PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Roční zkušenosti s robotickým asistentem pro TEP kolena – ROSA systém

One Year of Experience with Robotic Total Knee Arthroplasty – ROSA System

PATRIK MUSIL[1,2], ROMAN LEHOVEC[1]

[1] Klinika Dr. Pírka, Penta Hospitals, Mladá Boleslav

[2] Univerzita Karlova, Lékařská fakulta v Plzni

Korespondující autor:

MUDr. Patrik Musil
Klinika Dr. Pírka
Na Celně 885
293 01 Mladá Boleslav

Musil.Patrik@seznam.cz

Musil P, Lehovec R. Roční zkušenosti s robotickým asistentem pro TEP kolena – ROSA systém. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2025;92:282–287.

ABSTRACT

Purpose of the study

The study aimed to evaluate the initial experience with robot-assisted total knee arthroplasty (TKA) using the ROSA system. It focuses on surgical techniques, alignment options, and the pros and cons of the system. It also provides an analysis of the pre- and post-operative range of motion measured by the robotic system.

Material and methods

In the period from 5 December 2023 to 8 August 2024, a total of 197 total knee arthroplasties were performed at the Dr. Pírek Clinic using the ROSA system and Persona implants with a medial congruent tibial insert. Complete data were available for 124 patients (63 men, 61 women) with a mean age of 68.7 ± 8.2 years and a mean BMI of 30.6 ± 4.3. The mean length of hospital stay was five days. Preoperative and postoperative assessments included the range of motion (flexion and extension), soft tissue laxity (varus and valgus stress tests), and data on the planned axial position of the limb. A t-test was used for statistical comparisons. The surgeries were performed using the "image-less" mode of the ROSA system. All procedures were performed via a medial parapatellar approach. After thorough cleaning of the joint and positioning of trackers, the total range of motion and laxity of the joint were measured. Soft tissue balance was ensured based on kinematic alignment principles.

Results

The study confirmed an improvement in the range of motion and accuracy of limb axis alignment. Statistical analysis showed significant postoperative improvement in flexion and mechanical axis. The use of the ROSA system enabled precision in bone cuts and increased reproducibility of results with the aim of maintaining the predefined limits for the resulting limb axis.

Discussion

The results obtained are consistent with those reported in the available literature, indicating that robot-assisted TKA helps improve surgical accuracy and reduce the incidence of deviations. Compared to conventional methods, robotic assistance requires less soft tissue release and can thus minimize blood loss. The disadvantages of this system include operative time and cost. Another challenge, for surgeons, is the learning curve and variability of approaches to alignment. The study also underlines the importance of personalized alignment, as different knee phenotypes may require different approaches.

Conclusions

Robot-assisted TKA using the ROSA system offers advantages in terms of surgical precision, reproducibility of results, and early postoperative functional recovery. The study indicates that the introduction of robotic systems may help improve patient satisfaction and long-term implant durability. However, further research with larger patient cohorts and long-term follow-up is necessary to confirm these results.

Key words: total knee arthroplasty, robot-assisted orthopaedic surgery, ROSA system, kinematic alignment, mechanical alignment, functional alignment, range of motion, robotic orthopaedic surgery, osteoarthritis.

ÚVOD

Od počátku tohoto tisíciletí vznikalo mnoho technologii, které měly za cíl zlepšení výsledků a spokojenosti pacientů po totální endroprotéze kolena (TEP). I přes zlepšující se techniky operace zůstává u 10–20 % pacientů jistý stupeň nespokojenosti a funkční limitace (6). ROSA Knee System (Zimmer Biomet) se do preklinické studie dostal v roce 2018 a následně byl spuštěn v březnu roku 2019 v Abu Dhabi a později i v dalších státech Ameriky a Evropy. Principem činnosti ROSA systému je schopnost přesného umístění řezacích šablon, podle kterých následně chirurg uskuteční kostní resekce (7, 14). Celkově jsme na Klinice dr. Pírka v roce 2024 uskutečnili více než 290 případů roboticky asistovaných TEP. Naše retrospektivní studie se snaží obeznámit s prvotními zkušenostmi roboticky asistovaných operací kolena, operační technikou a možnostmi alignmentu, poukázat na výhody a případné nevýhody systému a dále analyzovat rozsah pohybů naměřených robotickým systémem před implantací TEP a po samotné implantaci.

