkoj praksi, tokom ortopedskih operacija.

Prednosti i nedostaci

Poveska se koristi u ortopedskoj hirurgiji i plastičnoj hirurgiji, za operacije gornjeg i donjeg ekstremiteta. Cilj primene poveske jeste privremeno smanjenje protoka krvi kroz operisani ekstremitet, kako bi se stvorilo beskrvno hirurško polje, i poboljšala vizualizacija struktura, smanjio gubitak krvi tokom operacije i skratilo vreme operacije³. Nedostatak upotrebe poveske jeste vremensko ograničenje inflacije poveske u trajanju do dva sata, u slučajevima kada operacije traju duže od dva sata. Takođe, uprkos adekvatnoj hirurškoj anesteziji, pacijeti koji se operišu u uslovima regionalne anestezije mogu osećati bol usled prisustva poveske, na zahvaćenom ekstremitetu⁶. Nakon deflacije poveske, zbog redistribucije nastaje hipotenzija. Nakon operativnog zahvata uočava se otok ekstremiteta, uz moguću pojavu bula⁹. (Tabela 1)

Vrste hirurških poveski

Poveske se mogu koristiti u hitnim situacijama, hirurgiji i rehabilitaciji¹⁰. Hirurške poveske mogu biti nepneumatske i pneumatske. Nepneumatske se

Tabela 1: Prednosti i nedostaci upotrebe poveske u ortopediji

Prednosti	Nedostaci
Beskrvno hirurško polje	Vremensko ograničenje upotrebe poveske
Smanjenje intraoperativnog gubitka krvi	Bol i diskomfor
Kraće trajanje hirurškog zahvata	Otok ekstremiteta
Povećanje debljine cementnog omotača	Hipotenzija nakon deflacije poveske

danas ređe koriste. Sastoje se od silikonskog prstena umotanog u elastičnu tkaninu, koja se poput čarape plasira na ekstremitet, istiskuje krv i blokira protok arterijske krvi (SLIKA 1). Ova poveska je sterilna, predviđena za jednokratnu upotrebu, efikasna je do sistolnog pritiska bolesnika do 190 mmHg¹¹. Postoje različite veličine poveski, čiji su silikonski prstenovi obojeni različitim bojama. Odabir adekvatne veličine vrši se na osnovu obima ekstremiteta, dužine ekstremiteta i uputstva proizvođača¹¹. Poveska se preseče na mestu hirurškog reza, zatim se hirurško polje prelepi sterilnom providnom incizionom, antimikrobnom folijom, čime se smanjuje incidencija kontaminacije rane i pojave infekcije hirurškog polja¹². Pneumatska hirurška poveska kontrolisana je električnim uređajem, koji se sastoji od izvora komprimovanog vazduha i monitora, u koji je inkorporisan mikroročunar za automatsku regulaciju pritiska u manžetni. Savremeni aparati sadrže audio i video alarme, koji upozoravaju na visok pritisak u manžetni, prekoračenje predviđenog vremena upotrebe poveske ili okluziju u sistemu¹³



Slika 1. Nepneumatska poveska, plasirana na donji ekstremitet

(SLIKA 2). Manžetna se plasira neposredno iznad hirurškog polja, na proksimalni deo ekstremiteta. Zatim, ekstremitet se elevira, kompresijom se isprazne krvni sudovi, pa se izvrši inflacija manžetne. Pritisak u manžetni trebalo bi da iznosi 100 mmHg iznad sistolnog krvnog pritiska bolesnika, odnosno najviše 250 mmHg za gornji ekstremitet, a za donji ekstremitet do 300 mmHg, u trajanju od najduže dva sata. Ukoliko postoji potreba za dužom primenom poveske, neophodno je ispumpati povesku u trajanju od 30 minuta, kako bi došlo do reperfuzije ekstremiteta, čime se sprečava oštećenje perifernih nerava i mišića⁹. Pumpanje manžetne treba biti brzo i nalgo, kako bi se istovremeno prekinula arterijska i venska cirkulacija, a takođe, i ispumpavanje treba biti na isti način^{8,13}.

Komplikacije

Komplikacije povezane sa upotrebom poveske mogu biti lokalne i sistemske. Lokalne komplikacije nastaju zbog direktne traume, usled kompresije, na



Slika 2. Pneumatski turnpik. Na monitoru je prikazan pritisak u manžetni i aktiviran alarm upozorenja na prekoračenje vremenskog ograničenja

mestu plasiranja manžetne, ili zbog ishemije tkiva distalno od poveske; dok sistemske nastaju kao posledica reperfuzije, inflacije ili deflacije poveske⁹. Opisane su brojne komplikacije, poput produženog oporavka, povreda nerava i mišića, reperfuzionih povreda, oštećenja pluća i povećanog rizika za pojavu tromboze, i drugih⁹.

Lokalne komplikacije

Oštećenje kože. Oštećenje kože manifestuje se pojavom plikova, ekzorijacija, hematoma uzrokovanih nekrozom usled pritiska manžetne, i hemijskih opekotina, uzrokovanih alkoholom i sredstvima za pripremu hirurškog polja. Uglavnom se javljaju kod dece i starije populacije. Pre postavljanja manžetne, noga se obmota mekanim zavojem, kako bi se smanjio rizik za oštećenje kože^{14,15}.

