

MÉDECINE DU FUTUR ET DE LA TECHNOLOGIE

INTÉRÊT D'UNE SOLUTION ROBOTIQUE POUR L'OPTIMISATION DE LA CHIRURGIE PROTHÉTIQUE DU GENOU

RENZONI N (1), DANIEL CH (1), GEORIS P (1), THIRION TH (1)

RÉSUMÉ : La chirurgie de remplacement articulaire a connu d'importants progrès, notamment avec la prothèse totale de genou (PTG), qui répond à l'augmentation des cas d'arthrose et de pathologies rhumatismales. La robotique s'impose comme une avancée prometteuse en améliorant la précision du positionnement des implants, optimisant l'équilibrage ligamentaire et réduisant les complications postopératoires. Grâce à une meilleure planification préopératoire et à l'intelligence artificielle, la chirurgie assistée par robot permet un alignement plus précis des implants, limitant ainsi les risques d'usure prématurée et de descellement. Les patients bénéficient d'une récupération plus rapide, d'une diminution de la douleur et d'une réduction du temps d'hospitalisation. En plus des avantages cliniques, la chirurgie robotisée pourrait réduire les coûts de santé en limitant les réadmissions et les séances de rééducation. Cependant, son adoption soulève des défis, notamment en matière de formation des chirurgiens et d'accessibilité financière. En conclusion, la robotique révolutionne la chirurgie orthopédique en offrant plus de précision, de sécurité et d'efficacité. Son développement nécessite néanmoins des ajustements réglementaires et logistiques pour garantir un accès équitable aux patients.

MOTS-CLÉS : *Prothèse totale de genou - Robotique - Chirurgie orthopédique*

ROBOTIC SOLUTION FOR OPTIMIZING PROSTHETIC KNEE SURGERY

SUMMARY : Joint replacement surgery has made significant advancements, particularly with total knee arthroplasty (TKA), which addresses the increasing cases of osteoarthritis and rheumatic diseases. Robotics is emerging as a promising innovation, enhancing implant positioning accuracy, optimizing ligament balancing, and reducing postoperative complications. Through improved preoperative planning and artificial intelligence, robot-assisted surgery enables more precise implant alignment, minimizing the risks of premature wear and loosening. Patients benefit from faster recovery, reduced pain, and shorter hospital stays. Beyond clinical advantages, robotic surgery could lower healthcare costs by reducing readmissions and rehabilitation sessions. However, its adoption presents challenges, including surgeon training and financial accessibility. In conclusion, robotics is revolutionizing orthopaedic surgery by offering greater precision, safety, and efficiency. However, its development requires regulatory and logistical adjustments to ensure equitable patient access.

KEYWORDS : *Total knee arthroplasty - Robotics - Orthopaedic surgery*

INTRODUCTION

La chirurgie de remplacement articulaire est l'une des avancées les plus importantes de ces dernières années en chirurgie orthopédique. Après la prothèse de hanche, considérée comme «l'opération du siècle dernier», la prothèse totale de genou (PTG) tient, à son tour, une place majeure en chirurgie orthopédique, certains en ayant fait leur activité quasi exclusive. Cette évolution dans les pratiques médicales répond également à une nécessité grandissante face à l'augmentation des cas d'arthrose et de pathologies rhumatismales. En Belgique, 18 % de la population souffre d'arthrose, et ce chiffre devrait croître avec le vieillissement démographique et la progression de l'obésité (1). Les gonarthroses sont, dans la grande majorité des

cas, secondaires à un trouble mécanique, soit constitutionnel, soit acquis (cal vicieux, séquelle d'une fracture intra-articulaire). La gonarthrose primitive sur genou normo-axé est, quant à elle, beaucoup plus rare (maladie du cartilage, chondrocalcinose).

Dans la littérature, l'importance des lésions radiographiques apparaît comme un facteur majeur de bons résultats après une PTG (2). Mettre en place des arthroplasties de genou sur des gonarthroses qui sont peu évoluées radiologiquement donne des résultats postopératoires décevants. La gonarthrose est souvent bilatérale. La planification préopératoire est à la fois clinique et radiographique. L'objectif d'une arthroplastie du genou est de rendre l'articulation prothétique indolore, mobile et stable. Ce résultat optimal n'est atteint que dans 80 % à 85 % des cas (3, 4).

Dans cette optique, les prestataires de soins de santé ont besoin de solutions précises et abordables afin de faire face à une demande croissante de ces interventions et aux exigences fonctionnelles des patients en constante augmentation.

