

УДК 617.583:616.728.3]-089.843:004.896](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872024164-69>

Комп'ютерна навігація та роботизована хірургія під час виконання тотального ендопротезування колінного суглоба

І. М. Зазірний

Клінічна лікарня «Феофанія», Київ, Україна

Total knee arthroplasty (TKA) is a successful treatment for knee osteoarthritis. The emphasis on optimal sizing and alignment of the components has led to an increase in the use of tools that allow for preoperative planning and verification of intraoperative steps. Computer navigation and robotic surgery have emerged as valuable tools for planning and performing surgery with greater precision and consistency. Objective. The aim of this paper is to organise information on the use of robotic systems in total knee arthroplasty based on own personal experience and analysis of contemporary literature sources. Methods. This study analysed professional articles that discussed the advantages and disadvantages of using robotic systems during knee arthroplasty. The information was obtained from electronic databases including PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar, with a search span of over 20 years. Computerised or navigation devices allow the surgeon to enter anatomical data via an interface and receive feedback on the alignment of the implant and the knee as a whole, but cannot be programmed to perform additional tasks. Currently, several patented systems are available, and rapid technological advances in computer processing power have allowed for the rapid development of robotic surgical systems. Robotic systems usually provide feedback similar to navigation systems, but they can also be programmed to assist in specific surgical tasks. It is expected that these systems will become more reliable and accurate in the future, potentially leading to a reduced role for physicians in certain aspects of the surgical process, limiting their involvement to supervision, and thus improving the workflow of the operating room. The integration of new technologies, such as mixed reality, which overlays simulated images on real-life images, is expected to further expand the range of capabilities of these devices. But for now, it is crucial to establish the long-term outcomes of robotic-assisted total knee arthroplasty as a process to determine the viability of widespread adoption of these devices. Keywords. Knee joint, computer navigation, robotic surgery.

Тотальне ендопротезування колінного суглоба (ТЕКС) є успішним методом лікування його артрозу. Акцент на оптимальному розмірі та вирівнюванні компонентів привів до збільшення використання інструментів, які дозволяють складати передопераційні плани та перевіряти інтраопераційні етапи. Комп'ютерна навігація та роботизована хірургія з'явилися як інструменти, які допомагають планувати та виконувати хірургічне втручання з більшою точністю та послідовністю. Мета. На підставі власного досвіду й аналізу сучасних джерел літератури систематизувати інформацію зі застосування роботизованої системи під час тотального ендопротезування колінного суглоба. Методи. Матеріали дослідження склалися з фахових статей, які містять відомості щодо плюсів і недоліків використання роботизованих систем під час ендопротезування колінного суглоба. Інформаційний пошук здійснено в електронних базах PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar із глибиною пошуку понад 20 років. Комп'ютерний або навігаційний пристрій відноситься до пристрою, який має інтерфейс та дозволяє вводити анатомічні дані, а потім надає відгук хірургу щодо вирівнювання імплантатів і загального вирівнювання коліна, але не може бути запрограмований для виконання завдань. Нині існує кілька запатентованих систем, а швидкий технологічний прогрес комп'ютерної обчислювальної потужності стимулював розвиток роботизованих хірургічних систем. Роботизовані системи зазвичай забезпечують зворотний зв'язок, подібний до комп'ютерних систем, але також можуть бути запрограмовані для допомоги у виконанні певних хірургічних завдань. Таким чином, із часом очікується, що РА-ТЕКС стануть усе більш надійними та точними, що потенційно приведе до зменшення ролі лікарів у певних аспектах хірургічного процесу, причому їхня участь буде обмежена наглядом за роботою і, отже, покращенням робочого процесу операційного блока. Проте очікується, що інтеграція нових технологій, таких як змішана реальність, яка накладає змодельовані зображення на зображення реального життя, ще більше розширить діапазон можливостей цих роботів. Але наразі вкрай важливо встановити довгострокові результати тотального ендопротезування колінного суглоба за допомогою роботів як процесу для визначення життєздатності широкого впровадження цих пристроїв.

