

Röntgenalapú tervezőszoftver pontosságának vizsgálata primer térdprotézis-beültetések esetén*

DR. SZILÁGYI GÁBOR SÁNDOR, DR. HOLNAPY GERGELY,
DR. BEJEK ZOLTÁN

DOI: <https://doi.org/10.21755/MTO.2025.068.0104.003>

ÖSSZEFOGLALÁS

A térdízületi arthroplastica során a tervezés döntően befolyásolja a műtét kimenetelét. A mindennapi ortopédiai gyakorlatban elterjedten használt kétdimenziós, röntgenalapú tervezőszoftverek előnyei közé tartozik azok elérhetősége, alacsony költsége és a többlet sugárterhelés elkerülése. Ugyanakkor pontosságuk korlátozott, különösen a térdprotézis-beültetések esetében, ahol a komplex anatómiai viszonyok és tengelyeltérések kihívást jelentenek. Vizsgálatunk célja az volt, hogy azonosítsuk azokat a demográfiai és morfológiai tényezőket, amelyek befolyásolhatják a kétdimenziós szoftverek méretbecslésének pontosságát. A kutatáshoz a Semmelweis Egyetem Ortopédiai Klinikáján 2024-ben végzett térdprotézis-műtétek során keletkezett röntgenfelvételeket és betegadatokat használtuk. A vizsgált tényezők között szerepelt az életkor, nem, testmagasság, testsúly, testtömeg-index (BMI), valamint az alsó végtagi tengelyeltérések. Eredményeink alapján a szoftver az esetek 35%-ában pontosan meg tudta jósolni a végül beültetett implantátumok méretét, ugyanakkor az esetek 16%-ában legalább két méretnyi eltérés tapasztalható volt a tervezés és a tényleges beültetés között. Bár több tényező is korrelációt mutatott a tervezés pontosságával (pl. testmagasság, életkor), statisztikailag szignifikáns kapcsolatot kizárólag a férfi nem esetében találtunk, amely hajlamosító tényezőnek bizonyult a pontatlanságra ($p = 0,01$). Összességként elmondható, hogy bár a kétdimenziós tervezőszoftverek nem minden esetben nyújtanak tökéletes pontosságot, előnyeik miatt továbbra is megbízható eszközök a preoperatív tervezés során a napi klinikai gyakorlatban.

Kulcsszavak: *Arthroplastica, térd; Computer tomográfia; Sebészi tervezés; Statisztika; Térdízület – Diagnosztika;*

* A 2025-ös Zinner Nándor Pályázat díjnyertes közleménye

G. S. Szilágyi, G. Holnapy, Z. Bejek: *Evaluation of the accuracy of two-dimensional digital templating in primary total knee arthroplasty*

During knee arthroplasty, surgical planning plays a crucial role in determining the procedure's outcome. Two-dimensional, X-ray-based planning software, widely used in everyday orthopedic practice, offers several advantages, including accessibility, low cost, and avoidance of additional radiation exposure. However, their accuracy is limited, particularly in total knee replacement surgeries, where complex anatomical conditions and limb axis deviations present challenges. Our study aimed to identify demographic and morphological factors that may influence the accuracy of implant size prediction by two-dimensional planning software. For our research, we used radiographs and patient data from knee replacement surgeries performed in 2024 at the Department of Orthopedics, Semmelweis University. The factors examined included age, sex, height, weight, body mass index (BMI), and lower limb axis deviations. Based on our results, the software accurately predicted the size of both implanted prostheses in 35% of cases; however, in 16,5% of cases, there was a discrepancy of at least two sizes between the planned and the implanted components. Although several factors (such as height and age) showed correlation with planning accuracy, statistical significance was found only in the case of male sex, which proved to be a predisposing factor for inaccuracy ($p = 0.01$). In conclusion, although two-dimensional planning software may not provide perfect accuracy in all cases, its advantages make it a reliable tool for preoperative planning in routine clinical practice.