Oštećenje nerava. Iako se oštećenje nerava retko javlja, incidencija je 0.01-0.02 %, komplikacije mogu biti veoma štetne¹⁵. Povrede nerava uglavnom se odnose na nerve gornjeg ekstremiteta, sa najčešćom zahvaćenošću radijalnog nerva, dok je donji ekstremitet zahvaćen ređe, i uglavnom je povređen ishijadični nerv. Bolesnici imaju različit stepen motornih i senzornih poremećaja, od osećaja trnjenja, pareze, do potpune paralize¹⁶. Mehanizam nastanka oštećenja jeste mikrovaskularna promena u nervu, direktno ispod manžetne, koja uzorkuje promenu endoneuralne permeabilnosti, pojavu otoka i aksonalnu degeneraciju. Prognoza oštećenja nerava je dobra, oko 90 % bolesnika ima potpuni funkcionalni oporavak unutar šest meseci¹⁷.

Oštećenje mišića. Ishemija i mehanički pritisak na mišićno tkivo dovode do metaboličkih promena u zahvaćenom ekstremitetu, uzrokujući rabdomiolizu. Rabdomioliza podrazumeva oštećenje miocita i oslobađanje produkata njihove razgradnje u cirkulaciju, od kojih najvažniju ulogu ima mioglobin. Mioglobin je protein molekulske mase 17,8 kDa, koji je nefrotoksičan. Od simptoma javlja se tzv. klasična trijada – bol u mišićima, slabost i tamno prebojeni urin¹⁸. U laboratorijskim analizama može se uočiti porast serumskih vrednosti kreatin kinaze (CK), aspartat aminotransferaze (AST), kalijuma, povišena aktivnost laktat dehidrogenaze (LDH), i snižena vrednost kalcijuma. Analize urina ukazuju na mioglobinuriju¹⁹. Lokalno nastaju porast koncentracije laktata, kalijuma i

ugljen-dioksida, pomerajući pH vrednosti prema acidozi. U ovim uslovima nastaju edem i mikrovaskularna kongestija, koji zajedno sa ishemijom, čine takozvani „post-turnike sindrom“¹³. Ovaj sindrom se klinički manifestuje otokom, ukočenošću, bledilom, slabošću i subjektivnim osećajem utrnulosti uz sigurno odsustvo regionalne anestezije. Nakon deflacije, dolazi do oslobađanja anaerobnih metabolita u sistemska cirkulaciju, uzrokujući hipotenziju, metaboličku acidozu, hiperkalemiju, mioglobinemiju, mioglobinuriju i potencijalnu akutnu bubrežnu insuficijenciju. Svi ovi događaji se retko javljaju^{18,20,21} kod zdravih osoba i reverzibilni su, pri čemu dolazi do oporavka unutar 60 minuta. Pored toga, produkti ishemije mišića mogu prouzrokovati teška, životno ugrožavajuća stanja, poput oštećenja pluća, bubrega, pojave aritmija, koagulopatija i kompartment sindroma. Osetljiva grupa jesu stariji bolesnici, koji imaju ograničene kompenzatorne mehanizme kardiovaskularnog sistema i smanjenu bubrežnu rezervu²².

Oštećenje krvnih sudova. Upotrebom poveske mogu nastati povrede krvnih sudova, usled direktnog vaskularnog oštećenja kod bolesnika sa postojećim perifernim vaskularnim oboljenjima. Međutim, rezultati istraživanja su različiti. Koehler i saradnici²³ izveli su retrospektivnu studiju, u kojoj su obuhvatili 373 bolesnika sa dokazanim aterosklerotskim plakovima u arterijama donjih ekstremiteta, i ukazali da prisustvo arterijskih plakova nije povećalo rizik od nastanka tromboze dubokih vena ili komplikacija u zarastanju rana. Wolfle-Roos²⁴ i saradnici ukazali su na rizik od manjih komplikacija, poput produženog zarastanja rana, u zavisnosti od mesta nastanka plaka. Kumar i saradnici¹³ su objavili sistematski pregled vaskularnih povreda nakon totalne artroplastike kolena u kojem su opisali da bi trebalo izbeći upotrebu poveske kod bolesnika sa oslabljenim pulsevima na donjim ekstremitetima i sporijim kapilarnim punjenjem zahvaćenog ekstremiteta, zatim kod bolesnika sa femoropoplitealnim aterosklerozama ili kod prethodne vaskularne operacije na istom ekstremitetu. Novijim istraživanjima ukazano je da pritisak od strane poveske može mehanički da ošteti aterosklerotski plak, uzrokuje njegovu rupturu, pri čemu dolazi do agregacije trombocita i potencijalnog stvaranja tromboze, ali ne utiče na ishemijske komplikacije i zarastanje rane^{25,26}

Sistemske komplikacije

Respiratorni sistem. Ozbiljne respiratorne komplikacije retko se javljaju^{2,13}. Promene nastaju nakon deflacije poveske, posledica su ulaska produkata anaerobnog metabolizma iz ishemičnog ekstremiteta. Ogledaju se u povećanju koncentracije ugljen-dioksida na kraju ekspirijuma (EtCO₂) i povećanju parcijalnog pritiska ugljen-dioksida u arterijskoj krvi. Kod osoba koje dišu spontano nastaje kratkotrajni porast minutne ventilacije, dok kod intubiranih bolesnika uočavamo povećanje EtCO₂ na kapnometru²⁷ (SLIKA 3). Prolaznog je karaktera, u

periodu od 30 minuta dolazi do povrata EtCO₂ na fiziološke vrednosti (SLIKA 4). Na porast ugljen-dioksida osetljive su osobe sa narušenom cerebrovaskularnom autoregulacijom, jer porast ugljen-dioksida uzrokuje povećanje protoka krvi kroz cerebralne krvne sudove. Od težih plućnih komplikacija, mogu se pojaviti akutno oštećenje pluća i plućna embolija. Akutno oštećenje pluća nastaje nakon deflacije poveske, kao posledica reperfuzije kroz zahvaćeni ekstremitet. U plućima se aktivira inflamatorni odgovor, uzrokovan aktivacijom citokina, neutrofila i slobodnih radikala kiseonika, što dovodi do oštećenja alveolo kapilarne membrane i njene



Slika 3. Prikaz kapnometrije na monitoru aparata za anesteziju. Strelica na slici pokazuje povišenu vrednost etCO₂, nakon deglacije turnikea, kao posledica reperfuzije zahvaćenog ekstremiteta.



