

MULTI-DETECTOR COMPUTED TOMOGRAPHY (MDCT) DIAGNOSTICS IN TOTAL KNEE ARTHROPLASTY - COMPARISON OF DIFFERENT MDCT PROTOCOLS

DIJAGNOSTIKA MULTIDETEKTORSKOM KOMPJUTERIZOVANOM TOMOGRAFIJOM KOD TOTALNE ARTROPLASTIKE KOLENA - POREĐENJE RAZLIČITIH PROTOKOLA MULTIDETEKTORSKE KOMPJUTERIZOVANE TOMOGRAFIJE

Milica Stojadinović^{1,2}, Dragan Mašulović^{1,2}, Marko Kadija^{1,3}

¹ Univerzitet u Beogradu, Medicinski fakultet, Beograd, Srbija

² Univerzitetski klinički centar Srbije, Centar za radiologiju i magnetnu rezonancu, Beograd, Srbija

³ Univerzitetski klinički centar Srbije, Klinika za ortopedsku hirurgiju i traumatologiju, Beograd, Srbija

Correspondence: stmilica.stojadinovic@gmail.com

Abstract

The prevalence of osteoarthritis as a degenerative disease of the knee is constantly increasing. Nearly 30% of individuals greater than 45 years old have radiographic evidence of knee osteoarthritis. The total knee arthroplasty (TKA) is the method of choice for the treatment of advanced osteoarthritis. It represents a surgical procedure in which three articular surfaces of the knee are replaced by the placement of three appropriate prosthetic components. It is estimated that the number of TKA procedures will increase by 673% between 2005 and 2030. There is a definite connection between the accuracy of the implant position and the long-term durability of the prosthesis.

Multidetector computed tomography (MDCT) diagnosis, according to the "Perth CT protocol" in addition to the methods of conventional, "long-leg" radiography and CT scans, provides the best available means for adequate assessment of alignment. It involves CT examination of the limb from the roof of the acetabulum to the talus arch, in supination, neutral position of the leg and maximum knee extension. Post-procedurally, by reformation in the coronal, sagittal and axial planes, seven alignment characteristics, the mechanical and anatomical axis of the leg are determined. The effective dose of radiation at long-leg radiography is about 0,7 mSv, and for MDCT examinations according to the Perth CT protocol about 2,7 mSv.

Henckel and collaborators devised a low-dose CT protocol (Imperial) that achieved a total radiation dose between 0,53 and 0,84 mSv, which is approximately the X-ray dose, and involved separate imaging of the leg at the level of the hip, knee, and ankle while changing certain parameters acquisitions.

Keywords:

total knee arthroplasty,
MDCT,
protocols

Sažetak

Prevalencija osteoartritisa kao degenerativne bolesti kolena stalno raste. Blizu 30% starijih od 45 godina ima radiografske karakteristike osteoartritisa kolena. Totalna artroplastika kolena (TKA) metoda je izbora za tretman uznapredovale forme osteoartritisa. Ona predstavlja hiruršku proceduru u kojoj se tri zglobove površine kolena zamenjuju postavljanjem tri odgovarajuće komponente proteze. Procenjuje se da će se stopa broja TKA povećati za 673% u periodu između 2005. i 2030. godine. Postoji definitivna veza između preciznosti pozicije implanata i dugoročnosti proteze.

Dijagnostika multidetektorskom kompjuterizovanom tomografijom (engl. *multi-detector computed tomography* - MDCT) po *Perth* CT protokolu, pored metoda konvencionalne, radiografije cele noge (engl. *long-leg*) i skenograma kompjuterskom tomografijom (engl. *computed tomography* - CT) daje najbolja raspoloživa sredstva za adekvatnu procenu poravnanja. Podrazumeva CT pregled ekstermiteta od krova acetebuluma do svoda talusa, u supinaciji, neutralnoj poziciji noge i maksimalnoj ekstenziji kolena. Postproceduralno, reformacijom u koronalnoj, sagitalnoj i aksijalnoj ravni, određuju se sedam karakteristika poravnanja, mehanička i anatomska osovina noge. Efektivna doza zračenja pri *long-leg* radiografiji je oko 0,7 mSv, a kod MDCT pregleda po *Perth* CT protokolu oko 2,7 mSv.

