

Datornavigācijas sistēma ortopēdijā – viedais asistents ceļa endoprotezēšanas operācijās

Rūdolfs Vētra, Rīgas Stradiņa universitātes rezidents traumatoloģijā un ortopēdijā, Traumatoloģijas un ortopēdijas slimnīca

Sandris Petronis, traumatologs ortopēds, Rīgas 2. slimnīcas valdes priekšsēdētājs, Rīgas Stradiņa universitātes Ortopēdijas katedras docētājs

Skeleta-muskuļu sistēmas funkcionālie traucējumi un slimības bieži var izraisīt smagu un pastāvīgu invaliditāti. Ķirurģiskās ārstēšanas metožu pēcooperācijas rezultāts ir atkarīgs no precizitātes, ar kādu tā tiek veikta. Piemēram, ceļa locītavas endoprotezēšanas gadījumā maksimāli precīza kaulu apzāģēšana jeb osteotomija, kam seko implantu ievietošana locītavā, nosaka endoprotēzes kalpošanas ilgumu un samazina iespējamo komplikāciju risku. Jo precīzāk veikta operācija, jo mazāks ir arī iespējamo komplikāciju risks. [1]

Viens no rīkiem ir digitālā ortopēdija jeb datorizētu ortopēdisko ķirurģijas sistēmu lietošana praksē. [1] Vēsturiski datorizētā navigācijas sistēma tika izstrādāta, lai optimizētu kaulu zāģējumus. [18] Šādu sistēmu izstrāde aizsākusies 1990. gadu sākumā Grenoblē, Francijā, bet 2000. gadu sākumā par “zelta standartu” kļuva optoelektronisko izsekotāju, marķieru un navigācijas darbstacija ar vadības sistēmu. Agrīnie pētījumi rādīja, ka datornavigācijas ar konvencionālo pieeju izmantošana pagarināja operācijas laiku, taču mūsdienās šī atšķirība vairs nav nozīmīga, turklāt šī metode ir vērtīga pacientiem, kuriem ir ļoti izteikta ceļa locītavas deformācija jau pirms operācijas. [8] Sistēma tika pielāgota saišu līdzsvara intraoperatīvai vadībai, un tika definēts fizioloģiskais ceļgala locītavu kustību apjoms, lai novērstu iespējamās kļūdas, kas saistītas ar atšķirību starp izmantotajām mērīšanas sistēmām. [18] Datornavigācija sniedz iespēju ķirurģiem intraoperatīvi reāllaikā atsoguļot operējamās vietas virtuālo attēlu datorierīcē un pārvaldīt operācijas gaitu. [1]

Latvija bija pirmā valsts Baltijā, kur 2003. gada sākumā tika ieviesta tolaik jaunākā medicīnas tehnoloģija Eiropā, proti, Vācijā izstrādātā datornavigācijas sistēma *Orthopilot*. Pirmā ārstniecības iestāde, kur sāka lietot navigācijas sistēmu, bija Rīgas 2. slimnīca, kuras galvenais darbības virziens ir kustību balsta sistēmas slimību ārstēšana un rehabilitācija, kā arī neatliekamā medicīniskā palīdzība smagu skeleta traumu gadījumos. Šobrīd tiek izmantota jau piek-

tās paaudzes datornavigācijas sistēma. Sistēma sastāv no datora, infrasarkanu staru kameras un optiskiem sensoriem. Ar sensoru palīdzību tiek apkopoti dati par kaulu anatomiju un locītavu funkciju. Balstoties uz iegūto informāciju, dators aprēķina un uz ekrāna attēlo ceļa locītavas modeli. Operācijas laikā ar šī virtuālā modeļa palīdzību tiek plānotas osteotomijas, pēc tam kontrolēts veikto kaula griezumumu rezultāts. Ja nepieciešams, veic korekcijas un turpina nākamo soli. [19] Šī datorsistēma ir labs palīgs, lai ķirurgs veiktu sava darba kontroli operācijas laikā, kas citādi jāveic izmantojot mehāniskas ierīces un balstoties uz ķirurga pieredzi. Operācijas noslēgumā tiek iegūta

Sveicam! Par nopelniem medicīnā un pašizlīdzīgo profesionālo ieguldījumu pacientu ārstniecībā Rīgas 2. slimnīcas valdes priekšsēdētājs