Slika 4. Prikaz kapnometrije na monitoru aparata za anesteziju. Strelica na slici pokazuje povratak vrednosti etCO₂ na početnu vrednost, nakon 30 minuta normoventilacije bolesnika.

povećane propustljivosti^{28,29}. Deflacija poveske i reperfuzija mogu dovesti do ulaska masnih kapljica u sistemsku cirkulaciju, čime uzrokuju opstrukciju krvnih sudova i mogu dovesti do respiratornog, kardiovaskularnog i neurološkog oštećenja. Masne kapljice se uglavnom sporo resorbuju i ne dovode do većih komplikacija, međutim, mogu uzrokovati i masnu emboliju pluća sa posledičnim inflamatornim odgovorom. Masna embolija pluća je retko, ali potencijalno životno ugrožavajuće stanje. Incidencija pojave masne embolije pluća u ortopedskoj hirurgiji iznosi 1-11 %²⁸. Može biti fatalna u 10-20 % slučajeva, kao posledica multiorganske disfunkcije. Tegobe se sporo razvijaju, 24-72 sata od intervencije, manifestuju se kao pojava hipoksije, petehija u predelu grudnog koša i konfuzije^{31,32}.

Kardiovaskularni sistem. Prilikom blede staze i inflacije poveske na donjem ekstremitetu, nastaje preraspodela volumena krvi u centralnu cirkulaciju, što uzrokuje povećanje vaskularnog volumena i posledično povećanje centralnog venskog pritiska. Takođe, registruje se porast srčane frekvence, sistolnog i dijastolnog krvnog pritiska, koji se održavaju do deflacije. Ove promene ne mogu da tolerišu bolesnici sa smanjenom srčanom rezervom; nekomplijatnim komorama i dijastolnom disfunkcijom². Drugi uzrok povećanja krvnog pritiska jeste bol izazvan poveskom. Izraženiji je kod bolesnika podvrgnutih zahvatu u opštoj anesteziji. Regionalna anestezija omogućava bolju analgeziju, međutim, i pored adekvatnih uslova za operaciju, bolesnici mogu osetiti bol 60 min nakon inflacije poveske. Za ovu pojavu odgovorna su nemijelinizovana tanka C vlakna. Znaci aktivacije simpatikusa karakterišu se hipertenzijom, tahikardijom i dijaferezom. Deflacijom poveske dolazi do trenutnog gubitka osećaja bola i smanjenja povišenog arterijskog pritiska, pa čak i hipotenzije. Nagle promene na kardiovaskularnom sistemu nastaju nakon deflacije poveske, dolazi do naglog pada centralnog venskog pritiska i srednjeg arterijskog pritiska, što može dovesti do aritmija i srčanog zastoja, uzrokovanog depresijom miokarda usled hiperkalemije i acidoze. U trenutku deflacije poveske može doći do iznenadne hipotenzije, praćene pojavom mučnine, povraćanja, hladnog preznoavanja, pa čak i gubitka svesti kod bolesnika, što zahteva pravovremeno prepoznavanje i zbrinjavanje od strane anesteziologa. Navedene reakcije su posebno neprijatne za budne pacijente^{33,34}.

Urinarni sistem. Oštećenja bubrega tokom ortopedskih operacija mogu nastati usled hipotenzije, hipovolemije, primene aminoglikozida, a čest uzrok nastanka akutne bubrežne insuficijencije jeste rhabdomioliza²². Mioglobin može da uzrokuje bubrežnu insuficijenciju vazokonstrikcijom nastalom aktiviranjem sistema renin-angiotenzin, zatim može izazvati citotoksičnost u proksimalnim tubulima, kao i opstrukciju na nivou distalnih tubula. Simptomi rhabdomiolize su bol i otok mišića, i tamno prebojeni urin. Znaci akutnog oštećenja bubrega jesu oligurija ili anurija, uz povišene serumske vrednosti pokazatelja bubrežne funkcije, odnosno uree i kreatinina. Najosetljiviji marker rhabdomiolize jeste serumska vrednost kreatin kinaze, kada iznosi više od 10.000 U/l, dok se u urinu može naći povišena vrednost mioglobina²². U ortopedskoj hirurgiji akutno oštećenje bubrega uzrokovano rhabdomiolizom nastaje zbog traumom izazvanog oštećenja mišića, ili usled produžene upotrebe poveske. Manifestuje se 12-24 sati nakon operacije, predstavlja životno-ugrožavajuće stanje, koje zahteva hemodijalizu^{35,36}. Faktori rizika za akutno oštećenje bubrega od strane pacijenta jesu već postojeće hronično oštećenje bubrega, povišen krvni pritisak, gojaznost, šećerna bolest, starija životna dob, postojeće vaskularno oboljenje. Faktori rizika od strane hirurga su produženo vreme upotrebe poveske, preko dva sata, i visok pritisak u povesci, preko 350 mmHg³⁷. Kako bi se prevenirala rhabdomioliza i potencijalno oštećenje bubrega, odluku o upotrebi poveske potrebno je donositi individualno, na osnovu vrste hirurške intervencije i zdravstvenog stanja bolesnika. Pre svega, potrebno je biti svestan rizika upotrebe poveske, pratiti preporuke za optimalno vreme i pritisak tokom upotrebe poveske, izvršiti povremenu deflaciju poveske u slučaju trajanja operacije duže od dva sata. Takođe, veoma je važna adekvatna hidracija bolesnika, odnosno tretman hipovolemije, kao i postoperativni nadzor, zbog pravovremenog otkrivanja oštećenja bubrega²².