MATERIÁL A METODIKA

V době od 5. 12. 2023 do 8. 8. 2024 jsme na Klinice dr. Pírka se systémem ROSA a využitím implantátu Persona s mediálně kongruentním platem tibie provedli celkem 197 výměn kolenního kloubu. Úplná data pro naše hodnocení byla k dispozici u 124 pacientů. Všechny výkony byly provedeny 3 operatéry kompletně proškolenými v použití systému ROSA. V našem souboru pacientů se nachází 63 mužů a 61 žen, tedy téměř ideální zastoupení jednotlivých pohlaví. Průměrný věk u těchto pacientů byl 68,7 ± 8,2 roku, přičemž nejmladšímu pacientovi bylo 48 let a nejstaršímu 85 let. Průměrné BMI u pacientů v našem souboru bylo 30,6 ± 4,3. Průměrná délka hospitalizace na našem pracovišti byla 5 dnů. Z dostupných dat ROSA systému jsme se zaměřili na předoperační pohyb ve formě flexe a extenze, laxicitu měkkých tkání kloubu ve smyslu varus stress test a valgus stress test v maximální možné extenzi a 90° flexi. Tato data jsme porovnávali v rámci předoperační a pooperační fáze. Pro statistické porovnání jsme využili t-test předoperačních a pooperačních výsledků.

Pacienti byli operováni v celkové nebo svodné anestezii v poloze na zádech. Všichni pacienti byli operování v bezkreví za pomoci končetinového turniketu. Systém ROSA umožňuje jak "image based" tak i "image less" techniku operace (8). Na našem pracovišti pracujeme výhradně s "image less" technikou. ROSA je složena ze dvou základních jednotek, první s pohyblivým ramenem a druhá optická jednotka vybavená soustavou kamer umožnují registraci všech trackerů v reálném čase.

Systém ROSA umožňuje vyhovět zvyklostem operatéra a při operaci je možné stát jak na pravé, tak i levé straně operačního stolu bez ohledu na to, zda je operováno pravé nebo levé koleno. Všechny operace byly provedeny s využitím mediálního parapatellárního přístupu do kloubu. Byla obvyklým způsobem provedena částečná resekce Hoffova tělesa, resekce zbytků menisků, resekce osteofytů a odstranění předního zkříženého vazu. Trackery se zavádějí do distálního femuru a proximální tibie vždy pomocí dvou nových originálních pinů. Zavádět je lze jak z operační rány, tak i ze samostatných bodových incizí dle preference operatéra. Po registraci systému a ověření viditelnosti trackerů pro systém ve všech potřebných polohách končetiny jsou pomocí validačních nástrojů zaneseny jednotlivé anatomické body operovaného kloubu. V dalším kroku provede operatér měření rozsahu pohybu a laxicity měkkých tkání.

Tímto krokem ukončíme přenos dat do systému a přikročíme k optimalizaci jednotlivých řezů. Po dokončení plánování nás systém provede jednotlivými řezy dle naší preference (obr. 1 a 2).

Šablona na robotickém rameni je automaticky přiložena ve správné pozici a po připevnění piny jsou provedeny jednotlivé řezy. Systém umožňuje jak průběžnou kontrolu řezů v reálném čase, tak i následnou validaci. Systém je až do posledního kroku plně otevřený případným úpravám nastaveného plánu. Posledním krokem před cementováním definitivních komponent je měření osy, rozsahu pohybu a laxicity vazů se zkušebními komponentami případně finálním implantátem. Po operaci probíhá standardní pooperační režim a rehabilitace.