SANDRIS PETRONIS

apbalvots ar Atzinības krustu un iecelts par Atzinības krusta komandieri

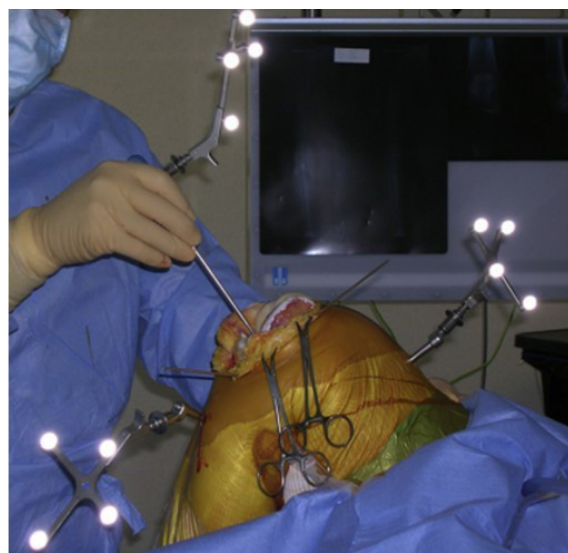
informācija par kājas mehānisko asi, kas arī nosaka operācijas rezultātu ilgtermiņā. Ar datornavigācijas palīdzību varam panākt pareizu implantu novietojumu frontālajā un sagitālajā plaknē, kas būtu ne vairāk kā 3° atšķirībā no ideāla implanta novietojuma. [10]

Datornavigācijas sistēma *Orthopilot* sniedz iespēju precīzi pozicionēt implantu trijās dimensijās. Datorprogramma pielāgo konkrēto protēzi pacientam un samazina ķirurga subjektīvā novērtējuma kļūdas risku, ievietojot endoprotēzi. Izmantojot šo medicīnisko tehnoloģiju, operācijas ilgums netiek būtiski ietekmēts, turklāt ir iespējams saņemt operācijas novērtējumu. (skat. 1. attēlu)

Neprecīza osteotomija jeb kaula apzāģēšana var saīsināt protēzes kalpošanas ilgumu, kā arī rezultētēs sliktākos funkcionālos rezultātos. Datornavigācijas lietošana ir vērtīga šādu neprecizitāšu atpazīšanā un novēršanā. [3]

Raksta autori 2020.–2021. gadā Rīgas 2. slimnīcā veica pētījumu, lai novērtētu in-

1. attēls | Datornavigācijas sistēmas pielietošana endoprotezēšanas laikā [6]



traoperatīvās zāģējuma kļūdas, izmantojot datornavigācijas sistēmu totālas ceļa locītavas endoprotezēšanas operācijās pacientiem ar izteiktu ceļa locītavas osteoartrītu.

Ceļa locītavas osteoartrīts, arī osteoartroze ir locītavu slimības veids, kad nav dabiskās amortizācijas starp locītavām, kauliem un skrimšļiem. Šīs situācijas rezultātā rodas sāpes, pietūkums, stīvums un samazinās ceļa kustības diapazons un spēja staigāt. Iespēja saslimt ar osteoartrītu palielinās pēc 45 gadu vecuma. Saskaņā ar ASV Artrīta fonda datiem biežāk osteoartrīts ir novērojams sievietēm, kā arī pacientiem ar aptaukošanos. [17]

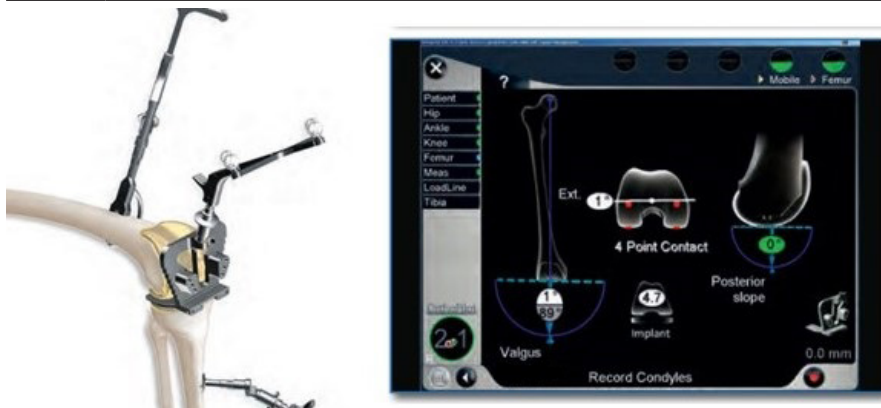
Slimībai vai patoloģijai progresējot, parādās pastāvīgas sāpes un kustību traucējumi, kā rezultātā pasliktinās cilvēka dzīves kvalitāte un ikdienā ir jāizmanto ratiņkrēsls vai maksimāli jāizvairās no kustībām. Pacientiem ar smagu deformāciju un progresējošu osteoartrītu veic pilnīgu ceļa locītavas endoprotezēšanu, kas nodrošina sāpju mazināšanu un palielina locītavas kustību amplitūdu. Ceļa locītavas endoprotezēšana ir ķirurģiska procedūra, kuras laikā tiek veikta slimas locītavas aizvietošana ar mākslīgu locītavu jeb endoprotēzi. [17]