Tromboza dubokih vena. Tromboza dubokih vena donjih ekstremiteta je ozbiljna komplikacija ortopedskih operacija. Hirurgija, imobilizacija, trauma tkiva predstavljaju predisponirajuće faktore za nastanak tromboze. Opisani su slučajevi pojave plućne embolije nakon operacije kolena³⁸. Ishemija donjih ekstremiteta izazvana poveskom, venska staza i direktna povreda endotela mogu dovesti do razvoja tromboze dubokih vena. Inflacija

poveske uzrokuje stanje hiperkoagulabilnosti, koje nastaje kao posledica povećane agregacije trombocita i stimulacije faktora koagulacije, kao odgovor na oštećenje tkiva samom operacijom, ali i zbog oslobađanja kateholamina u odgovoru na stres, hirurški bol i bol usled upotrebe poveske. Nakon deflacije poveske, javlja se kratkotrajno stanje hiperfibrinolize, zbog oslobađanja tkivnih aktivatora plazminogena³⁹. Xie i saradnici su u meta-analizi dokazali da upotreba poveske tokom totalne artroplastike kolena može povećati rizik za nastanak postoperativne tromboze dubokih vena donjih ekstremiteta⁴⁰. Hernandez i saradnici su svojom studijom zaključili da postoji povišen rizik od nastanka tromboze ukoliko operacija totalne artroplastike kolena traje duže od 120 minuta, kao i da upotreba poveske predstavlja mogući faktor rizika za nastanak tromboze dubokih vena⁴¹. U meta-analizi Zhanga i saradnika, koja je poredila pojavu tromboze u odnosu na vreme deflacije poveske, kod rane (pre zatvaranja hirurške rane) i kasne (nakon zatvaranja hirurške rane) deflacije, nije bilo statistički značajne razlike u pojavi tromboze dubokih vena donjih ekstremiteta⁴². Desai i saradnici⁴³ su prikazali slučaj fatalne plućne embolije nakon upotrebe poveske, kod bolesnika podvrgnutog operaciji usled preloma tibije.

Bol. Jedan od najčešćih problema sa kojima se susreću anesteziolozi jeste pojava bola nakon inflacije poveske. Definiše se kao osećaj stezanja na mestu nanošenja poveske. Budni bolesnici osećaju jak bol svega nekoliko minuta nakon inflacije poveske, pri pritisku od 100 mmHg iznad sistolnog krvnog pritiska bolesnika⁴⁴. Za vreme regionalne anestezije, uprkos adekvatnim uslovima za hiruršku proceduru, bolesnici mogu osetiti bol nakon 60 minuta od postavljanja i inflacije poveske. Bol, kod nekih bolesnika, može biti jakog intenziteta, te je potrebna intravenska primena analgetika, pa čak i uvod u opštu anesteziju. Kod bolesnika koji su uvedeni u opštu anesteziju, bol se manifestuje porastom srčane frekvencije i srednjeg arterijskog pritiska, koji slabo reaguju na promenu dubine anestezije ili ordiniranje analgetika³. Tačna etiologija nije najjasnija, ali pretpostavlja se da bol nastaje zbog ishemijskih promena u ekstremitetu i nadražaja kožnog nervnog mehanizma, dok kardiovaskularne manifestacije nastaju posredstvom humoralnog odgovora na bol. Kožni nervni splet sadrži nemijelinizovana, tanka, sporo provodljiva C vlakna,

koja su normalno inhibirana brzim mijelinizovanim A vlaknima. Mehanička kompresija inhibira provodljivost debljih A vlakana, dok C vlakna ostaju neinhibirana⁴⁴. Lokalno nastaje oslobađanje prostaglandina, koji povećavaju percepciju bola i stimulišu receptore za bol, koji se održava i do tri nedelje nakon operacije³. Deflacija poveske dovodi do neposrednog prestanka osećaja bola i pridružene hipertenzije. Kratkotrajna upotreba poveske tokom operacije uzrokuje manje bola, omogućava brži oporavak bolesnika⁴⁵. Bol u ranom postoperativnom periodu, uzrokovan oštećenjem mišića usled prolongirane upotrebe poveske, otežava funkcionalni oporovak i utiče na celokupni ishod operacije. Pacijenti duže borave u bolnici nakon operacije, bolom i otokom je ograničen obim pokreta u zglobu kolena^{46,47}.

Gubitak krvi

Intraoperativni gubitak krvi procenjuje se količinom aspirirane krvi i brojem upotrebljenih gaza. Postoperativni gubitak krvi procenjuje se zapreminom krvi u boci intraartikularnog drena, ukoliko je dren plasiran. Skriveni gubitak krvi predstavlja gubitak krvi u takozvani treći prostor i udružen je sa pojavom otoka ekstremiteta, hematoma, bola i inflamacije. Ukupni gubitak krvi je zbir svih gubitaka⁴⁷. Glavna uloga upotrebe poveske jeste smanjenje intraoperativnog gubitka krvi i obezbeđivanje beskrvnog hirurškog polja³. Međutim, postoji heterogenost rezultata studija koje procenjuju gubitak krvi. Istraživanja pokazuju da upotreba poveske smanjuje intraoperativni gubitak krvi, dok su postoperativni i ukupni gubitak krvi povećani; bez upotrebe poveske povećan je intraoperativni gubitak krvi, ali su smanjeni postoperativni i skriveni gubici. Rezultati ukazuju da razlike u ukupnom gubitku krvi nisu statistički značajne i ne postoji potreba za primenom transfuzije krvi^{3,47,48}. Schnettler i saradnici su mišljenja da je bez primene poveske omogućena kontrolisana hemostaza tokom operacije, čime se smanjuju postoperativni gubici⁴⁹. Poslednja istraživanja preporučuju kratkotrajnu upotrebu poveske, samo u periodu cementiranja, dok se smanjenje perioperativnog gubitka krvi postiže upotrebom traneksaminske kiseline i održavanjem permisivne hipotenzije^{3,7,46-50}. Na osnovu meta-analize Zhang i saradnika, metoda deflacije poveske pre zatvaranja hirurške rane može povećati

gubitak krvi u poređenju sa metodom deflacije poveske nakon zatvaranja rane, ali razlike u ukupnom gubitku krvi nisu statistički značajne⁵⁰. Ova činjenica je značajna za pacijente u stanju anemije.