Možnosti operačního přístupu

Pro pochopení funkce ROSA systému je důležité pochopení jednotlivých teorií alignmentu endoprotézy kolena. Pro systém robotického asistenta neexistuje jednoznačný pevně stanovený postup, je však značně doporučován kinematický systém alignmentu.

Kinematický alignment vychází z pozorování, že fenotypy kolenního kloubu v běžné „neartrotické" populaci nejsou identické. Bylo stanoveno 9 typů konfigurace kolenního kloubu ve frontální rovině dle klasifikace CPAK a bylo zjištěno, že nejčastější zastoupení v populaci mají typy II (39,2 %), I (26,4 %) a typ V (15,4 %). Vzácné jsou naopak typy VII, VIII a IX. Proto se dá předpokládat, že ani všechna kolena s implantovanou totální endoprotézou by nemusela mít pro dosažení co nejlepšího funkčního výsledku identický aligment (13).

Optimální umístění implantátu při implantaci totální endoprotézy kolena je často diskutovanou otázkou. Dlouhou dobu byl jednoznačně přijímán koncept mechanického alignmentu definovaného Michaelem Freemanem, stanovený jako pravoúhlé řezy na tibii i femuru s cílem dosažení paralelních a identických flekčních a extenčních gapů. Cílem bylo dosáhnout neutrální mechanické osy končetiny, reprezentované úhlem kyčel-koleno-střed hlezna (HKA) velikosti 180° ± 3° (3).

Anatomický alignment byl představen v r. 1980 Hugnerfordem a Krackowem, stále cílí na neutrální mechanickou osu, ale řezy na kostech jsou šikmé 3° oproti mechanické ose. Snahou

Acta Chir Orthop Traumatol Cech., 92, 2025, No. 5, p. 282–287



Obr. 1. **Obrazovka s nastavením jednotlivých řezů při plánování (foto autora).**

Fig. 1. **Screenshot of preoperative planning before bone cutting (photo by the author).**



Obr. 2. **Obrazovka s počátečním měřením kloubu – rozsah pohybu a laxicita při varus a valgus stress testu (foto autora).**

Fig. 2. **Screenshot of initial joint measurements – range of motion and joint laxity during varus and valgus stress test (photo by the author).**

tohoto konceptu je přiblížit se více střední hodnotě orientace kloubní linie v běžné populaci (3° valgus na femuru a 3° varus na tibii) (17).

Kinematický alignment navržený v r. 2006 Howellem, je individualizovanou technikou snažící se obnovit přirozenou osu nativní končetiny včetně sklonu kloubní linie. Cílem je obnovit design kolena v jeho předartrotické podobě. Jednotlivé řezy jsou měřeny se započtením tloušťky samotného řezu tak, aby byly resekce nahrazeny komponentami TEP. Kinematický alignment vyžaduje specifické vybavení a může být proveden s využitím klasických instrumentárií, počítačové navigace, personalizovaných instrumentárií (PSI) a samozřejmě i robotické operativy (12).

Je třeba si uvědomit, že některé anatomické konfigurace kolenního kloubu jsou biomechanicky méně výhodné, anebo mohla být konfigurace změněna metabolickou chorobou, deformitou vzniklou v dětství, traumatem a podobně (18). Z toho důvodu byl Vendittolim navržen koncept „bezpečných zón“

a bylo doporučeno využití tzv. „restricted kinematic aligmentu“. Jako bezpečné byly stanoveny nezávislé tibiální a femorální řezy v rozmezí ±5° od mechanické osy jednotlivých kostí a současně výsledná hodnota HKA musí být v rozmezí ±3°od neutrální mechanické osy (2).