Henkel (*Henckel*) i saradnici su osmislili niskodozni CT protokol (*Imperial*), koji je ostvarivao ukupnu dozu zračenja između 0,53 i 0,84 mSv, što je približno dozi rendgenskog snimanja i podrazumevao je separatno snimanje noge u nivou kuka, kolena i članka, uz izmenu određenih parametara akvizicije.

Ključne reči:

totalna artroplastika kolena, MDCT, protokoli

Uvod

Osteoarthritis i totalna artroplastika kolena

Primarni osteoarthritis (OA), poznat kao degenerativni artritis, predstavlja degeneraciju zglobova, uključujući zglobnu hrskavicu i suphondralnu kost, ali i ligamente, kapsulu i sinovijalnu membranu, što dovodi do bola i gubitka funkcije (1,2). Smatra se da 28% populacije starije od 60 godina ima OA (3). Degenerativni artritis je najčešći od svih artritisa, najviše zahvata zglob kolena i češće je zastupljen kod žena (2). Predstavlja jedan od vodećih razloga za invaliditet. Razvija se sporo, progresivnog je toka i može zahvatati jednu ili sve tri glavne zglobne površine zglobova kolena (1).

Blizu 30% populacije starije od 45 godina ima radiografske karakteristike osteoartritisa (marginalne osteofite, suženje zglobnog prostora, suphondralne degenerativne ciste i suphondralnu sklerozu). Međutim, samo polovina od njih ima simptome bolesti (2). Totalna artroplastika kolena (engl. *total knee arthroplasty* - TKA) metoda je izbora kod uznapredovale forme osteoartritisa (4-5). Kurc (*Kurtz*) i saradnici (6) predviđaju da će se stopa broja TKA u Sjedinjenim Američkim Državama povećati za 673% u periodu između 2005. i 2030. godine.

Totalna artroplastika kolena

Totalna artroplastika kolena je invazivna procedura u kojoj se tri zglobne površine kolena (tibija, femur, patela) zamenjuju postavljanjem tri odgovarajuće komponente proteze. Indikovana je tek nakon kontinuiranog bola i pored šestomesečnog konzervativnog tretmana, kod uznapredovalih stadijuma osteoartritisa, kada su iscrpljene sve neoperativne mogućnosti (7). Iako invazivna, TKA je pouzdana procedura. Stopa preživljavanja sa implantom

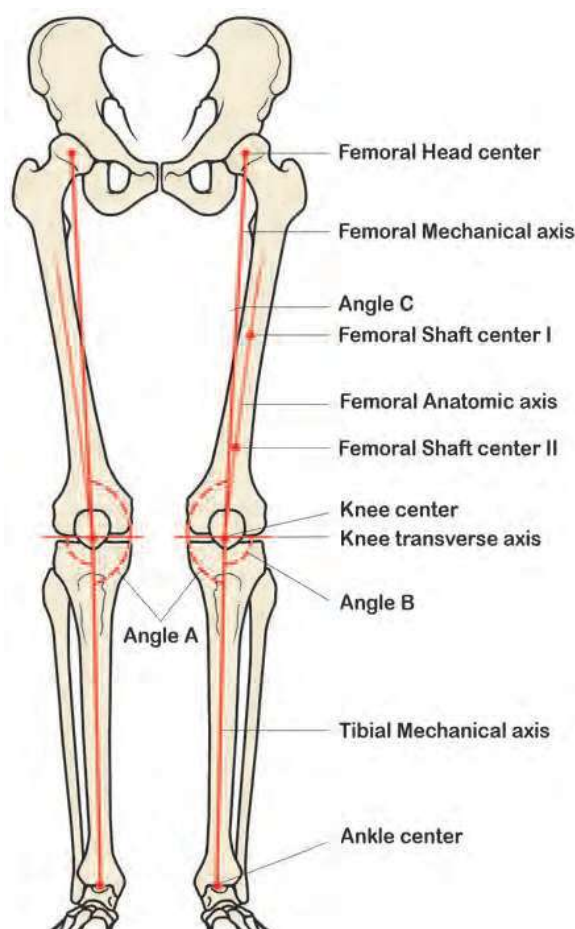
je više od 90% u periodu praćenja od 10 - 15 godina (8). Cilj ove intervencije je oslobađanje bola i dobijanje bolje funkcije kolena, što se postiže pravilnim izborom pacijenata, analizom preoperativnih deformiteta, dizajnom implanta, korektnom operativnom tehnikom i učestvovanjem pacijenta u protokolu rehabilitacije (8).