Cementiranje

Jedna od često opisivanih prednosti primene poveske u artroplastici kolena je prilikom ugradnje cementnih implantata. Upotreba poveske tokom cementiranja omogućava bolje prodiranje cementa u kost, stvaranje debljeg cementnog omotača i bolju fiksaciju implantata za kost^{51,52}. Postoje tvrdnje da kontaminacija koštanih površina masnim tkivom i koagulacijama smanjuju prodiranje cementa u spongioznu kost, čime se čvrstina koštano-cementnog spoja može smanjiti i do 50 %⁵³. Kako bi se smanjio rizik od aseptičnog razlabavljenja neophodna je adekvatna tehnika cementiranja kojom bi se obezbedila penetracija cementa od tri do četiri milimetra. Na ovaj način mikropokreti implantata se smanjuju na minimum i obezbeđuje dugovečnost implantata. Ovakvi stavovi opravdali su upotrebu poveske u artroplastici kolena na dva načina, ili tokom cele operacije ili samo tokom faze cementiranja implantata⁵⁴. Ozkunt i sar. u svojoj randomizovanoj studiji su ispitali efekat poveske na penetraciju cementa kod tri grupe ispitanika: poveska tokom cele operacije, samo tokom cementiranja i bez poveske⁵⁵. Rezultati ove studije ukazali su da nema statistički značajnog uticaja primene poveske na postoperativno izmerenu dubinu penetracije cementa⁵⁵. Sa druge strane, Hegde je sa svojim saradnicima došao do suprotnih zaključaka⁵³. Oni su ispitali penetraciju cementa sa i bez poveske uz praćenje radiolucenčnih linija (RLL) tokom pet godina. Došli su do zaključka da postoji statistički značajno manja penetracija cementa u grupi bez poveske uz pojavi značajno debljih RLL nakon 5 godina⁵³. Slične rezultate potvrdila je i meta-analiza iz 2021. godine gde je utvrđena statistički značajno manja penetracija cementa u površinu tibije⁵¹. Sasaki i saradnici dokazali su da postoji značajna korelacija između penetracije cementa i pojave RLL sa kasnijim razlabavljenjem implantata⁵⁶.

Zaključak

Upotreba poveske u ortopedskoj hirurgiji ima veliki značaj. Omogućava stvaranje beskrvnog

hirurškog polja, smanjuje se intraoperativni gubitak krvi, olakšava rad hirurga. Međutim, postoji rizik od nastanka komplikacija udruženih sa upotrebom poveske. Preporuke su da se ne koriste rutinski, već tokom procesa cementiranja i drugih indikacija od strane ortopeda, čime se smanjuje rizik od nastanka lokalnih i sistemskih komplikacija. Primena poveske, pritisak u povesci i dužina upotrebe tokom operacije određuju se individualno, prema opštem stanju pacijenta.

Literatura

1. Lee C, Porter KM, Hodgetts TJ. Tourniquet use in the civilian prehospital setting. *Emerg Med J*. 2007 Aug;24(8):584-7. doi: 10.1136/emj.2007.046359. PMID: 17652690; PMCID: PMC2660095.
2. Estebe JP, Davies JM, Richebe P. The pneumatic tourniquet: mechanical, ischaemia-reperfusion and systemic effects. *Eur J Anaesthesiol*. 2011 Jun;28(6):404-11. doi: 10.1097/EJA.0b013e328346d5a9. PMID: 21502865.
3. Han J, Zhang XY, Mu SY, Liu SL, Cui QT et al. Tourniquet application in primary total knee arthroplasty for osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Surg*. 2023 Jan 6;9:994795. doi: 10.3389/fsurg.2022.994795. PMID: 36684363; PMCID: PMC9852050.
4. Vaughn N, Rajan N, Darowish M. Intravenous Regional Anesthesia Using a Forearm Tourniquet: A Safe and Effective Technique for Outpatient Hand Procedures. *Hand (N Y)*. 2020 May;15(3):353-359. doi: 10.1177/1558944718812190. Epub 2018 Nov 21. PMID: 30461326; PMCID: PMC7225888.
5. Kizilkurt T, Bayram S, Ekinci M, Ayik Ö, Ergin ÖN, Öztürk İ. Comparing the effect of tourniquet and tranexamic acid on the tibial cement mantle thickness in total knee arthroplasty. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2022 Feb;32(2):263-268. doi: 10.1007/s00590-021-02961-x. Epub 2021 Apr 3. PMID: 33811527.
6. Dennis DA, Kittelson AJ, Yang CC, Miner TM, Kim RH, Stevens-Lapsley JE. Does Tourniquet Use in TKA Affect Recovery of Lower Extremity Strength and Function? A Randomized Trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2016 Jan;474(1):69-77. doi: 10.1007/s11999-015-4393-8. PMID: 26100254; PMCID: PMC4686529.
7. Ahmed I, Chawla A, Underwood M, Price AJ, Metcalfe A et al. Time to reconsider the routine use of tourniquets in total knee arthroplasty surgery. *Bone Joint J*. 2021 May;103-B(5):830-839. doi: 10.1302/0301-620X.103B.BJJ-2020-1926.R1. Epub 2021 Mar 8. PMID: 33683139; PMCID: PMC8091001.
8. Li S, Zhang X, Liu M, Lu Q et al. Not using a tourniquet is superior to tourniquet use for high tibial osteotomy: a prospective, randomised controlled trial. *Int Orthop*. 2022 Apr;46(4):823-829. doi: 10.1007/s00264-021-05246-4. Epub 2021 Oct 22. Erratum in: *Int Orthop*. 2022 Apr;46(4):929. doi: 10.1007/s00264-021-05297-7. PMID: 34677629.