Funkční alignment je další možností osazení komponent, jehož cílem je obnovení předartrotického postavení končetiny a zároveň dosažení co nejlepšího vyvážení mezi flekčním a extenčním gapem. Tento postup zahrnuje minimální měkkotkáňové uvolnění a kostní resekce pomocí roboticky asistované technologie (9). Před samotnou operací je nutné 3D plánování jednotlivých resekcí. Měkké tkáně jsou balancovány buď operatérem, nebo speciálním instrumentáriem. Femorální resekce se upravují k vybalancování měkkých tkání, přičemž se snaží zachovat neutrální mechanickou osu a rovnoměrný extenční gap. Dále se mohou upravovat resekce pro femorální komponentu v rozmezí ±3° od transepikondylární osy pro co nejlepší flekční gap. Tibiální resekce se provádí pokud možno co nejblíže mechanické ose a k vybalancování měkkých tkání by měla být v rozmezí 0°–3° varus (1).

V rámci naší skupiny pacientů jsme si určili na základě výše zmiňovaných doporučení vlastní hranice, a to sice maximální odchylku v rozmezí 2° valgus až 5° varus od mechanické osy končetiny, s rozdělením na 0°–3° varus na tibii, 0°–2° varus na femuru a max. 2° valgus na femuru. Zevní rotaci femorální komponenty ve flexi připouštíme v rozmezí 0°–7°. Tyto limity byly překročeny ve 3 případech jedním operatérem

Výhody a nevýhody systému

Robotické operace a příbuzné technologie jako například navigační systémy přinášejí značné zvýšení přesnosti řezů, reprodukovatelnosti výsledků a spolehlivosti v operativě. Doufáme, že toto zpřesnění může zlepšit celkovou spokojenost našich pacientů (4, 11). Výhodou robotického systému je nízká radiační zátěž oproti systémům využívající plánování za pomocí CT scanu, které mají zvýšené finanční náklady na přípravu a zvýšené riziko radiace (16). Ve studii z roku 2019 byly zjištěny menší krevní ztráty díky menšímu uvolnění měkkých tkání pro vyvážení kolena, dále větší rozsah pohybu v časné pooperační fázi a kratší doba hospitalizace pacientů ve srovnání s operacemi bez robotické asistence (15).

Jednou z nevýhod ROSA systému je delší operační čas a delší učební křivka oproti manuální operaci endoprotézy kolena. Ve studii z roku 2023, která srovnávala průměrný čas operace manuální a roboticky asistované vyšel signifikantní rozdíl ve prospěch manuální operace, a to 68,2 ± 8,6 minut oproti 80,2 ± 14,2 minut. V této studii bylo také zdůrazněno, že délka operačního času se u operatérů normalizovala po 75 operačních výkonech (10). Další nevýhodou je signifikantně vyšší cena, a to nejen z důvodu nutnosti pořízení přístroje, ale i následně z důvodu nutnosti použití speciálního spotřebního materiálu u každé operace. Pro některé operatéry také může být matoucí množství dat zobrazujících se na monitoru. Klíčová je nutnost přesného zaznamenání anatomických markerů, pakliže jsou tyto zaznamenány nepřesně, systém nebude schopen navrhnout řezy správně a celkový výsledek bude nepřesný (4). Nezanedbatelnou specifickou komplikací robotické operace může být zlomenina v oblasti zavedených pinů, její četnost je však nízká a může být poměrně úspěšně redukována správnou technikou zavádění pinů (5).

VÝSLEDKY

V našem souboru byl systém ROSA nastaven primárně na dosažení neutrální mechanické osy končetiny, 5° dorzálního sklonu tibie, 3° zevní rotace femorální komponenty ve flexi vůči zadní linii kondylů femuru a flexi femorální komponenty 3°. Tyto hodnoty byly posléze upraveny dle pravidel zmíněných výše v tomto článku. Systém ROSA je poměrně intuitivní a subjektivně se naše učební křivka operatérů i ostatního personálu normalizovala zhruba po dosažení 15–20 případů. Zpočátku jsme začínali s dvěma paralelními teamy. Operatér, jeho asistent a instrumentářka zahajovali operaci standardním zvyklým způsobem a druhý team ve složení druhá instrumentující sestra a druhý asistent připravovali systém ROSA. Provedli zarouškování robota a jeho vstupní nastavení a kalibraci. Po umístění trackerů se práce obou teamů sjednotila a druhý asistent a druhá sestra již dále nebyli k operaci potřeba. Tímto krokem se nám podařilo minimalizovat prodloužení celkového operačního času. Dnes již operujeme ve standardním teamu, tzn. operatér, asistent a instrumentující sestra.