Za dobijanje dobrih rezultata važno je nekoliko tehničkih zahteva za vreme TKA: korekcija deformiteta, postizanje funkcionalnosti pokreta zglobova i stabilnost, optimalna uravnoteženost mekih tkiva i zadovoljavajuće poravnanje u frontalnoj, sagitalnoj i horizontalnoj ravni (8). Poravnanje predstavlja preciznost pozicije proteze u odnosu na mehaničku i anatomsku osu ekstremiteta (9). Nekorektno poravnanje može voditi ka abnormalnom opterećenju, prevremenom mehaničkom gubitku komponenti i patelofemoralnim problemima (10).

Prema podacima iz literature, poravnanje u frontalnoj ravni treba da bude između 2 i 3 stepena oko neutralnog poravnanja jer proteza u varus poziciji ima manju stopu preživljavanja nego implant u neutralnoj ili valgus poziciji. Istraživanja su pokazala da je, u slučaju kada je mehanička osa 3 stepena u valgus-varus rangu, stopa gubljenja 3%, a ako je većeg stepena ovaj procenat je 24%. Poravnanje u horizontalnoj ravni je praktično značajno zbog stabilnosti ekstenzornog mehanizma, patelarnog opterećenja, nagiba patele, dislokacije proteze ili njenog gubitka. Istraživanja pokazuju da pacijenti sa problemom ekstenzornog mehanizma imaju internu rotaciju femoralne i tibijalne komponente (8,9).

Tehnički, postoji definitivna veza između preciznosti pozicije implanata i dugoročnosti proteze. Pozicija komponenti proteze i poravnanje mehaničke ose mogu biti uzrok polietilenskog opterećenja usled preteranog stresa i na kraju, gubljenja proteze. Postoperativna mehanička osa

donjeg ekstremiteta treba da je prava linija koja prolazi kroz centar kuka, centar kolena i centar gležnja, tako da je zadovoljavajuća pozicija proteze ako je poravnanje unutar 3 stepena od neutralne ose (8, 9, 11) (slika 1).



Slika 1. Ose donjih ekstremiteta

Ugao A predstavlja mehanički fiziološki valgus kolena od 3°. Ugao B predstavlja ugao osnovne tibije, koji je 3° u varusu u odnosu na transverzalnu osu kolena. Ugao C se odnosi na ugao između anatomske i mehaničke ose femura (6° u valgusu). Anatomska osu femura bi trebalo lako odrediti sa dve tačke lokalizovane u centru osovine. Mehanička osa noge prolazi pored ili kroz centar kolena, prostire se do centra glave femura i do centra članka. Preuzeto iz Fosca et al. (8)

Dijagnostika multidetektorskom kompjuterizovanom tomografijom

Perth protokol kompjuterizovanom tomografijom

Određivanje kvaliteta poravnanja predstavlja pravi izazov. Metode konvencionalne, radiografije cele noge (engl. *long-leg*) i CT skenogram (engl. *computed tomography* - CT) procenjene su kao nezadovoljavajuće. Stoga se odlučilo za dijagnostiku multidetektorskom kompjuterizovanom tomografijom (engl. *multidetector computed tomography* - MDCT) po Perth CT protokolu. Ona daje objektivne, senzitivne, numeričke podatke koji se mogu podvrgnuti statističkoj analizi (10-15). Džons (Jones) i saradnici (4) u svom istraživanju pokazali su da MDCT dijagnostika po Perth CT protokolu ima odličnu pouzdanost unutar posmatrača i dobru međuposmatračku pouzdanost za pet od devet izmerenih uglova koji se koriste za

procenu poravnanja komponenti posle TKA, što je čini korisnim sredstvom za predviđanje i uspeh hirurškog ishoda. Trenutno postoje dva objavljena i široko korišćena CT protokola za preoperativno skeniranje i postoperativnu procenu orijentacije i pozicije delova proteze kolena: *Perth* i *Imperial* (16).