Ключові слова. Колінний суглоб, комп'ютерна навігація, роботизована хірургія

Вступ

Первинне тотальне ендопротезування колінного суглоба (ТЕКС) — одне з найрозповсюдженіших хірургічних втручань в ортопедії на сьогодні в усьому світі. Зважаючи на демографічне зрушення в бік старіння населення, очікується зростання кількості таких операцій і у подальшому. ТЕКС є потужним методом для полегшення болю та функціонального відновлення в пацієнтів із прогресуючим артрозом, коли вичерпано всі консервативні варіанти, показник задоволеності пацієнтів варіює в діапазоні від 85 до 90 % [13]. Проте в багатьох дослідженнях повідомляється, що 15–25 % пацієнтів залишаються незадоволеними результатами процедури [13]. Проте згідно з недавнім системним оглядом, відсоток несприятливих результатів стрімко знижується і становить близько 10 % [14]. Виділити єдину причину незадоволення складно, але похибки в розташуванні компонентів, очевидно, є одним із найбільш вірогідних чинників, оскільки це може вплинути на правильне вирівнювання опорної осі та балансу м'яких тканин. Окрім стрімкого зростання потреб у ТЕКС за останні роки, кількість роботизованих тотальних ендопротезів колінного суглоба значно зросла.

Першою хірургічною спеціальністю, яка використовувала роботів, була нейрохірургія (1988), пізніше урологія (1991). З того часу застосовуваність робототехніки в хірургії помітно прогресувала. Фахівці повідомляють про підвищення досконалості та зниження частоти ятрогенних ускладнень за допомогою роботизованої хірургії. На сьогодні дуже поширене використання роботів у різних хірургічних спеціальностях, бо зафіксовано низку переваг — менший операційний розріз, більш якісна й точна обробка м'яких тканин, швидше післяопераційне відновлення, а також скорочення тривалості перебування в лікарні [5].

Наразі створено роботизовану систему в галузі ендопротезування, яка допомагає позиціонувати інструменти й імплантати в максимально результативному положенні [22]. Доведено, що роботизована хірургія допомагає покращити точність встановлення імплантатів [22]. Багатообіцяючим є створення комп'ютеро-асистованого ТЕКС (КА-ТЕКС) і робот-асистованого ТЕКС (РА-ТЕКС). Ці технології використовують здатність комп'ютерів обробляти великі набори даних для досягнення відтворювального результату, тим самим зменшуючи ризики помилок, які можуть призвести

до неправильного розташування компонентів, допомагають під час розміщення направляючих резекційних шаблонів і моделюють кінцевий результат перед початком операції. Роботи-асистенти — це інструмент, за допомогою якого лікарі можуть виконувати хірургічні процедури, зводячи до мінімуму людський чинник і максимізуючи точність операцій. Згідно з даними Австралійського національного реєстру ендопротезування, кожне третє ендопротезування колінного суглоба проводиться за допомогою комп'ютерної навігації чи роботи-асистента [1].

Нові повідомлення щодо використання цієї технології в однокомпонентному протезуванні колінного суглоба (УКР) свідчать про покращення результатів і виживаності через 2 роки (2,8 % ревізій проти 4,6) порівняно з традиційними методами [1, 2]. Короткострокові результати подібні як за комп'ютер-асистованого, так і за робот-асистованого виконання одновиросткового ендопротезування колінного суглоба [3].

В ортопедії РА-ТЕКС призначене для зменшення помилок, пов'язаних зі зрізами кістки та положенням ендопротеза і вирівнюванням кінцівки. РА-ТЕКС дозволяє отримати кращі хірургічні результати для пацієнтів, ніж звичайне ТЕКС [6].

Мета: на підставі власного досвіду й аналізу сучасних джерел літератури систематизувати інформацію зі застосування роботизованої системи під час тотального ендопротезування колінного суглоба.

Матеріал і методи

Матеріали дослідження склалися з фахових статей, які містять відомості щодо плюсів і недоліків використання роботизованих систем під час ендопротезування колінного суглоба. Інформаційний пошук здійснено в електронних базах PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar із глибиною пошуку понад 20 років.

Результати та їх обговорення

Комп'ютер-асистоване ТЕКС. Перше навігаційне ТЕКС (КА-ТЕКС) було виконане в Греноблі в 1997 році за допомогою навігаційної системи без зображення [5], яка використовувала кінематичну модель для визначення механічного положення кінцівки. У пізніші системи додали анатомічні орієнтири від коліна до кісточки для підвищення точності.

Більшість систем зараз працюють за допомогою камер, які дозволяють вводити анатомічні дані через інфрачервоний сигнал, і потім їх використовують для аналізу анатомічної морфології,

вирівнювання, руху та положення хірургічного інструмента (рис. 1).