Naším cílem při implantaci totální endoprotézy pomocí systému ROSA bylo dosažení standardního rozsahu pohybu po operaci, dodržení námi stanovených hraničních hodnot aligmentu a vyvážení měkkých tkání k zamezení laxicity ve smyslu varus/valgus. V našem souboru pacientů jsme naměřili pomocí ROSA systému průměrný deficit extenze před operací 3,8°. Průměrná hodnota zůstala identická, ale došlo k normalizaci extrémních hodnot. U většiny pacientů jsme předoperačně v rámci artrotického postižení zaznamenali deficit extenze. Průměrná předoperační flexe u pacientů byla 128° ± 8,7°, pooperačně došlo ke zlepšení průměrně na 129,8° ± 10°, dále viz tabulka 1. Pooperační průběh rehabilitace u našich pacientů je standardní, tedy první pooperační den se pacient posadí na svém lůžku, postupně pak následuje chůze po pokoji v doprovodu rehabilitačního personálu s odlehčením operované končetiny o francouzských holích. Další dny se zvyšuje vzdálenost chůze a přidává se chůze do schodů a motodlaha. Pacienti našeho souboru během hospitalizace na naší klinice dosáhli čtvrtý den po operaci průměrné flexe 67,5° ± 7,9° na motodlaze.

U pacientů jsme také měřili reponibilitu ±3° (k mechanické ose) a laxicitu kloubu ve formě maximálního varus stress testu a valgus stress testu před zahájením kostních řezů a následně po implantaci finálních komponent. Z našeho souboru bylo 99

Acta Chir Orthop Traumatol Cech., 92, 2025, No. 5, p. 282–287

Tab. 1. **Porovnání průměrné předoperační a pooperační flexe a extenze kolenního kloubu u souboru pacientů naměřených systémem ROSA**
Table 1. **Comparison of mean preoperative and postoperative knee joint flexion and extension in our cohort of patients measured with the ROSA system**

	PŘED OPERACÍ	PO OPERACI	P - VALUE
Flexe	128° ± 8,7° (109° – 146°)	129,8° ± 10° (103° – 153°)	0,0476
Extenze	3,8° ± 4,8° (-14°–19°)	3,8° ± 3,4° (-7°–11°)	0,84

Tab. 2. **Porovnání průměrné předoperační a pooperační laxicity kolenního kloubu u souboru pacientů**
Table 2. **Comparison of mean preoperative and postoperative knee joint laxity in our cohort of patients**

	PŘED OPERACÍ	PO OPERACI	P-VALUE
Varus stress test	9,5° ± 4,5° (0°– 20°)	4,7° ± 3,1° (0° – 14°)	0,0000000149
Valgus stress test	3° ± 2,6° (0°– 12°)	2° ± 1,8° (0° – 7°)	0,004

pacientů s úplnou možností reponibility k 0° ± 3° mechanické osy předoperačně, pooperačně pak byla tato hodnota dosažena u 104 pacientů. Signifikatní zlepšení nastalo u pacientů v rámci zevní laxicity kloubu, kdy došlo k redukci průměrné laxicity při varózním stress testu z 9,5° ± 4,5° na 4,7° ± 3,1° (tab. 2). Tento výsledek značí zlepšení stability při zatížení kloubu. Průměrná plánovaná HKA osa v našem souboru byla 1,86° ± 2,1° varózní osy.