Keywords: *Arthroplasty, replacement, knee; Preoperative Care; Statistics as Topic; Surgery, Computer-Assisted – Methods; Tomography, X-Ray Computed;*

BEVEZETÉS

A műtéti tervezés napjainkra elengedhetetlen részévé vált az ortopédia eszköztárának. A gondosan megtervezett artroplasztikai beavatkozások számos előnnyel járnak a páciens, az operatőr, illetve az ellátórendszer számára is. A komponensek pontos méretének meghatározásával csökkenthető az alul-, illetve túlméretezés kockázata, melyek instabilitáshoz, vagy impingement-hez vezethetnek (2, 9). Az implantátumok optimális pozícionálásával növelhető a protézis várható élettartama (5), pontosabban helyreállítható a végtag tengelye és hossza (1, 8), illetve elkerülhető a nagy mértékű csontvesztés. A műtéti idő lerövidítésével pedig csökken a fertőzések kockázata (14), valamint a vérvesztés is (12).

Bár mára elérhetőek háromdimenziós tervezőszoftverek is (7), magas költségük és nagy relatív sugárterhelésük miatt a mindennapi gyakorlatban nem ezek a technikák, hanem a kétdimenziós, röntgenalapú tervezőszoftverek terjedtek el. Ezek a metódusok az operálandó végtagról készült kétirányú röntgenfelvételek alapján képesek a tervezett műtét modellezésére. Fő előnyük,

hogy használatukhoz (a műtéti indikációhoz amúgy is szükséges röntgeneken túl) nincs szükség további képalkotó vizsgálatra, így nem járnak sem többletköltséggel, sem felesleges sugárterheléssel.

A kétdimenziós tervezőszoftverek ugyanakkor nem mindig pontosak. Bár csípőprotézis-műtétek esetén a megtervezett implantátumok nagyrészt megegyeznek a beültetett komponensekkel (2), térdprotézisek esetén már jóval kisebb ez az arány. A tervezés során a femoralis komponensek 35,4–64%-át, a tibialis komponenseknek pedig 28,7–68%-át sikerül pontosan megtervezni (4, 9, 11, 13, 15, 16). A pontatlanság fő oka az, hogy a térdízület anatómiája összetettebb, ennek megfelelően pontos leképezéséhez nem minden esetben elegendő a kétdimenziós képalkotás. Kutatások megmutatták, hogy térdprotézis-beültetések esetén a páciensek neme (13) meghatározhatja a tervezés pontosságát. Bár a képalkotásban nehézséget jelent, a páciensek obezitása önmagában nem ront a tervezés megbízhatóságán (13). Meglepő módon a tervezést végző személy szakképzettsége nem befolyásolja a tervező precizitását (13).

CÉLKITŰZÉS

Munkánk célja az Ortopédiai Klinikán primer térdprotézis-beültetések során használt röntgenalapú tervezőszoftver pontosságának vizsgálata volt. Emellett szeretnénk volna megvizsgálni az ezt befolyásoló tényezőket is.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Adatgyűjtés, beteganyag

Retrospektív kutatásunkhoz a Semmelweis Egyetem Ortopédiai Klinikáján 2024-ben primer térdprotézis-beültetésen átesett betegek adatait elemeztük, amelyek összegyűjtéséhez a Semmelweis Egyetem informatikai rendszereit (MedSol, eRad) használtuk. Az általános betegadatokat (név, születési idő, TAJ-szám) mellett rögzítettük a műtési adatokat (műtét dátuma, oldaliság, felhasznált implantátum típusa és méretei), valamint azokat a faktorokat, amelyek az irodalom szerint befolyásolhatják a tervezőszoftverek pontosságát (tengelyállás, testtömeg-index). Klinikánkon összesen 157 beteg rendelkezett elérhető képalkotó felvétellel azok közül, akik vizsgált időszakban estek át primer térdprotézis-beültetésen. A férfiak és nők aránya 1:2,4 a páciensek átlagéletkora a műtét idején 68,9 év volt. A legfiatalabb páciens 49, a legidősebb 86 éves volt.