Здебільшого система завчасно пропонує хірургу дизайн операції, який можна будь-коли скасувати. Більшість систем дозволяють перевіряти та вимірювати розрізи, щоб остаточно узгодити будь-які відхилення від плану хірургічного втручання, проте цей крок не обов'язковий, оскільки дозволяє виконувати значні відхилення від запланованих розрізів без вимірювання.

КА-ТЕКС розвинулася до 2 основних категорій: зі зображенням і без них. Початкові системи базувалися або на флюороскопічних зображеннях, або навігаційні без візуалізації, які вимагали інтраопераційної реєстрації центра стегна та надп'ятковогомілкового суглоба, поверхні суглоба й інших орієнтирів навколо колінного суглоба, щоб створити віртуальну систему координат, за допомогою якої резекція направляється відповідно до бажаного вирівнювання. Пізніше були розроблені системи на основі зображення з використанням передопераційних КТ і МРТ для забезпечення реєстрації поверхні суглоба та загального вирівнювання. У деяких випадках вони мали додаткові налаштовані ріжучі пристосування або «спеціальні направляючі», створені для використання разом із КА-ТЕКС. Нещодавно були розроблені ручні навігаційні системи на основі акселерометра з метою оцінювання вирівнювання та положення інструмента без потреби у великих консольних моніторах або комп'ютерних платформах [15, 16]. Системи на основі зображень набули популярності з появою РА-ТЕКС.



Рис. 1. Робот направляє хірурга для виконання дистального зрізу стегнової кістки (напівактивний робот). Направляючі шаблони не використовуються для виконання зрізів кісток

Робот-асистоване ТЕКС. Роботизоване ТЕКС (РА-ТЕКС) передбачає використання інтелектуального інструмента для виконання хірургічних розрізів. Інтелект інструмента полягає в його здатності збирати дані, інтерпретувати їх і надавати точні результати, наприклад, положення кісткових зрізів, необхідних для процедури. Роботи, які використовують у хірургії, можна класифікувати за ступенем їхньої оперативності під час процедури. Класифікація включає активні, напівактивні та пасивні роботизовані пристрої [17].

Активний роботизований пристрій може виконувати хірургічні розрізи самостійно, без необхідності прямої дії з боку хірурга.

Напівактивний роботизований пристрій вимагає активної участі хірурга, який керує інструментом, за допомогою системи керування робота. Робот надає хірургу тактильний зворотний зв'язок у реальному часі, щоб полегшити точне виконання розрізів відповідно до передопераційного плану, який дозволяє лікарю сприймати тактильне відчуття розрізання кістки під час оперативного втручання (рис. 1). Ця сенсорна інформація може допомогти хірургу регулювати свої рухи та застосовувати відповідну силу, що забезпечує бажану точність під час операції.

Навпаки, пасивний роботизований пристрій більше схожий на комп'ютеризоване ТЕКС (КА-ТЕКС), у якій робот лише допомагає визначити правильне положення направляючого інструмента, який використовує хірург.

Також можна класифікувати роботизовані пристрої залежно від того, чи покладаються вони на передопераційну візуалізацію пацієнта, яка має бути інтегрована під час операції (на основі зображення), чи ексклюзивний інтраопераційний збір даних за допомогою реєстрації кісткових орієнтирів (без зображення) [18]. Основна мета — створити тривимірну модель, яка імітує анатомію пацієнта, для оцінювання балансу зв'язок перед встановленням імплантата. Це забезпечить належний баланс згинання та розгинання, збереження стабільності суглоба, оптимізацію діапазону рухів і збереження вирівнювання кінцівки (рис. 2).

Проте незважаючи на те, що роботизовані системи, здебільшого, використовують як хірургічний інструмент для виконання розрізів кісток, більшість із них функціонують як закриті платформи, які обмежують хірурга вибором конструкції імплантата залежно від виробника робота, незалежно від конкретних вимог пацієнта.

Порівняно зі звичайним ТЕКС, РА-ТЕКС демонструє вищу точність позиціонування імплантата, про що свідчить зменшення кількості випадків, які перевищують 3° від передопераційного плану, і середнє позиціонування в межах 1° від запланованого положення в усіх трьох площинах [7]. Крім того, РА-ТЕКС забезпечує покращене відновлення нативної лінії суглоба, коефіцієнт Інсалла-Сальваті та офсет заднього виростка стегнової кістки, а також покращує вирівнювання осі. Незважаючи на покращення об'єктивних показників, усе ще потрібні докази для визначення чи пов'язана підвищена точність із фактичним покращенням функціональних результатів і рівня виживаності імплантата [17].