(1) Service de Chirurgie de l'Appareil Locomoteur - Traumatologie, CHU Liège, Belgique.

L'APPORT DE LA ROBOTIQUE EN CHIRURGIE PROTHÉTIQUE DU GENOU

La robotique est particulièrement prometteuse car elle peut aider les chirurgiens à améliorer les résultats fonctionnels. En comparaison avec les techniques conventionnelles, l'utilisation d'un robot permet une optimisation du positionnement des implants. La robotique couplée à un système de navigation permet d'ajuster précisément certains alignements spécifiques à chaque patient. Des études cadavériques ont montré que l'utilisation de la robotique en chirurgie assistée permet de significativement améliorer de nombreux paramètres, comme l'alignement des implants et la gestion des tissus mous, ce qui pourrait améliorer le taux de satisfaction des patients et la longévité des implants (5).

En outre, les robots de dernière génération permettent un équilibrage prédictif des tissus mous, augmentant ainsi la probabilité d'une balance ligamentaire optimale. Cela diminue le risque de relâchement capsulo-ligamentaire et améliore la gestion des tissus avoisinants l'os. Ce procédé permet de limiter les erreurs d'alignement, comme les hypo- ou hyper-corrrections, qui peuvent accélérer l'usure des implants ou provoquer leurs déscollements prématurés.

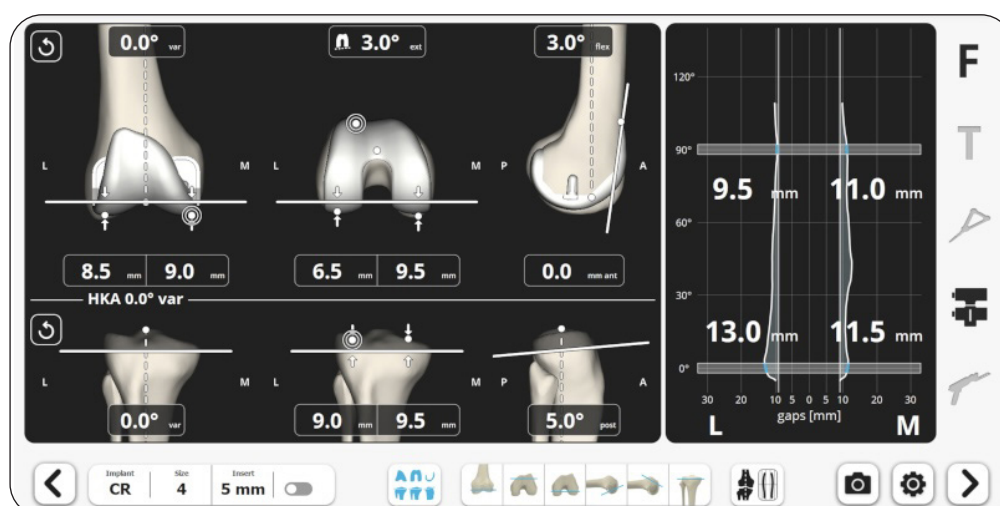
En outre, cette chirurgie robotisée pourrait contribuer à une réduction des coûts des soins de santé. Des études menées aux Etats-Unis ont montré une probable réduction de l'impact économique en comparaison avec les techniques classiques utilisées actuellement (6, 7).

Au début des années 2000, la robotique pour les PTG a gagné en popularité grâce à l'amélioration de la précision des instruments et à la diminution des erreurs humaines. En 2010, l'accent a été mis sur la réduction de l'encombrement des robots ainsi que sur l'amélioration de l'interface de planification par l'utilisateur permettant au chirurgien d'interagir avec la machine, de la mise en place des implants et de l'équilibrage ligamentaire. La décennie actuelle est caractérisée par l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) et de l'apprentissage automatique permettant une planification dynamique et un ajustement en temps réel des paramètres de positionnement des implants durant l'opération (Figure 1).

POURQUOI UNE TELLE ACQUISITION ?

Une question persiste quant à l'alignement optimal des PTG. Actuellement, la volonté de restaurer l'anatomie du genou natif du patient est de plus en plus importante, mais les méthodes classiques ne permettent pas de telles ambitions. Il existe, en effet, un risque d'induire un mauvais alignement prothétique pouvant conduire à un descollement plus précoce des implants. L'amélioration des techniques de pose par l'avènement de solutions précises telles que la robotique pourrait permettre une restauration en toute sécurité de l'alignement frontal constitutionnel du patient. Les technologies robotiques avancées permettent d'évaluer dynamiquement l'impact de chaque modification du positionne-

Figure 1. Interface de planification permettant au chirurgien de personnaliser l'alignement et l'équilibrage des tissus mous



ment des implants sur la stabilité et la cinématique du genou en temps réel.