Tervezés

A műtési tervezés a Klinikánkon a mindennapi gyakorlatban is használt TraumaCad szoftverrel történt, a páciensek preoperatív kalibrációs röntgenfelvételeit felhasználva.

Pontosság megítélése

A tervezés során kapott méreteket összevetettük a műtét során ténylegesen beültetett implantátumok méreteivel, külön vizsgálva a femoralis és tibialis komponenseket.

A műtétek során beültetett implantátumokat három csoportba osztottuk:

- A tervezett és a beültetett implantátum mérete pontosan megegyezik
- A tervezett és a beültetett implantátum között pontosan 1 méret különbség van
- A tervezett és a beültetett implantátum között több mint 1 méret különbség van

Emellett szeretnénk volna megfigyelni azt a tendenciát is, hogy az egyes komponensek tervezése során jellemzően túl-, vagy alulméretezett implantátumokat kapunk.

A pontosságot meghatározó tényezők vizsgálata

Az irodalom alapján megvizsgáltuk a nem hatását (BMI) a műtési tervezés pontosságára. Emellett szeretnénk volna megfigyelni az életkor, a magasság, a testtömeg, a testtömeg-index, illetve az esetleges tengelyeltérések (varus, illetve valgus térdek) prediktív szerepét is.

Statisztika

A statisztikai vizsgálatokhoz minden esetben kétmintás t-próbát használtunk, 95%-os konfidencia intervallum mellett. Az összehasonlított minták varianciáját egyik esetben sem tekintettük azonosnak.

EREDMÉNYEK

A tervezett és beültetett implantátumok közti eltérések gyakoriságát az 1. táblázatban gyűjtöttük össze. Az esetek mindössze 35 százalékában (55 műtét) egyezett pontosan a beültetett femoralis és tibialis komponens egyaránt a tervezettel. A műtétek 83,5 százalékában (131 eset) a komponensek megtervezett mérete legfeljebb 1 mérettel tért el a beültetettől. Mindössze 6 olyan eset volt, ahol legalább az egyik megtervezett implantátum több mint 2 mérettel tért el a beültetettől.

I. táblázat

A tervezőszoftver pontossága a femoralis és tibialis komponensek vonatkozásában

Femoralis komponens	Tibialis komponens	Esetszám (százalék)
Nincs különbség	Nincs különbség	55 (35%)
1 méret különbség	Nincs különbség	18 (11,5%)
Nincs különbség	1 méret különbség	27 (17,2%)
1 méret különbség	1 méret különbség	31 (19,7%)
>1 méret különbség	Nincs különbség	1 (0,6%)
Nincs különbség	>1 méret különbség	2 (1,3%)
1 méret különbség	>1 méret különbség	10 (6,4%)
>1 méret különbség	1 méret különbség	3 (1,9%)
>1 méret különbség	>1 méret különbség	10 (6,4%)

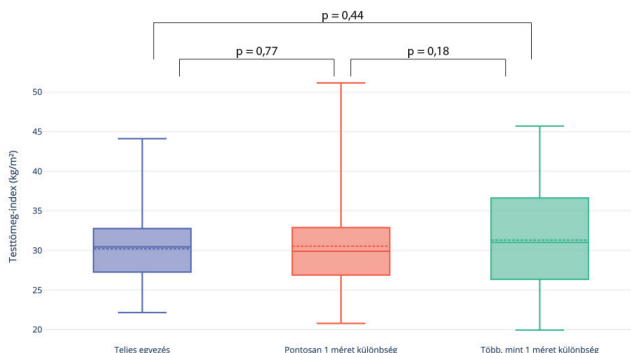
Az irodalomban szereplő adatok közül nem találtunk eltérést a testsúly, a testtömeg-index, illetve a tengelyeltérések vonatkozásában (1-3. ábra).