У короткостроковій перспективі результати позитивні. Використання РА-ТЕКС передбачає менший рівень маніпуляцій із м'якими тканинами, що приводить до мінімізації ушкодження та подальшої запальної реакції в навколишніх тканинах. Як результат — зменшення ступеня післяопераційного болю та набряку, периопераційного знеболення та коротший період фізіотерапії порівняно зі звичайним ТЕКС. Вимоги до перебування в стаціонарі та післяопераційного догляду також змінюються в разі використання РА-ТЕКС [8]. Це супроводжується короткостроковим покращенням функціональних результатів, про що свідчать показники за шкалами KSS, WOMAC протягом 1,5 року після тотального ендопротезування колінного суглоба [22]; захист м'яких тканин порівняно з мануальними методами [22], про які повідомляють різні дослідження [9]. Крім того, обмеження кісткових розрізів роботом у межах передопераційних визначених меж пов'язано зі зниженням частоти ушкоджень задньої схрещеної зв'язки, підвиху великогомілкової кістки та вивороту надколінка, порівняно з класичним ТЕКС. Разом із тим, якісних досліджень,

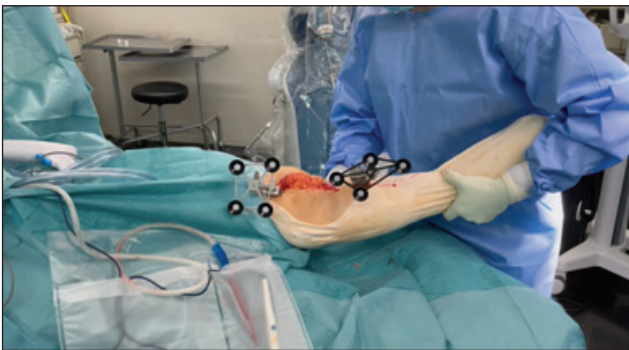


Рис. 2. Ультразвукові датчики (трекери) встановлені в гомілкової та стегнової кістках, дозволяють роботу створювати 3D-модель для планування кісткових спилів

які б оцінювали середньо- чи довгостроковий вплив РА-ТЕКС, мало. Підвищена точність позиціонування імплантата й покращення післяопераційних функціональних оцінок, досягнутих за допомогою РА-ТЕКС, потрібно порівняти з показниками звичайного ТЕКС у довгостроковій перспективі, як і тривалість життя імплантата протягом 10 років [19, 20].

Недоліки застосування РА-ТЕКС. Одним із головних їхніх недоліків є значні витрати на встановлення та обслуговування обладнання. Не лише шляхом придбання роботизованого пристрою (його вартість складає від 600 тис. до 1,5 млн дол. США), але й для додаткової передопераційної візуалізації, навчання хірургічної бригади та оновлення комп'ютерного програмного забезпечення, не кажучи вже про те, що кожен роботизований пристрій сумісний лише з обмеженою кількістю конструкцій імплантатів. Ці витрати можуть частково компенсуватися, оскільки використання РА-ТЕКС приводить до зменшення низки чинників: термін перебування в лікарні, потреба в знеболюванні, показників повторної госпіталізації й потреби у фізіотерапії. Проте згідно з останнім системним оглядом витрати на виконання РА-ТЕКС та ТЕКС не відрізняються (4 дослідження; 366 410 пацієнтів) [21]. Кількість щорічних випадків, необхідних для того, щоб РА-ТЕКС була теоретично економічно ефективною, становить 1 000 на рік, що призводить до певних обмежень використання цих пристроїв. Їхнє використання, переважно хірургами з великим досвідом і значною кількістю операцій, спотворює аналіз потенційних результатів. Зростання вартості пов'язане з передопераційною затримкою часу для команди дистанційного планування для шаблону оптимального розміру та позиціонування імплантата, а також із довшим інтраопераційним часом на початковому етапі навчання. Незважаючи на те, що крива навчання щодо тривалості операції та рівнів впевненості хірургічної бригади становить приблизно від семи до двадцяти випадків, немає даних щодо ефекту кривої навчання для досягнення запланованого розташування імплантата стегнової та великогомілкової кісток. І лише після цього інтраопераційний час із РА-ТЕКС можна порівняти зі звичайним ТЕКС [11, 12]. Слід пам'ятати, що РА-ТЕКС вимагає додаткових розрізів, щоб вставити всі оптичні датчики, необхідні для відстеження руху.