9. Liu G, Xiao L, Zhou X, Teng M, Ma J. Summary of the best evidence for the safe use of pneumatic tourniquet in limb surgery. *BMC Surg.* 2024 Oct 1;24(1):281. doi: 10.1186/s12893-024-02579-w. PMID: 39354486; PMCID: PMC11443628.
10. Ronconi RWF, Moreira LH, de Lima CJ, Neto OP, Osorio RAL. Tourniquets, types and techniques in emergency prehospital care: A narrative review. *Med Eng Phys.* 2023 Jan;111:103923. doi: 10.1016/j.medengphy.2022.103923. Epub 2022 Nov 17. PMID: 36792231.
11. Bae K, Kim G, Aldosari AM, Gim Y, Kwak YH. Sterile Silicone Ring Tourniquets in Limb Surgery: A Prospective Clinical Trial in Pediatric Patients Undergoing Orthopedic Surgery. *J Pers Med.* 2023 Jun 10;13(6):979. doi: 10.3390/jpm13060979. PMID: 37373968; PMCID: PMC10301790.
12. Sahu SK, Tudu B, Mall PK. Microbial colonisation of orthopaedic tourniquets: a potential risk for surgical site infection. *Indian J Med Microbiol.* 2015 Feb;33 Suppl:115-8. doi: 10.4103/0255-0857.150910. PMID: 25657127.
13. Kumar K, Railton C, Tawfic Q. Tourniquet application during anesthesia: "What we need to know?". *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2016 Oct-Dec;32(4):424-430. doi: 10.4103/0970-9185.168174. PMID: 28096570; PMCID: PMC5187604.
14. Kam PC, Kavanagh R, Yoong FF. The arterial tourniquet: pathophysiological consequences and anaesthetic implications. *Anaesthesia.* 2001 Jun;56(6):534-45. doi: 10.1046/j.1365-2044.2001.01982.x. Erratum in: *Anaesthesia* 2001 Aug;56(8):821. Kavanagh R [corrected to Kavanagh R]. PMID: 11412159.
15. Robertson C, Wilson V, Meek RMD, Carter R. Extended Tourniquet Times and the Impact on Wound Healing in Foot Surgery. *Clin Med Res.* 2022 Aug 26;20(3):141-6. doi: 10.3121/cmr.2022.1668. Epub ahead of print. PMID: 36028284; PMCID: PMC9544197.
16. Thatte MR, Hiremath A, Goklani MS, Patel NR, Tawkale AB. Peripheral Nerve Injury to the Lower Limb: Repair and Secondary Reconstruction. *Indian J Plast Surg.* 2019 Jan;52(1):93-99. doi: 10.1055/s-0039-1687921. Epub 2019 May 17. PMID: 31456617; PMCID: PMC6664834.
17. Chang J, Bhandari L, Messana J, Alkabbaa S, Hamidian Jahromi A, Konofaos P. Management of Tourniquet-Related Nerve Injury (TRNI): A Systematic Review. *Cureus.* 2022 Aug 4;14(8):e27685. doi: 10.7759/cureus.27685. PMID: 36072167; PMCID: PMC9440764.
18. Moniz MS, Mascarenhas MI, Escobar C, Nunes P, Abadeso C et al. Rhabdomyolysis as a manifestation of a metabolic disease: a case report. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2017 Jan-Mar;29(1):111-114. doi: 10.5935/0103-507X.20170016. PMID: 28444080; PMCID: PMC5385993.
19. Ružič M, Fabri M, Pobor M, Jovelić A, Lukač D. Rhabdomyoliza nakon ekstremnog fizičkog napora. *Vojnosanitetski preglad.* 2009;66(9):754-7. doi: 10.2298/VSP0909754R
20. Yun DH, Suk EH, Ju W, Seo EH, Kang H. Fatal rhabdomyolysis and disseminated intravascular coagulation after total knee arthroplasty under spinal anesthesia: A case report. *World J Clin Cases.* 2022 Feb 6;10(4):1349-1356. doi: 10.12998/wjcc.v10.i4.1349. PMID: 35211569; PMCID: PMC8855197.
21. Deloughry JL, Griffiths R. Arterial tourniquets. *Contin Edu Anaesth, Crit Care Pain.* 2009;9(2):56-60.
22. Lee YG, Park W, Kim SH, Yun SP, Jeong H et al. A case of rhabdomyolysis associated with use of a pneumatic tourniquet during arthroscopic knee surgery. *Korean J Intern Med.* 2010 Mar;25(1):105-9. doi: 10.3904/kjim.2010.25.1.105. Epub 2010 Feb 26. PMID: 20195412; PMCID: PMC2829407.
23. Koehler SM, Fields A, Noori N, Weiser M, Moucha CS, Bronson MJ. Safety of Tourniquet Use in Total Knee Arthroplasty in Patients With Radiographic Evidence of Vascular Calcifications. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2015 Sep;44(9):E308-16. PMID: 26372757.
24. Woelfle-Roos JV, Dautel L, Mayer B, Bieger R, Woelfle KD, Reichel H. Vascular calcifications on the preoperative radiograph: harbinger of tourniquet failure in patients undergoing total knee arthroplasty? *Skeletal Radiol.* 2017 Sep;46(9):1219-1224. doi: 10.1007/s00256-017-2681-y. Epub 2017 Jun 5. PMID: 28580500.
25. Agrawal A, Arora A, Srivastava AK, Gupta N. Use of Tourniquet During Knee Arthroplasty in Patients With Radiographic Arterial Calcifications. *J Arthroplasty.* 2020 Aug;35(8):2050-2053. doi: 10.1016/j.arth.2020.04.011. Epub 2020 Apr 11. PMID: 32381443.
26. Laloo R, Dewi M, Gwilym BL, Richards OJ, McLain AD, Bosanquet D. Tourniquet use for people with peripheral arterial disease undergoing major lower limb amputations. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023 Jul 18;7(7):CD015232. doi: 10.1002/14651858.CD015232.pub2. PMID: 37462258; PMCID: PMC10355878.
27. Watanabe S, Terazawa K, Matoba K, Yamada N. An autopsy case of intraoperative death due to pulmonary fat embolism--possibly caused by release of tourniquet after multiple muscle-release and tenotomy of the bilateral lower limbs. *Forensic Sci Int.* 2007 Aug 24;171(1):73-7. doi: 10.1016/j.forsciint.2006.07.015. Epub 2006 Aug 22. PMID: 16920305.
28. Hirota K, Hashimoto H, Tsubo T, Ishihara H, Matsuki A. Quantification and comparison of pulmonary emboli formation after pneumatic tourniquet release in patients undergoing reconstruction of anterior cruciate ligament and total knee arthroplasty. *Anesth Analg.* 2002 Jun;94(6):1633-8, table of contents. doi: 10.1097/0000539-200206000-00051. PMID: 12032043.
29. Mokrá D. Acute lung injury – from pathophysiology to treatment. *Physiol Res.* 2020 Dec 31;69(Suppl 3):S353-S366. doi: 10.33549/physiolres.934602. PMID: 33464919; PMCID: PMC8603709.
30. Hacker A, Irvine DS, MacDougal S, Thornton I. The Development of Fat Embolism Syndrome (FES) and Multiple Small Pulmonary Emboli Following Open Reduction Internal Fixation (ORIF) of a Left Femur Fracture: A Case Report. *Cureus.* 2023 Sep 19;15(9):e45551. doi: 10.7759/cureus.45551. PMID: 37868491; PMCID: PMC10586472.
31. Yeo SH, Chang HW, Sohn SI, Cho CH, Bae KC. Pulmonary and cerebral fat embolism syndrome after total knee replacement. *J Clin Med Res.* 2013 Jun;5(3):239-42. doi: 10.4021/jocmr1251w. Epub 2013 Apr 23. PMID: 23671550; PMCID: PMC3651075.