A kor és a testmagasság ugyan mutatott összefüggést a tervezés pontosságával, azonban ez statisztikailag nem bizonyult szignifikánsnak (4-5. ábra). Azt tapasztaltuk, hogy a fiatal életkor és a nagy testmagasság olyan tényezők, amelyek rontanak a tervezés pontosságán. Azt is tapasztaltuk, hogy férfi betegek esetén szignifikánsan nagyobb arányban ($p = 0,01$) fordult elő 1 méretet meghaladó eltérés a tervezett és beültetett implantátumok között (6. ábra).

A komponensek vonatkozásában azt észleltük, hogy a femoralis komponenseket nagyobb arányban (51,6%) sikerült pontosan megtervezni, mint a tibialis implantátumokat

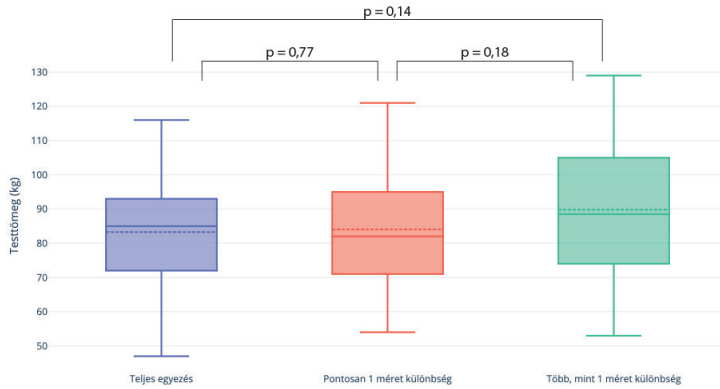
(47,1%). Utóbbi komponenseknél azt is megfigyeltük, hogy a tervező szoftver hajlamosabb a „túlméretezésre”, ugyanis a műtétek 34%-ánál a tervezettnél kisebb tibialis implantátum került beültetésre, mint a megtervezett. A femoralis komponensekre kisebb mértékben volt jellemző ez a tendencia, itt mindössze 25%-ban tapasztaltunk „túlméretezést”.

A vizsgálat időszakban az Ortopédiai Klinikán összesen 3 gyártó implantátumait használtuk, ugyanakkor a műtétek kétharmadában ugyanazt az implantátumot. A gyártók vonatkozásában nem találtunk szignifikáns eltérést a tervezés megbízhatósága szempontjából. Szintén nem tapasztaltunk különbséget a hátsó keresztszalagot megtartó („Cruciate Retaining”), illetve az azt pótló („Posterior Stabilized”) protézisek között.