Майбутні перспективи. Є достатньо доказів, щоб стверджувати, що допомога робота покращує позиціонування імплантатів і вирівнювання кінцівок.

Проте зрозуміло, що ця технологія все ще перебуває на ранніх стадіях і попереду ще довгий шлях, щоб встановити та підтвердити потенційні переваги, які починають з'являтися. Ця зміна парадигми в процедурі ТЕКС провокує появу нових невіршених питань. Оскільки витрати на цих роботів зменшуються, а відкриті платформи починають набувати поширення, ми, ймовірно, зіткнемося з величезною кількістю доказів ефективності РА-ТЕКС, оскільки все більше постачальників медичних послуг зможуть дозволити собі цю технологію. У більшості цих пристроїв використовуються алгоритми машинного навчання, який покращує їхню продуктивність із кожним наступним випадком, оскільки інформація, зібрана з попередніх процедур, застосовується для точного налаштування під час нових втручань.

Висновки

Таким чином, із часом очікується, що РА-ТЕКС стануть усе більш надійними та точними, що потенційно приведе до зменшення ролі лікарів у певних аспектах хірургічного процесу, причому їхня участь буде обмежена наглядом за роботою і, отже, покращенням робочого процесу операційного блока. Тим не менш, очікується, що інтеграція нових технологій, таких як змішана реальність, яка накладає змодельовані зображення на зображення реального життя, ще більше розширить діапазон можливостей цих роботів. Але наразі вкрай важливо встановити довгострокові результати тотального ендпротезування колінного суглоба за допомогою роботів як процесу, для визначення життєздатності широкого впровадження цих пристроїв.

До написання цієї статті нас спонукав досвід і знання, отримані під час стажування щодо застосування роботизованої системи Cogі компанії Smith & Nephew для тотального ендпротезування колінного суглоба в госпіталі IASO в Ларіссі (Греція) в жовтні 2023 року.

Конфлікт інтересів. Автор є платним консультантом компанії Smith & Nephew.

Список літератури

1. Australian Orthopaedic Association (2019). 20th Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry Annual Report. Australian Orthopaedic Association. Retrieved from <https://aoanjrr.sahmri.com/documents/10180/668596/Hip%2C+Knee+%26+Shoulder+Arthroplasty/e287d2a3-22df-a3bb-37a2-91e6c00bfcf0>
2. Gilmour, A., MacLean, A. D., Rowe, P. J., Banger, M. S., Donnelly, I., Jones, B. G., & Blyth, M. J. G. (2018). Robotic-Arm-Assisted vs Conventional Unicompartmental Knee Arthroplasty. The 2-Year Clinical Outcomes of a Randomized Controlled Trial. *The Journal of Arthroplasty*, 33(7), S109–S115. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.050>
3. Naziri, Q., Mixa, P. J., Murray, D. P., Abraham, R., Zikria, B. A., Sastry, A., & Patel, P. D. (2018). Robotic-assisted and computer-navigated Unicompartmental knee Arthroplasties: a systematic review. *Surg. Technol. Int.*, 32, 271–278.
4. Kayani, B., & Haddad, F. S. (2019). Robotic total knee arthroplasty. *Bone & Joint Research*, 8(10), 438–442. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.810.bjr-2019-0175>
5. Lanfranco, A. R., Castellanos, A. E., Desai, J. P., & Meyers, W. C. (2004). Robotic Surgery. *Annals of Surgery*, 239(1), 14–21. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d>
6. Hampp, E., Chughtai, M., Scholl, L., Sodhi, N., Bhowmik-Stoker, M., Jacofsky, D., & Mont, M. (2019). Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Demonstrated Greater Accuracy and Precision to Plan Compared with Manual Techniques. *The Journal of Knee Surgery*, 32(03), 239–250. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1641729>
7. Song, E.-K., Seon, J.-K., Park, S.-J., Jung, W. B., Park, H.-W., & Lee, G. W. (2011). Simultaneous bilateral total knee arthroplasty with robotic and conventional techniques: a prospective, randomized study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(7), 1069–1076. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1400-9>
8. Kayani, B., Konan, S., Tahmassebi, J., Rowan, F. E., & Haddad, F. S. (2019). An assessment of early functional rehabilitation and hospital discharge in conventional versus robotic-arm assisted unicompartmental knee arthroplasty. *The Bone & Joint Journal*, 101-B(1), 24–33. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.101b1.bjj-2018-0564.r2>
9. Ren, Y., Cao, S., Wu, J., Weng, X., & Feng, B. (2019). Efficacy and reliability of active robotic-assisted total knee arthroplasty compared with conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Postgraduate Medical Journal*, 95(1121), 125–133. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2018-136190>
10. Cool, C. L., Jacofsky, D. J., Seeger, K. A., Sodhi, N., & Mont, M. A. (2019). A 90-day episode-of-care cost analysis of robotic-arm assisted total knee arthroplasty. *Journal of Comparative Effectiveness Research*, 8(5), 327–336. <https://doi.org/10.2217/ceer-2018-0136>
11. Kayani, B., Konan, S., Huq, S. S., Tahmassebi, J., & Haddad, F. S. (2019). Robotic-arm assisted total knee arthroplasty has a learning curve of seven cases for integration into the surgical workflow but no learning curve effect for accuracy of implant positioning. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27(4), 1132–1141. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5138-5>
12. Sodhi, N., Khlopas, A., Piuze, N., Sultan, A., Marchand, R., Malkani, A., & Mont, M. (2018). The Learning Curve Associated with Robotic Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Knee Surgery*, 31(01), 017–021. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1608809>
13. Rodriguez-Merchan, E. C. (2021). Patient Satisfaction Following Primary Total Knee Arthroplasty: Contributing Factors. *The archives of bone and joint surgery*, 9(4), 379–386. <https://doi.org/10.22038/abjs.2020.46395.2274>
14. DeFrance, M. J., & Scuderi, G. R. (2023). Are 20 % of Patients Actually Dissatisfied Following Total Knee Arthroplasty? A Systematic Review of the Literature. *The Journal of Arthroplasty*, 38(3), 594–599. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2022.10.011>
15. Treu, E. A., Frandsen, J. J., Woodley, C. D., Loughmiller, S. K., Blackburn, B. E., & Peters, C. L. (2023). Accelerometer-Based Navigation in Primary Total Knee Arthroplasty Leads to Improved Alignment but No Change in Patient-Reported Outcomes. *The Journal of Arthroplasty*, 38(6S), S222–S226. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2023.02.081>
16. Cozzi Lepri, A., Innocenti, M., Matassi, F., Villano, M.,