32. Adeyinka A, Pierre L. Fat Embolism. 2022 Oct 31. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. PMID: 29763060.
33. Gupta K, Aggarwal N, Rao M, Verma UC, Anand R. Re-emphasizing the importance of tourniquet time: severe myocardial depression following tourniquet deflation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2008 Jul;52(6):873. doi: 10.1111/j.1399-6576.2008.01663.x. PMID: 18582321.
34. Leurcharusmee P, Sawaddiruk P, Punjasawadwong Y, Chattipakorn N, Chattipakorn SC. The Possible Pathophysiological Outcomes and Mechanisms of Tourniquet-Induced Ischemia-Reperfusion Injury during Total Knee Arthroplasty. *Oxid Med Cell Longev*. 2018 Nov 5;2018:8087598. doi: 10.1155/2018/8087598. PMID: 30524661; PMCID: PMC6247434.
35. Subashri M, Sujit S, Thirumalvalavan K, Poongodi A, Srinivasaprasad ND, Edwin Fernando M. Rhabdomyolysis-associated Acute Kidney Injury. *Indian J Nephrol*. 2023 Mar-Apr;33(2):114-118. doi: 10.4103/ijn.ijn_247_21. Epub 2023 Feb 20. PMID: 37234438; PMCID: PMC10208535.
36. Walters TJ, Torres LN, Ryan KL, Hainline RV, Lipiec SM et al. Rhabdomyolysis After Prolonged Tourniquet Application Is Associated with Reversible Acute Kidney Injury (AKI) in Rats. *Biomedicines*. 2024 Nov 14;12(11):2607. doi: 10.3390/biomedicines12112607. PMID: 39595173; PMCID: PMC11592118.
37. Paquette R, Wampler D, Schaefer R, Blume A, Casillas H et al. Prehospital Tourniquet Usage and Diabetes Mellitus Associated with Increased Incidence, Odds, and Risk of Acute Kidney Injury: A Pilot Study. *Prehosp Disaster Med*. 2022 Jun;37(3):360-364. doi: 10.1017/S1049023X2200067X. Epub 2022 Apr 20. PMID: 35440349.
38. Song JE, Chun DH, Shin JH, Park C, Lee JY. Pulmonary thromboembolism after tourniquet inflation under spinal anesthesia -A case report-. *Korean J Anesthesiol*. 2010 Dec;59 Suppl(Suppl):S82-5. doi: 10.4097/kjae.2010.59.S.S82. Epub 2010 Dec 31. PMID: 21286468; PMCID: PMC3030064.
39. Fukuda A, Hasegawa M, Kato K, Shi D, Sudo A, Uchida A. Effect of tourniquet application on deep vein thrombosis after total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2007 Oct;127(8):671-5. doi: 10.1007/s00402-006-0244-0. Epub 2006 Nov 11. PMID: 17102960.
40. Xie J, Yu H, Wang F, Jing J, Li J. A comparison of thrombosis in total knee arthroplasty with and without a tourniquet: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Surg Res*. 2021 Jun 25;16(1):408. doi: 10.1186/s13018-021-02366-w. PMID: 34172057; PMCID: PMC8228914.
41. Hernandez AJ, Almeida AM, Fávoro E, Sguizzato GT. The influence of tourniquet use and operative time on the incidence of deep vein thrombosis in total knee arthroplasty. *Clinics (Sao Paulo)*. 2012 Sep;67(9):1053-7. doi: 10.6061/clinics/2012(09)12. PMID: 23018303; PMCID: PMC3438246.
42. Zhang P, Liang Y, He J, Fang Y, Chen P, Wang J. Timing of tourniquet release in total knee arthroplasty: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017 Apr;96(17):e6786. doi: 10.1097/MD.0000000000006786. PMID: 28445317; PMCID: PMC5413282.
43. Desai S, Prashantha PG, Torgal SV, Rao R. Fatal pulmonary embolism subsequent to the use of Esmarch bandage and tourniquet: A case report and review of literature. *Saudi J Anaesth*. 2013 Jul;7(3):331-5. doi: 10.4103/1658-354X.115325. PMID: 24015140; PMCID: PMC3757810
44. Cao Q, He Z, Fan Y, Meng J, Yuan T, Zhao J, Bao N. Effects of tourniquet application on enhanced recovery after surgery (ERAS) and ischemia-reperfusion post-total knee arthroplasty: Full- versus second half-course application. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2020 Jan-Apr;28(1):2309499019896026. doi: 10.1177/2309499019896026. PMID: 31965906.