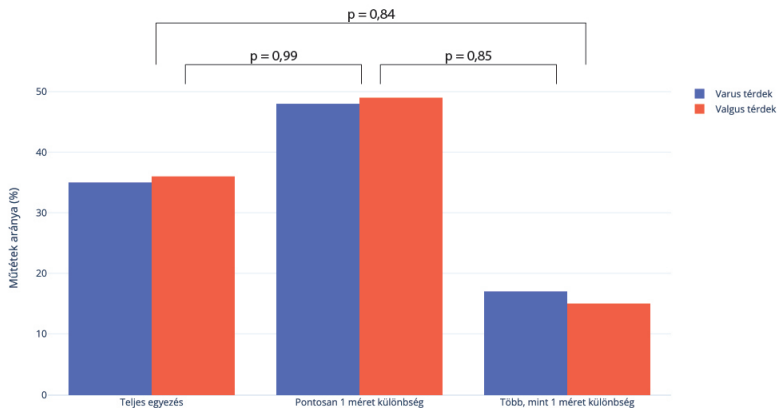


1. ábra

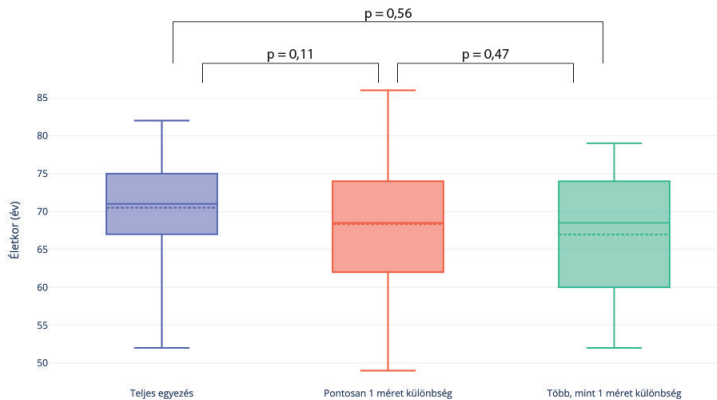
A testtömeg összefüggése a tervezőszoftver pontosságával a tervezett és beültetett tibialis és/vagy femoralis komponensek mérete közt tapasztalt eltérések alapján. Nem találtunk szignifikáns összefüggést

**2. ábra**

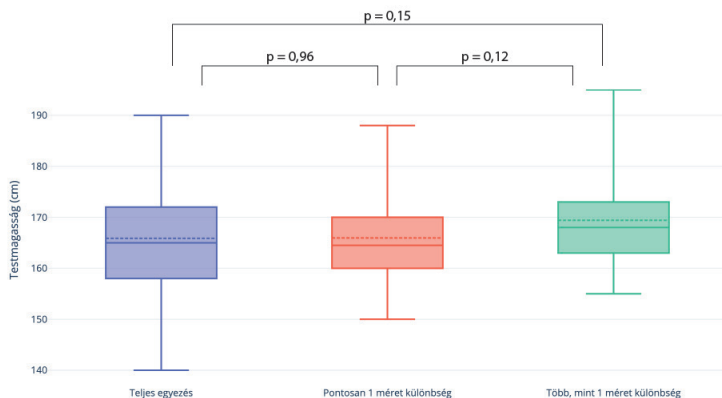
A testtömeg-index összefüggése a tervezőszoftver pontosságával a tervezett és beültetett tibialis és/vagy femoralis komponensek mérete közt tapasztalt eltérések alapján. Nem találtunk szignifikáns összefüggést

**3. ábra**

A tengelyeltérések összefüggése a tervezőszoftver pontosságával a tervezett és beültetett tibialis és/vagy femoralis komponensek mérete közt tapasztalt eltérések alapján. Nem találtunk szignifikáns összefüggést

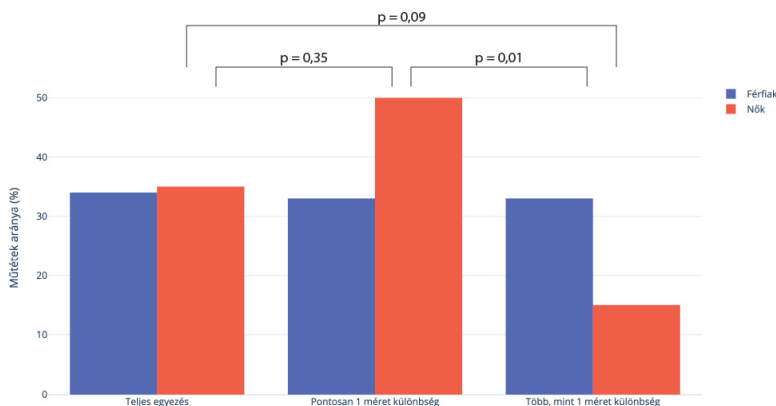
**4. ábra**

Az életkor összefüggése a tervezőszoftver pontosságával a tervezett és beültetett tibialis és/vagy femoralis komponensek mérete közt tapasztalt eltérések alapján. Bár azt tapasztaltuk, hogy a fiatalabb páciensek esetén romlik a tervezés pontossága, az összefüggés nem szignifikáns