Dijagnostika MDCT po Perth CT protokolu daje najbolja raspoloživa sredstva za adekvatnu procenu poravnanja. Podrazumeva CT snimanje odgovarajućeg ekstremiteta od krova acetabuluma do svoda talusa, u supinaciji, sa nogom u neutralnoj poziciji i maksimalnoj ekstenziji kolena. Postproceduralno, reformacijom u koronalnoj, sagitalnoj i aksijalnoj ravni, određuje se sedam karakteristika poravnanja, kao i mehanička i anatomska osovina noge. Kod femoralne komponente se određuju varus/valgus, fleksija/ekstenzija i rotacija, a kod tibijalne varus/valgus, posteriorni nagib i rotacija. Postproceduralno se, takođe, meri zajedničko femoralno i tibijalno poklapanje (10, 16).

Gore navedenih sedam mera poravnanja su važne jer mogu ukazati na moguće komplikacije. Interna rotacija femoralne komponente dovodi do patelarnog „praćenja” i uzrok je anteriornog bola u kolenu, dok neporavnanje u koronalnoj ravni povećava verovatnoću za „gubljenje” komponente. Sagitalno poravnanje je važno jer stepen posteriornog nagiba tibije ukazuje na opseg fleksije kolena i tenzije posteriornog ukrštenog ligamenta. Značaj femoralne fleksije/ekstenzije još uvek nije jasan. Pretpostavlja se da individualni parametri neporavnanja intereaguju i mogu kumulativno da stvaraju veće kliničke probleme (12, 16-19).

Dijagnostika multidetektorskom kompjuterizovanom tomografijom i radiografije

Za postoperativnu evaluaciju optimalnog poravnanja komponentni proteze rutinski se primenjuju anteroposteriorna (AP) i lateralna radiografija kolena, kao i tangencijalno snimanje patele (*Merchant view*) (7). Abu-Rajab i saradnici (20) su pokazali da je *long-leg* radiografija mnogo prikladnija za procenu postoperativnog mehaničkog poravnanja kod TKA u odnosu na standardnu AP radiografiju. Cehic i saradnici (21) su poredili mehaničko poravnanje kod *long-leg* radiografije i Perth CT protokola pre i nakon TKA. Pokazali su da postoji odlično slaganje rezultata preoperativno i dobro slaganje postoperativno, ali da se, zbog drugih informacija koje se dobijaju CT pregledom, savetuje preoperativni CT pregled kod svih bolesnika kod kojih se planira elektivna TKA (21).

Pokazalo se da je MDCT dijagnostika od ekstremne pomoći za evaluaciju stanja kod bolesnika sa bolnom TKA, posebno uz pomoć naprednih multidetektorskih CT aparata sa mogućnostima ostvarivanja boljeg kvaliteta slike i smanjivanjem artefakata od metalnih komponenti proteze. Pregled MDCT pokazao se kao superiornija metoda u odnosu na klasične radiografije kod sledećih komplikacija: „gubljenja” komponenti (CT može da pokaže proširenost i debljinu periprotetičnog rasvetljenja koje se može prevидeti na klasičnoj radiografiji); osteolize (često je okultna

na radiografiji); procene rotacionog poravnanja femoralne komponente koja se odnosi na transepikondilarnu osovinu, kao i u detekciji suptilnih i okultnih fraktura (7,18). Određivanje mera rotacije femoralne i tibijalne komponente radiografski je limitirano, te je CT pregled neizostavan za određivanje ovih vrednosti poravnanja (22).