45. Liu Y, Si H, Zeng Y, Li M, Xie H, Shen B. More pain and slower functional recovery when a tourniquet is used during total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020 Jun;28(6):1842-1860. doi: 10.1007/s00167-019-05617-w. Epub 2019 Jul 8. PMID: 31289914.
46. Oktas B, Vergili O. The effect of intensive exercise program and kinesiotaping following total knee arthroplasty on functional recovery of patients. *J Orthop Surg Res*. 2018 Sep 12;13(1):233. doi: 10.1186/s13018-018-0924-9. PMID: 30208939; PMCID: PMC6136220.
47. Lai YH, Xu H, Su Q, Wan XF, Yuan MC, Zhou ZK. Effect of tourniquet use on blood loss, pain, functional recovery, and complications in robot-assisted total knee arthroplasty: a prospective, double-blinded, randomized controlled trial. *J Orthop Surg Res*. 2022 Feb 21;17(1):118. doi: 10.1186/s13018-022-02992-y. PMID: 35189911; PMCID: PMC8862211.
48. Arthur JR, Spangehl MJ. Tourniquet Use in Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg*. 2019 Aug;32(8):719-729. doi: 10.1055/s-0039-1681035. Epub 2019 Mar 1. PMID: 30822788.
49. Schnettler T, Papillon N, Rees H. Use of a Tourniquet in Total Knee Arthroplasty Causes a Paradoxical Increase in Total Blood Loss. *J Bone Joint Surg Am*. 2017 Aug 16;99(16):1331-1336. doi: 10.2106/JBJS.16.00750. PMID: 28816892.
50. Zhang P, Liang Y, He J, Fang Y, Chen P, Wang J. Timing of tourniquet release in total knee arthroplasty: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017 Apr;96(17):e6786. doi: 10.1097/MD.0000000000006786. PMID: 28445317; PMCID: PMC5413282.
51. Sun C, Yang X, Zhang X, Ma Q, Yu P et al. The impact of tourniquet on tibial bone cement penetration in different zones in primary total knee arthroplasty: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2021 Mar 17;16(1):198. doi: 10.1186/s13018-021-02345-1. PMID: 33731155; PMCID: PMC7968365.
52. Pfitzner T, von Roth P, Voerkelius N, Mayr H, Perka C, Hube R. Influence of the tourniquet on tibial cement mantle thickness in primary total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Jan;24(1):96-101. doi: 10.1007/s00167-014-3341-6. Epub 2014 Sep 25. PMID: 25248311.
53. Hegde V, Bracey DN, Johnson RM, Dennis DA, Jennings JM. Tourniquet Use Improves Cement Penetration and Reduces Radiolucent Line Progression at 5 Years After Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2021 Jul;36(7S):S209-S214. doi: 10.1016/j.arth.2020.12.048. Epub 2021 Jan 5. PMID: 33500203.
54. Gapinski ZA, Yee EJ, Kraus KR, Deckard ER, Meneghini RM. The Effect of Tourniquet Use and Sterile Carbon Dioxide Gas Bone Preparation on Cement Penetration

in Primary Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2019 Aug;34(8):1634-1639. doi: 10.1016/j.arth.2019.03.050. Epub 2019 Mar 28. PMID: 31010776.

55. Ozkunt O, Sariyilmaz K, Gemalmaz HC, Dikici F. The effect of tourniquet usage on cement penetration in total knee arthroplasty: A prospective randomized study of 3 methods. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Jan;97(4):e9668. doi: 10.1097/MD.0000000000009668. PMID: 29369184; PMCID: PMC5794368.

56. Sasaki R, Nagashima M, Tanaka K, Takeshima K. Relationship between cement penetration and incidence of a radiolucent line around the tibia 2 years after total knee arthroplasty: A retrospective study. *J ISAKOS*. 2024 Aug;9(4):609-614. doi: 10.1016/j.jisako.2024.05.015. Epub 2024 May 31. PMID: 38825183.