DISKUSE

Naše studie poskytuje přehled prvních zkušeností s roboticky asistovanými totálními endoprotézami kolena pomocí systému ROSA se zaměřením na operační techniku, možnosti aligmentu, výhody a nevýhody systému. Naše dosažené hodnoty mechanické osy (průměrná HKA 1,86° ± 2,1° varózní osy) byly konzistentní a shodovaly se s doporučenými hranicemi a ukazují na vysokou přesnost této technologie.

Roboticky asistovaná technika umožňuje personalizovaný přístup k aligmentu implantátů. Výhodou systému ROSA je, že umožňuje operatérovi pracovat s různými přístupy, včetně kinematického, mechanického nebo funkčního aligmentu. V našem souboru jsme upřednostnili principy kinematického aligmentu s přizpůsobením jednotlivým anatomickým konfiguracím pacientů, což odpovídá současným trendům v ortopedii (9, 11).

Tab. 3. **Průměrná flexe na motodlaze u pacientů operovaných ROSA systémem 4. pooperační den**
Table 3. **Mean flexion with the use of the continuous passive motion machine on the 4th postoperative day in patients operated on with the ROSA system**

Flexe MT	67,5° ± 7,9° (45°–90°)

Přesnost kostních řezů a reprodukovatelnost výsledků je důležitým aspektem robotických operací (11). Jedním z přínosů systému ROSA je minimalizace radiační zátěže při využití „image-less" techniky (16). Mezi nevýhody systému ROSA patří delší operační čas a vyšší náklady na pořízení a provoz zařízení. Průměrná délka roboticky asistované operace byla ve srovnání s manuálními technikami delší, což odpovídá i údajům z literatury. Na druhé straně naše zkušenosti naznačují, že se operační časy zkracují s rostoucí zkušeností operatérů a optimalizací týmové spolupráce.

Dalším negativním faktorem, který je třeba zvážit, jsou specifické komplikace, jako je riziko zlomenin při zavádění pinů. S touto komplikací jsme se v našem souboru nesetkali (5).

ZÁVĚR

Z výsledků našeho souboru pacientů, kterým jsme implantovali TEP kolena s pomocí systému ROSA, vyplývá, že dochází k úpravě mechanické a anatomické osy kolena pacientů a ke zlepšení rozsahu pohybu kolenního kloubu. Ve většině případů včetně poměrně velkých deformit jsme schopni se držet předem definovaných hranic, které jsou chápány jako prospektivní stran nejlepšího dlouhodobého výsledku a celkové spokojenosti pacientů. Naše zkušenosti se systémem jsou prozatím krátké, ale celkový počet operací a učební křivka nám dávají naději pozitivních středně- i dlouhodobých výsledků. Nevýhody systému jako vyšší náklady a delší operační čas jsou nezanedbatelnou součástí, kterou je potřeba brát v potaz. ■

Literatura

1. Akagi M, Oh M, Nonaka T, Tsujimoto H, Asano T, Hamanishi C. An anteroposterior axis of the tibia for total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res. 2004;420:213–219. doi: 10.1097/00003086-200403000-00030.
2. Almaawi AM, Hutt JRB, Masse V, Lavigne M, Vendittoli PA. the impact of mechanical and restricted kinematic alignment on knee anatomy in total knee arthroplasty. J Arthroplasty. 2017;32:2133–2140. doi: 10.1016/j.arth.2017.02.028.
3. Bargren JH, Freeman MA, Swanson SA, Todd RC. ICLH (Freeman/Swanson) arthroplasty in the treatment of arthritic knee: a 2 to 4-year review. Clin Orthop Relat Res. 1976;120:65–75.
4. Batailler C, Hannouche D, Benazzo F, Parratte S. Concepts and techniques of a new robotically assisted technique for total knee arthroplasty: the ROSA knee system. Arch Orthop Trauma Surg. 2021;141:2049–2058. doi: 10.1007/s00402-021-04048-y.