Priključeni podaci i ankete od pacijenata nakon TKA ukazuju da je 80% njih zadovoljno ishodom. Kod oko 9% onih koji zahtevaju reviziju, bolovi u kolenu i slaba funkcija zgloba bili su posledica nepravilnog kretanja ili nestabilnosti proteze (4).

Imperial protokol

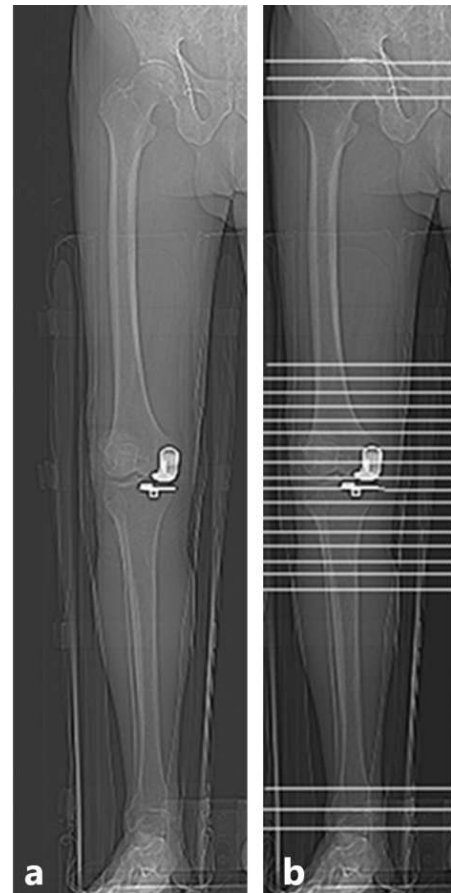
Sve imidžing metode koje koriste jonizujuće zračenje nose potencijalni rizik za razvoj maligniteta i eventualna genetska oštećenja. Nedavna istraživanja ovo ističu kao poseban problem kod mlađih osoba. Procenjeno je da je prosečna godišnja izloženost zračenju po osobi 2,7 mSv u Velikoj Britaniji i 6,2 mSv u SAD (16). Izveštaj Naučnog komiteta Ujedinjenih nacija za efekte atomskih zračenja (engl. *United Nations Scientific Committee for Effect of Atomic Radiation* - UNCASER) za 2020/21 o izloženosti medicinskom zračenju navodi da širom sveta CT čini 9,6% radioloških pregleda i doprinosi 61,6% kolektivne doze zračenja. Srednja vrednost tipične efektivne doze zračenja za CT pregled ekstremiteta iznosi 2,1 mSv (23).

Long-leg AP, stojeća radiografija, ostvaruje dozu zračenja od oko 0,7 mSv, MDCT pregled po *Perth* CT protokolu za donji ekstremitet oko 2,7 mSv, a *Imperial* oko 0,761 mSv (16). Henkel (*Henckel*) i saradnici (16) su osmislili niskodozni CT protokol (*Imperial*) koji je ostvarivao ukupnu dozu zračenja između 0,53 i 0,84 mSv, što je približno dozi na rendgenskom snimanju i podrazumevao je skeniranje samo glave femura, regije kolena od 10 cm ispod i iznad linije zgloba i tibiotalarni zglobovi 2 - 3 cm sa obe strane (**slika 2**).

Protokol je podrazumevao i smanjenje i podešavanje vrednosti mA i kV za svaki deo ponaosob, kao i kolimaciju zavisno od tipa aparata. U poređenju sa standardnim *Perth* CT protokolom, oni su postigli četverostruko nižu efektivnu radijacionu dozu bez gubitka kvaliteta slike. Slike su dobijene u ležećem položaju, bez težinskog opterećenja, ali, pošto je snimanje bilo separatno, spojena mehanička osa je mogla biti izračunata sa potpunom korekcijom za bilo kakvo rotatorno nepravilno poravnanje (16). Prosečna efektivna doza zračenja primljena po CT pregledu pomoću AURORA protokola je $1,24 \pm 0,96$ mSv (24).