Atbilstoši Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācijas (OECD) pētījumiem kopš 2000. gadu sākuma ceļgala protezēšanas operāciju skaits ir strauji pieaudzis lielākajā daļā valstu. Pilnīga ceļa locītavas endoprotezēšana tiek veikta 70 no 100 000 iedzīvotājiem Latvijā, un ir ar tendenci pieaugt gan Latvijā, gan Eiropā kopumā. [7]

Precīza kājas ass atjaunošana ir viens no galvenajiem faktoriem, lai iegūtu labu ilgtermiņa rezultātu pēc pilnīgas ceļa locītavas endoprotezēšanas operācijas. Datornavigācijas sistēmas pielietošana ļauj izmērīt kaula griezuma kļūdu intraoperatīvi, tādējādi iegūstot vērtīgu informāciju par kaula griezuma precīzumu un ļauj ārstam veikt labojumus operācijas laikā. Pat, ja viss pirms griezuma ir nomērīts pareizi, tāpat iespējama griezuma kļūda, kas ir atkarīga no daudziem faktoriem, piemēram, kaulviela deformācijas pusē var būt cietāka un līdz ar to kļūt par neprecīzu griezuma cēloni. [6]

Pilnīga ceļa locītavas endoprotezēšana ir kļuvusi par vienu no visveiksmīgākajām ārstēšanas metodēm ortopēdiskajā ķirurģijā, nodrošinot labus ilgtermiņa rezultātus, proti, pacientiem tiek samazinātas sāpes, uzlabojas funkcionālitate un palielinās vispārējā pacienta apmierinātība. Datornavigācijas pielietošana ļauj veikt arī minimāli invazīvu

2. attēls | Primārā implanta distālo un mugurējo kondiļu registrācija ar augšstilba datornavigācijas sensora palīdzību [19]



pieeju, kas pacientiem nodrošina mazākas pēcoperācijas sāpes, mazāku asins zudumu, jo femorālais kanāls netiek atvērts, kā arī paātrina rehabilitāciju. [16]

Ar navigāciju vadāma datorizēta pilnīga ceļa endoprotezēšana galvenokārt tiek ieviesta, lai uzlabotu implantācijas precizitāti, salīdzinot ar parasto tehniku. Optimāla komponentu izlīdzināšana ar mehānisko apakšējo ekstremitāšu asi 3° varus/valgus robežās ir svarīgs ilgmūžības rādītājs, ka pilnīga ceļa endoprotezēšana ir veikta veiksmīgi. Rezultātā tiek sagaidīta ne tikai augstāka pilnīgas ceļa endoprotēzes ilgturība, bet arī uzlabots pēcoperācijas klīniskais rezultāts. [9] Pēdējo 10–15 gadu laikā vairāki autori ziņojuši par pēcoperācijas klīniskās un radioloģiskās novērošanas datiem, salīdzinot parastajā un datornavigācijas tehnikā veiktu pilnīgu ceļa endoprotezēšanas operāciju. [15]