5. Beldame J, Boisrenoult P, Beaufils P. Pin track induced fractures around computer-assisted TKA. Orthop Traumatol Surg Res. 2010;96:249–255. doi: 10.1016/j.otsr.2009.12.005.
6. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KD. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: who is satisfied and who is not? Clin Orthop Relat Res. 2010;468:57–63. doi: 10.1007/s11999-009-1119-9.
7. De Benedictis A, Trezza A, Carai A, Genovese E, Procaccini E, Messina R, Randi F, Cossu S, Esposito G, Palma P, Amante P, Rizzi M, Marras CE. Robot-assisted procedures in pediatric neurosurgery. Neurosurg Focus. 2017;42:E7. doi: 10.3171/2017.2.FOCUS16579.
8. Jacofsky DJ, Allen M. Robotics in arthroplasty: a comprehensive review. J Arthroplasty. 2016;31:2353–2363.
9. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Oussedik S, Moriarty PD, Haddad FS. A prospective double-blinded randomised control trial comparing robotic arm-assisted functionally aligned total knee arthroplasty versus robotic arm-assisted mechanically aligned total knee arthroplasty. Trials. 2020;21:194. doi: 10.1186/s13063-020-4123-8.
10. Kenanidis E, Boutos P, Sitsiani O, Tsiridis E. The learning curve to ROSA: cases needed to match the surgery time between a robotic-assisted and a manual primary total knee arthroplasty. Eur J Orthop Surg Traumatol. 2023;33:3357–3363. doi: 10.1007/s00590-023-03554-6.
11. Kunze KN, Polce EM, Sadauskas AJ, Levine BR. Development of Machine Learning Algorithms to Predict Patient Dissatisfaction After Primary Total Knee Arthroplasty. J Arthroplasty. 2020;35:3117–3122. doi: 10.1016/j.arth.2020.05.061.
12. Lee YS, Howell SM, Won YY, Lee OS, Lee SH, Vahedi H, Teo SH. Kinematic alignment is a possible alternative to mechanical alignment in total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017;25:3467–3479. doi: 10.1007/s00167-017-4558-y.
13. MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Harris IA, Bellemans J, Chen DB. Coronal plane alignment of the knee (CPAK) classification. Bone Joint J. 2021;103-B(2):329-337. doi: 10.1302/0301-620X.103B2.BJJ-2020-1050.R1.
14. Miller BA, Salehi A, Limbrick DD Jr, Smyth MD. Applications of a robotic stereotactic arm for pediatric epilepsy and neurooncology surgery. J Neurosurg Pediatr. 2017;20:364–370. doi: 10.3171/2017.5.PEDS1782.
15. Mont MA, Cool C, Gregory D, Coppolecchia A, Sodhi N, Jacofsky DJ. Health Care Utilization and Payer Cost Analysis of Robotic Arm Assisted Total Knee Arthroplasty at 30, 60, and 90 Days. J Knee Surg. 2021;34:328-337. doi: 10.1055/s-0039-1695741.
16. Ponzio DY, Lonner JH. Preoperative mapping in unicompartmental knee arthroplasty using computed tomography scans is associated with radiation exposure and carries high cost. J Arthroplasty. 2015;30:964-967. doi: 10.1016/j.arth.2014.10.039.
17. Rivière C, Iranpour F, Auvinet E, Howell S, Vendittoli PA, Cobb J, Parratte S. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. Orthop Traumatol Surg Res. 2017;103:1047-1056. doi: 10.1016/j.otsr.2017.07.010.
18. Shelton TJ, Nedopil AJ, Howell SM, Hull ML. Do varus or valgus outliers have higher forces in the medial or lateral compartments than those which are in-range after a kinematically aligned total knee arthroplasty? limb and joint line alignment after kinematically aligned total knee arthroplasty. Bone Joint J. 2017;99-B:1319-1328. doi: 10.1302/0301-620X.99B10.BJJ-2017-0066.R1.