Trodimenzijski modeli

Poslednjih godina Vakelin (*Wakelin*) i saradnici (24) dizajnirali su Australijski univerzalni protokol analize resekcije, orijentacije i rotacije (engl. *Australian Universal Resection, Orientation i Rotation Analysis* - AURORA), koji se može primeniti i na zamenu bilo kojeg zgloba. On koristi preoperativni CT pregled za preoperativno planiranje i još jedan postoperativni CT pregled za analizu kako bi se napravio model izračunavanja kolena sa podacima specifičnim za pacijenta. Ovaj model se zatim koristi za



Slika 2. a. Skaut pregleda koji demonstrira *Imperial* protokol; b. Skenirani region od interesa. Preuzeto iz *Henckel* et al. (16)

određivanje postoperativne pozicije komponenti u 3D prostoru. Pomoću AURORA protokola, kretanje pacijenata u CT skeneru može biti otkriveno u bilo kom delu kosti. Međutim, on zahteva obaveznu saradnju sa inženjerima i duže vreme obrade podataka (24).

Merkader (*Mercader*) i saradnici (25) konstruisali su prvi 3D model koji kombinuje kinematiku specifičnu za pacijenta i geometriju njegovih kostiju. Ovaj model vrši merenje pokreta medicinskom sertifikovanom infracrvenom stereo kamerom u kombinaciji sa 3D modelom kostiju pacijenta, prethodno segmentiranim sa CT pregledom. Ovaj model omogućava hirurgu da validira plan operacije, ali i da razume probleme i posledice koje izaziva insercija proteze. Pomeranje unazad (engl. *rollback*) jedan je od najvažnijih pokreta zgloba koji se ovim modelom može kvantifikovati, pružajući uporednu analizu zgloba kolena pre i posle operacije (25).

Zaključak

S obzirom na značaj MDCT pregleda za preoperativno planiranje i postoperativnu evaluaciju kod TKA, tj. na značaj procene poravnanja komponenti proteze kolena i s druge strane, na štetan uticaj jonizujućeg zračenja kod MDCT pregleda, savetuje se veća upotreba niskodoznih MDCT protokola, kako za klasična snimanja, tako i pri kreiranju 3D modela.