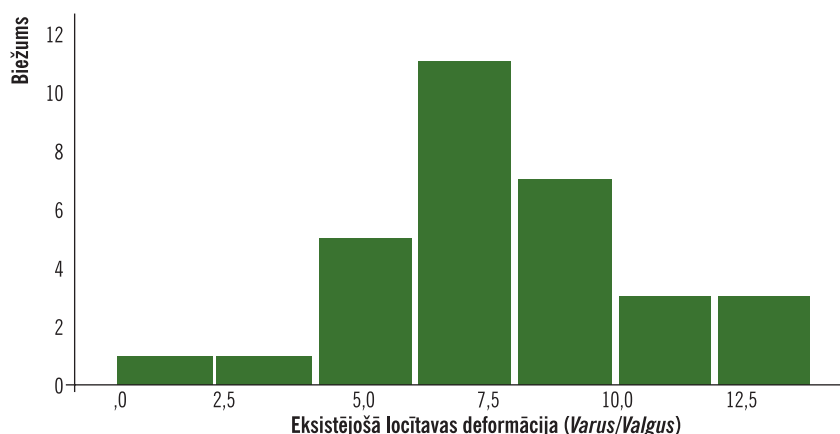
Precīzai kāju izlīdzinājuma rekonstrukcijai ir izšķiroša nozīme kopējā ceļa locītavas endoprotezēšanas operācijā. Viens no iemesliem, kādēļ var rasties komponentu ne-

pareizs izvietojums, ir kaula rezekcijas veids. Autoru pētījuma mērķis bija novērtēt intraoperatīvo zāģējumu kā iespējamu neprecizitātes cēloni pilnīgas ceļa locītavas endoprotezēšanas operācijās. (skat. 2. attēlu) [15]

Pētījuma grupā bija 39 pacienti. Lielākā daļa no tiem jeb 77% bija sievietes ($n=30$). Pacientu vidējais vecums operācijas brīdī bija 68,24 gadi ($SD=10,54$). Visiem pētījumā iekļautajiem pacientiem ($n=39$) tika diagnosticēts ievērojams ceļa locītavas osteoartrīts (M-17, SSK-10) (skat. 3. attēlu), un visiem pētītajiem dalībniekiem tika veikta pilnīga ceļa locītavas endoprotezēšana, izmantojot Aesculap OrthoPilot 5.0 navigācijas datorsistēmu. Informācija par pacientiem tika iegūta no Rīgas 2. slimnīcas arhīva materiāliem, tostarp, informācija par pacienta deformāciju operācijas laikā, kaulu griešanas kļūdu mērījumi.

Kā rāda rezultāti, biežākā pieļautā osteotomijas kļūda, kas tika novērota 20 jeb 51,3% gadījumu, bija tā, ka ciskas jeb augšstilba kauls tika nozāģēts vairāk eksten-

3. attēls | Pacientiem jau eksistējošā locītavas deformācija pirms osteotomijas veikšanas [Vētra&Petronis, 2021]



sijas pozīcijā nekā intraoperatīvi ielānotājā kaula rezekcijā. 13 pacientiem operācijas kļūda bija viena grāda robežās, bet septiņiem pētījuma dalībniekiem – divu grādu robežās. Lielāka augšstilba kaula nozāģēšana fleksijas pozīcijā tika datēta diviem jeb 5,13% pacientu. Atbilstoši rezultātiem otra biežākā osteotomijas kļūda, respektīvi, stilba kauls nogriezts vairāk ekstensijas pozīcijā, tika novērots 11 pacientiem jeb 28,21% pētījumā ietvertu dalībnieku.

Gadījums, kad ciskas kauls tika nogriezts vairāk fleksijas pozīcijā, tika novērots divās no 39 operācijām. Autori secina, ka 94,8% pacientu operācijas laikā tika novērota kāda veida osteotomijas griezumuma kļūda.

Saskaņā ar rezultātiem šo osteotomijas kļūdu konstatēšanu operācijas laikā ir iespējams novērst. Aktuālākie salīdzinošie pētījumi norāda, ka tradicionālās ķirurģiskās metodes var būt līdzvērtīgas, ja tiek īstenota precīza pirmsoperācijas datorizēta plānošana. Pētījuma "Datorizētā plānošana ar precīzu ieviešanu ķirurģiskajā tehnikā pilnīgā ceļa endoprotezēšanā ir tikpat precīza kā intraoperatīvā navigācija" mērķis bija noteikt, vai intraoperatīvās navigācijas sistēmas priekšrocības pilnīgas ceļa endoprotezēšanas laikā var sasniegt, precīzi īstenojot pirmsoperācijas datorizētu plānošanu. Pamatojoties uz datiem par visiem pacientiem (n=100), kuriem 2015. un 2016. gadā pirmāri tika veikta pilnīga ceļa endoprotezēšana, tika izdalītas divas grupas:

- konvencionāli veikta pilnīga ceļa endoprotezēšana bez navigācijas sistēmas;
- operācija ar optisko navigācijas sistēmu.