- Civinini, R., & Innocenti, M. (2019). Accelerometer-Based Navigation in Total Knee Arthroplasty for the Management of Extra-Articular Deformity and Retained Femoral Hardware: Analysis of Component Alignment. *Joints*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697610>
17. Pailhe, R. (2021). Total knee arthroplasty: Latest robotics implantation techniques. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 107(1S), 102780. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102780>
18. Cantivalli, A., Cottino, U., Bonasia, D. E., Rosso, F., & Rossi, R. (2023). Robotic Systems in Knee Surgery: Current Concepts and Future Perspectives. *Prosthesis*, 5(4), 1257–1274. <https://doi.org/10.3390/prosthesis5040086>
19. Lee, Y. M., Kim, G. W., Lee, C. Y., Song, E. K., & Seon, J. K. (2023). No Difference in Clinical Outcomes and Survivorship for Robotic, Navigational, and Conventional Primary Total Knee Arthroplasty with a Minimum Follow-up of 10 Years. *Clinics in orthopedic surgery*, 15(1), 82–91. <https://doi.org/10.4055/cios21138>
20. Kim, Y. H., Yoon, S. H., & Park, J. W. (2020). Does Robotic-assisted TKA Result in Better Outcome Scores or Long-Term Survivorship Than Conventional TKA? A Randomized, Controlled Trial. *Clinical orthopaedics and related research*, 478(2), 266–275. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000916>
21. Hoeffel, D., Goldstein, L., Intwala, D. et al. Systematic review and meta-analysis of economic and healthcare resource utilization outcomes for robotic versus manual total knee arthroplasty. *J Robotic Surg*, 17, 2899–2910 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01703-x>
22. Zazirnyi, I., & Barabash, K. (2023). Modern trends in the developments of hip and knee arthroplasty. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (4), 70–78. <https://doi.org/10.15674/0030-59872021470-78>

Стаття надійшла до редакції 16.01.2024

COMPUTER NAVIGATION AND ROBOTIC SURGERY DURING TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

I. M. Zazirnyi

Clinical Hospital «Feofaniya», Kyiv, Ukraine

✉ Ihor Zazirnyi, MD, DSci in Orthopaedics and Traumatology: zazirny@ukr.net