Literatura

1. Van Manen MD, Nace J, Mont MA. Management of primary knee osteoarthritis and indications for total knee arthroplasty for general practitioners. *J Am Osteopath Assoc.* 2012; 112(11):709-15.
2. Katz JN, Arant KR, Loeser RF. Diagnosis and Treatment of Hip and Knee Osteoarthritis: A Review. *JAMA.* 2021; 325(6):568-78.
3. Swain S, Sarmanova A, Mallen C, Kuo CF, Coupland C, Doherty M, et al. Trends in incidence and prevalence of osteoarthritis in the United Kingdom: findings from the Clinical Practice Research Datalink (CPRD). *Osteoarthritis Cartilage.* 2020; 28(6):792-801.
4. Jones LC, Wood JA, MacDessi SJ. Interobserver Agreement of Post-operative Perth Computed Tomography Protocol Data in Total Knee Arthroplasty. *Cureus.* 2023; 15(1):343-9.
5. Suchowersky AM, Dickison D, Ashton LA. Current variability in the assessment of component position for the unhappy knee replacement. *ANZ J Surg.* 2020; 90(7-8):1246-52.
6. Ackerman IN, Bohensky MA, Zomer E, Tacey M, Gorelik A, Brand CA, et al. The projected burden of primary total knee and hip replacement for osteoarthritis in Australia to the year 2030. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019; 20(1):90.
7. Expert Panel on Musculoskeletal Imaging; Hochman MG, Melenevsky YV, Metter DF, Roberts CC, Bencardino JT, Cassidy RC, et al. ACR Appropriateness Criteria® Imaging After Total Knee Arthroplasty. *J Am Coll Radiol.* 2017; 14(11S):S421-48.
8. Fosco M, Ben Ayad R, Fantasia R, Dallari D, Tigani D. Concepts in computer assisted total knee replacement surgery. In: Fokter SK, editor. *Recent Advances in Hip and Knee Arthroplasty.* London, UK: InTech; 2012.
9. Minoda Y. Alignment techniques in total knee arthroplasty. *Journal of Joint Surgery and Research.* 2023; 1(1):108-16.
10. Chauhan SK, Clark GW, Lloyd S, Scott RG, Breidahl W, Sikorski JM. Computer-assisted total knee replacement. A controlled cadaver study using a multi-parameter quantitative CT assessment of alignment (the Perth CT Protocol). *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86(6):818-23.
11. Silva AN, Tay YWA, Si Heng ST, Foo SSL, Pang HN, Keng Jin DT, et al. CT-based TruMatch® Personal Solutions for knee replacement Surgery... Does it really match?. *J Orthop.* 2019; 19:17-20.
12. Chauhan SK, Scott RG, Breidahl W, Beaver RJ. Computer-assisted knee arthroplasty versus a conventional jig-based technique. A randomised, prospective trial. *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86(3):372-7.
13. Cherian JJ, Kapadia BH, Banerjee S, Jauregui JJ, Issa K, Mont MA. Mechanical, Anatomical, and Kinematic Axis in TKA: Concepts and Practical Applications. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2014; 7(2):89-95.
14. Hannan R, Free M, Arora V, Harle R, Harvie P. Accuracy of computer navigation in total knee arthroplasty: A prospective computed tomography-based study. *Med Eng Phys.* 2020; 79:52-9.
15. Williams D, Metcalfe A, Madete J, Whatling G, Kempshall P, Forster M, et al. The relationship between alignment, function and loading in total knee replacement: In-vivo analysis of a unique patient population. *J Biomech.* 2020; 112:110042.
16. Henckel J, Richards R, Lozhkin K, Harris S, Rodriguez y Baena FM, Barrett AR, et al. Very low-dose computed tomography for planning and outcome measurement in knee replacement. The imperial knee protocol. *J Bone Joint Surg Br.* 2006; 88(11):1513-8.
17. Chauhan SK, Clark GW, Lloyd S, Scott RG, Breidahl W, Sikorski JM. Computer-assisted total knee replacement. A controlled cadaver study using a multi-parameter quantitative CT assessment of alignment (the Perth CT Protocol). *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86(6):818-23.
18. Math KR, Zaidi SF, Petchprapa C, Harwin SF. Imaging of total knee arthroplasty. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2006; 10(1):47-63.
19. Holme TJ, Hirschmann MT, Henckel J. Determination of component orientation and position in patients after total knee replacement. In: Hirschmann MT, Becker R, editors. *The Unhappy Total Knee Replacement: A Comprehensive Review and Management Guide.* Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2015; p. 359-69.
20. Abu-Rajab RB, Deakin AH, Kandasami M, McGlynn J, Picard F, Kinninmonth AW. Hip-Knee-Ankle Radiographs Are More Appropriate for Assessment of Post-Operative Mechanical Alignment of Total Knee Arthroplasties than Standard AP Knee Radiographs. *J Arthroplasty.* 2015; 30(4):695-700.
21. Cehic M, Jackman E, Wilson C. Long Leg Radiographs vs CT Perth protocol: mechanical alignment analysis. *Open Access J Biomed Sci.* 2022; 4(4):1981-5.
22. De Valk EJ, Noorduyn JC, Mutsaerts EL. How to assess femoral and tibial component rotation after total knee arthroplasty with computed tomography: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016; 24(11):3517-28.
23. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2020/21 report to the General Assembly, Appendix B: Levels and trends of exposure in diagnostic radiology. United Nations: New York, USA, 2022.
24. Wakelin EA, Tran L, Twigg JG, Theodore W, Roe JP, Solomon MI, et al. Accurate determination of post-operative 3D component positioning in total knee arthroplasty: the AURORA protocol. *J Orthop Surg Res.* 2018; 13(1):275.
25. Mercader A, Röttinger T, Bigdeli A, Lüth TC, Röttinger H. A patient-specific 3D model of the knee to compare the femoral rollback before and after total knee arthroplasty (TKA). *J Exp Orthop.* 2021; 8(1):2.