Dati par vecumu, dzimumu, datumu, operācijas laiku, smagām komplikācijām un pirmsoperācijas un pēcoperācijas salīdzinājumu tika apkopoti retrospektīvi. Rezultāti apstiprināja senākus datus, ka abas grupas neatšķiras pēcoperācijas rezultātu ziņā. Turklāt nebija atšķirību attiecībā uz komplikācijām un uzturēšanās ilgumu slimnīcā, bet operācijas laiks tika pagarināts grupā ar navigācijas palīdzību. [9]

Feihtingera un kolēģu pētījumā tika salīdzināta dzimuma un ķermeņa masas indeksa faktoru atšķirība starp intraoperatīvajiem un pēcoperācijas mērījumiem. Rezultāti liecina, ka, operācijas laikā saglabājot precīzu implantu ievietošanas diapazonu, pareizu pēcoperācijas izlīdzināšanu var panākt pacientiem gan ar augstu, gan zemu ķermeņa masas indeksu. [12]

Tradicionālajā ortopēdijā topošo speciālistu apmāca pieredzējis ārsts, bet, pateicoties virtuālās realitātes tehnoloģijām, datornavigācija var palīdzēt topošiem ķirurgiem uzskatāmi sekot līdz operācijas gaitai un soliem, lai reāllaikā redzētu, kā plānošana un katrs solis ietekmē operācijas rezultātu. Jaunie speciālisti, kas apmācīti, izmantojot datornavigāciju, iegūst papildus zināšanas un prasmes, kas var palīdzēt veikt operācijas ātri un precīzi, salīdzinot ar tiem, kuriem bijusi tikai tradicionālā apmācība. [1]

Neskatoties uz visu panākto progresu, joprojām ir daudz darāmā datorizētu ortopēdisko ķirurģisko navigācijas sistēmu izpētē un attīstīšanā. Darbs balstās uz nepārtrauktu dialogu starp inženieriem un veselības aprūpes speciālistiem, lai izprastu viens otra

perspektīvas un saglabātu galveno mērķi – nodrošināt rentablaķas un drošākas tehnoloģijas un pacientu aprūpi. [5]

M. Wang ar pētnieku komandu uzsver, ka nākotnē ir jāizstrādā robotizētas ķirurģiskās navigācijas sistēmas ar multimedālu saplūšanu, robotu attēlveides funkciju. [4] Citi pētījumi rāda, ka ortopēdiskajās operācijās datorizētās tehnoloģijas izmanto mazāk nekā 5% ķirurgu ASV, turpretim Eiropā un Āzijā tās tiek pielietotas regulāri. [2]

Aktīvās navigācijas platformas, piemēram, lielākā daļa robotu sistēmu, novērs ķirurga instrumenta novirzi no iepriekš noteiktas trajektorijas. Pasīvā navigācija neierobežo ķirurga kustību, un instrumentālā projektētā trajektorija var tikt parādīta 3D modelī. [13]

Citviet pasaulē izmanto jaunus rīkus, kas integrē ķirurģisko instrumentu izsekošanu un paplašināto virtuālo realitāti, izmantojot uz galvas piestiprinātu displeju. Tas ļauj ķirurgam vizualizēt kaulus ar ilūziju, ka viņiem ir "rentgena" redze. Hologrāfiskā telpā var izsekot atrašanās vietu ķirurģiskā instrumenta galā, kas savukārt var uzlabot diagnostikas precizitāti un ļaut veikt drošākas un precīzākas operācijas, kā arī nodrošināt labākus mācību apstākļus ortopēdijas jomas ķirurgu apmācībā. [14]

Kopumā datornavigācijas pielietošana ceļa locītavas endoprotezēšanas operācijās ir labs rīks gan plānojot, gan kontrolējot intraoperatīvi katru operācijas etapu, kas palīdz operāciju veikt ātri un ievietot implantus maksimāli precīzi.