5. ábra

A testmagasság összefüggése a tervezőszoftver pontosságával a tervezett és beültetett tibialis és/vagy femoralis komponensek mérete közt tapasztalt eltérések alapján. Bár azt tapasztaltuk, hogy a magasabb páciensek esetén romlik a tervezés pontossága, az összefüggés nem szignifikáns



6. ábra

A nem összefüggése a tervezőszoftver pontosságával a tervezett és beültetett tibialis és/vagy femoralis komponensek mérete közt tapasztalt eltérések alapján. Női páciensek esetén jellemzőbb volt az 1 méreten belüli eltérés, míg férfiak esetén szignifikánsak nagyobb arányban fordultak elő 1 méretet meghaladó különbségek a tervezett és beültetett implantátumok között

MEGBESZÉLÉS

Az Ortopédiai Klinika beteganyagán végzett retrospektív kutatásunk eredménye alapján a röntgenalapú tervezőszoftver megbízhatósága a femoralis komponensek tekintetében megegyezik más kutatásokban tapasztaltakkal (II. táblázat), ugyanakkor a tibialis komponensek méretezésében némileg rosszabb eredményt kaptunk.

A femoralis komponensek pontosabb tervezhetősége az irodalomban jól ismert (4, 9, 11, 15, 16). Ennek hátterében az áll, hogy míg a femur anatómiája általában relatíve jól leképezhető a röntgenfelvételen, a tibia

hátralejtése, vagy épp a tibialis velőúr helyzete nehezebben meghatározható kétdimenzióban.

Jelen kutatásunk nem tér ki rá, de a kalibrációs eszközök használata, illetve röntgenfelvételen való elhelyezése kulcsfontosságú a tervezés szempontjából (6). A beültetett implantátum méretének meghatározása ugyan lényeges, de korántsem egyetlen előnye a műtői tervezésnek. Az optimális tengelyállás meghatározása, a megfelelő instrumentárium kiválasztása, vagy épp a pozicionálás pontos tervezése mind olyan tényezők, melyek jelentősen javíthatják a műtét kimenetelét.

II. táblázat

A tervezőszoftver pontossága munkánk alapján, illetve más kutatások szerint

Femoralis (teljes egyezés)	Femoralis (1 méreten belül)	Tibialis (teljes egyezés)	Tibialis (1 méreten belül)	Hivatkozás
53,5%	89,8%	47,1%	85,6%	Munkánk
52,9 %	-	28,7%	-	11
43,6-59,5%	93,6-97,8%	52,1-68%	94,6-98,9%	4
48%	98%	55%	100%	15
52-64 %	-	48-60%	-	9
55,2 %	91,5%	52,9%	94%	13
35,4%	86,2%	36,5%	85,1%	16

KONKLÚZIÓ

Munkánk alapján láthatjuk, hogy bár a műtéti tervezés számos előnnyel jár, térdprotézis-beültetések esetén megbízhatósága limitált. A vizsgált tényezők közül (a páciensek nemét leszámítva) nem találtunk olyat, ami szignifikánsan befolyásolná a tervezés pontosságát, így tehát a tervezés során nem tudhatjuk, szoftverünk mennyire megbízható. Mindezek ellenére adataink

alapján elmondható, hogy a műtétek 83,5%-a során a beültetett implantátumok a tervezett komponensektől legfeljebb 1 mérettel térnek el, így a kétdimenziós tervezőszoftverek használata a mindennapos gyakorlatban továbbra is javasolt. Komplikált esetekben, egyedi anatómiai helyzetek, vagy épp revíziós műtétek esetén ugyanakkor minden esetben mérlegelendő a háromdimenziós, CT-alapú tervezés is.