Literatūra

1. Picard, F., Deakin, A.H., et al. Computer Assisted Orthopaedic Surgery: Past, Present and Future. *Computer assisted orthopaedic surgery: past, present and future. Medical Engineering and Physics*, 2019, 72, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2019.08.005>
2. Kubicek, J., Tomanec, F., Cerny, M., et al. Recent Trends, Technical Concepts and Components of Computer-Assisted Orthopedic Surgery Systems: A Comprehensive Review. *Sensors*, 2019, 19(23), 5199; <https://doi.org/10.3390/s19235199>
3. Karkenny, A.J., Mendelis, J.R., Geller, D.S., et al. The Role of Intraoperative Navigation in Orthopaedic Surgery. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2019, Vol. 27(19), p. e849–e858, DOI: 10.5435/JAAOS-D-18-00478
4. Wang, M., Li, D., Shang, X., Wang, J. A review of computer-assisted orthopaedic surgery systems. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 2020. <https://doi.org/10.1002/rcs.2118>
5. Hernandez, D., Garimella, R., Eltorai, A.E., Daniels, A.H. *Computer-assisted Orthopaedic Surgery*, 2017, Vol. 9, Issue 2. <https://doi.org/10.1111/os.12323>
6. Saragaglia, D. More than 20 Years Navigation of Knee Surgery with the OrthoPilot Device. *Handbook of Robotic and Image-Guided Surgery*, Vol. 1, 2020, pp. 425–441, 10.1016/b978-0-12-814245-5.00025-6.
7. Hip and Knee Replacement. *Health at a Glance 2019: OECD Indicators*. OECD Library. www.oecd-ilibrary.org/sites/2fc83b9a-en/index.html?itemId=/content/component/2fc83b9a-en
8. Rupp, M., Walter, N., Lau, E., et al. Recent trends in revision knee arthroplasty in Germany. *Scientific Reports*, 2021, 11: 15479, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94988-7>
9. Burchard, R., Burazin, K., Soost, C., et al. Computer-aided planning with exact implementation into surgical technique in TKA is as accurate as intraoperative navigation. *Technology and Health Care*, 2018, Vol. 26, No. 3, pp. 515–522.
10. Novoa-Parra, C.D., Sanjuan-Cerveró, R., Iglesia, N.H. Importance of the gender and preoperative knee sagittal alignment to avoid unnecessary tibial resection in TKR. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 2020, 31(7). <https://doi.org/10.1007/s00590-020-02773-5>
11. Reuven, A., Algarni, A.D., Aoude, A., et al. Midterm functional outcomes of imageless navigation-assisted total knee arthroplasty. *Saudi Journal of Sports Medicine*, 2017, Vol. 17, Issue 3, pp. 135–138.
12. Feichtinger, X., Kolbitsch, P., Kocjan, R., et al. How Accurate is Intraoperative Alignment Measurement with a Navigation System in Primary Total Knee Arthroplasty? *Journal of Knee Surgery*, 2018; 31(05), pp. 467–471. DOI: 10.1055/s-0037-1604149
13. Shahbaaz, A.S., York, P.J. Preoperative planning for intraoperative navigation guidance. *Annals Translational Medicine*, 2021. 9(1): 87. DOI: 10.21037/atm-20-1369
14. Teatini, A., Kumar, R.P., Elle, O. J. & Wiig, O. Mixed reality as a novel tool for diagnostic and surgical navigation in orthopaedics. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2021, Vol. 16, pp. 407–414.
15. Cip, J., Obwegeser, F., Benesch, T., et al. Twelve-Year Follow-Up of Navigated Computer-Assisted Versus Conventional Total Knee Arthroplasty. A Prospective Randomized Comparative Trial. *The Journal of Arthroplasty* 33 (2018), pp. 1404–1411.
16. Zhu, M., Ang, C.L., Yeo, S.J., et al. Minimally Invasive Computer-Assisted Total Knee Arthroplasty Compared With Conventional Total Knee Arthroplasty: A Prospective 9-Year Follow-Up. *The Journal of Arthroplasty*, 31 (2016), pp. 1000–1004
17. Synder, M., Altimimi, M., Borowski, A., et al. Evaluation of Outcomes of Total Knee Replacement with and without a Navigation System. *Ortopedia Traumatologia Rehabilitacija*, 2016; 3(6); Vol. 18, pp. 251–261. DOI: 10.5604/15093492.1212869
18. Picard, F., Deakin, A.H., Clarke, I.V., et al. A quantitative method of effective soft tissue management for varus knees in total knee replacement surgery using navigational techniques. *Journal of Engineering in Medicine*, 2007; 221, pp. 763–772.
19. OrthoPilot KneeSuite-TKR Columbus® Knee Surgical Technique, 2016.
20. Pjejjams: <https://www.aesclapimplantsystems.com/en/healthcare-professionals/orthopaedics/orthopilot-navigation-system.html>