IRODALOM

1. Aglietti P, Sensi L, Cuomo P, Ciardullo A. Rotational position of femoral and tibial components in TKA using the femoral transepicondylar axis. *Clin Orthop Relat Res*. 2008. 466(11): 2751-2755. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0452-8>

2. Aubert T, Galanzino G, Gerard P, Le Strat V, Rigoulot G, Lhotellier L. Accuracy of preoperative 3D vs 2D digital templating for cementless total hip arthroplasty using a direct anterior approach. *Arthroplast Today*. 2023. Nov 4. 24: 101260. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2023.101260>

3. Bonnin MP, Saffarini M, Shepherd D, Bossard N, Dantony E. Oversizing the tibial component in TKAs: incidence, consequences and risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016. 24(8): 2532-2540. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3512-0>

4. Ettinger M, Claassen L, Paes P, Calliess T. 2D versus 3D templating in total knee arthroplasty. *Knee*. 2016. 23(1): 149-151. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2015.08.014>

5. Kazarian GS, Lieberman EG, Hansen EJ, Nunley RM, Barrack RL. Clinical impact of component placement in manually instrumented total knee arthroplasty: a systematic review. *Bone Joint J*. 2021. 103-B (9): 1449-1456. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B9.BJJ-2020-1639.R2>

6. Kniessel B, Konstantinidis L, Hirschmüller A, Südkamp N, Helwig P. Digital templating in total knee and hip replacement: an analysis of planning accuracy. *Int Orthop*. 2014. 38(4): 733-739. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2157-1>

7. Kobayashi A, Ishii Y, Takeda M, Noguchi H, Higuchi H, Toyabe S. Comparison of analog 2D and digital 3D preoperative templating for predicting implant size in total knee arthroplasty. *Comput Aided Surg*. 2012. 17(2): 96-101. <https://doi.org/10.3109/10929088.2011.651488>

8. Marmor S, Kerroumi Y, Rigoulot G, Bouché PA. Change in lower limb length following total knee arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2025. 111(1): 104005. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2024.104005>

9. Miller AG, Purtill JJ. Accuracy of digital templating in total knee arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2012. 41(11): 510-512.

10. Mueller JK, Wentorf FA, Moore RE. Femoral and tibial insert downsizing increases the laxity envelope in TKA. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014. 22(12): 3003-3011. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3339-0>

11. Pietrzak JRT, Rowan FE, Kayani B, Donaldson MJ, Huq SS, Haddad FS. Preoperative CT-based three-dimensional templating in robot-assisted total knee arthroplasty more accurately predicts implant sizes than two-dimensional templating. *J Knee Surg*. 2019. 32(7): 642-648. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666829>

12. Prasad N, Padmanabhan V, Mullaji A. Blood loss in total knee arthroplasty: an analysis of risk factors. *Int Orthop*. 2007. 31(1): 39-44. <https://doi.org/10.1007/s00264-006-0096-9>
13. Riechelmann F, Lettner H, Mayr R, Tandogan R, Dammerer D, Liebensteiner M. Imprecise prediction of implant sizes with preoperative 2D digital templating in total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023. 143(8): 4705-4711. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-04772-7>
14. Shin KH, Kim JH, Han SB. Greater Risk of periprosthetic joint infection associated with prolonged operative time in primary total knee arthroplasty: Meta-analysis of 427,361 patients. *J Clin Med*. 2024. 13(11): 3046. <https://doi.org/10.3390/jcm13113046>
15. Trickett RW, Hodgson P, Forster MC, Robertson A. The reliability and accuracy of digital templating in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2009. 91(7): 903-906. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.91B7.21476>
16. Wallace SJ, Murphy MP, Schiffman CJ, Hopkinson WJ, Brown NM. Demographic data is more predictive of component size than digital radiographic templating in total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res*. 2020. 32(1): 63. <https://doi.org/10.1186/s43019-020-00075-y>

Dr. Szilágyi Gábor Sándor

Semmelweis Egyetem Ortopédiai Klinika
1082 Budapest, Üllői út 78/b
<https://orcid.org/0000-0003-0205-5796>

Dr. Holnapy Gergely

<https://orcid.org/0000-0001-6574-7269>

Dr. Bejek Zoltán

<https://orcid.org/0000-0002-3470-2874>