QUELS SERAIENT LES AVANTAGES POUR LES PATIENTS ?

La PTG assistée par robot est associée à une meilleure précision du placement des implants, ce qui devrait améliorer les résultats cliniques et augmenter la durée de vie des implants (8). Un mauvais placement peut entraîner une usure prématurée ou un dysfonctionnement de la prothèse.

D'une manière générale, les résultats cliniques des patients sont améliorés grâce à un taux de complications plus faible. Selon Zhang et coll., plusieurs méta-analyses ont montré que la chirurgie robotisée est associée à une meilleure récupération fonctionnelle et à un taux plus faible de complications comme les infections superficielles, l'arthrofibrose ou les déhiscences de cicatrices (9). D'après Kayani et coll., les PTG assistées par un bras robotisé sont associées à une réduction de la douleur postopératoire, de la consommation d'analgésiques et des saignements. Les amplitudes articulaires sont également améliorées et les séjours hospitaliers sont réduits en comparaison aux patients ayant subi une PTG implantée de manière conventionnelle. Ces facteurs contribuent à une récupération plus rapide (10).

Le patient est un acteur essentiel dans son parcours de soins, depuis la discussion des options thérapeutiques jusqu'à la validation du traitement. Les protocoles de récupération rapide après la chirurgie du genou, utilisés aujourd'hui, permettent d'envisager une sortie précoce post-chirurgie. Cette prise en charge a tendance à se développer car elle répond non seulement aux souhaits sociaux, mais également aux problèmes économiques de ces dernières années (3). Chez les malades opérés d'une PTG assistée par la robotique, on observe une diminution de la durée de l'hospitalisation et de la fréquentation des centres de révalidation au profit d'un retour au domicile plus rapide et d'une reprise plus précoce des activités (10, 11). Les scores fonctionnels (WOMAC) sont améliorés de manière significative à 6 mois et 1 an en postopératoire par rapport aux PTG placées de manière conventionnelle (12). Ceci est associé à une diminution du taux de réadmissions des patients.

La chirurgie robotique étant plus précise, elle permet de minimiser les dommages aux tissus environnants, ce qui permet de réduire l'inflam-

mation et la douleur postopératoire. Les patients bénéficiant de cette nouvelle technologie ont un meilleur équilibrage des tissus mous réduisant ainsi le recours éventuel à une révision chirurgicale (10). La fréquence des complications post-opératoires, telles que les infections ou les erreurs de positionnement des implants, est également plus faible. Tous les éléments précités contribuent à l'augmentation du taux de satisfaction du patient.

QUELS SERAIENT LES AVANTAGES POUR LES CHIRURGIENS ?

La robotique a des effets significatifs et positifs sur la pratique des chirurgiens (13). Par sa précision, cette technologie tente à réduire les erreurs humaines. En offrant des outils de simulation préopératoire, elle permet de mieux planifier les interventions et de réduire le stress chirurgical. Bien qu'une formation spécifique et continue reste nécessaire, elle améliore les compétences techniques et ouvre de nouvelles perspectives telles que la standardisation des gestes. Ces avantages garantiraient des résultats plus reproductibles, même pour un chirurgien moins expérimenté. Durant l'opération, le chirurgien bénéficie d'un retour d'informations en temps réel. La combinaison de cette assistance technologique et du contrôle manuel par le chirurgien a pour but d'améliorer la procédure chirurgicale. Cependant, certains défis demeurent, tels que la formation nécessaire pour acquérir de nouvelles compétences techniques, la gestion des coûts d'investissement et les difficultés potentielles liées à la dépendance à un système robotique.

IMPLICATIONS ÉTHIQUES ET RÉGLEMENTAIRES

La chirurgie robotique est désormais utilisée dans de nombreux services d'orthopédie, et la tentation de l'adopter pour améliorer la qualité des soins est forte. Bien que la robotique offre de nombreux avantages, certaines considérations éthiques s'imposent. Les relations entre professionnels de santé, industriels, hôpitaux et patients et, en particulier, les impératifs concernant la formation des équipes chirurgicales en font partie. L'évolution de notre société, accompagnée d'une judiciarisation croissante, nous incite à acquérir une formation initiale de qualité et à proposer un bilan de compétences, indispensable pour la protection des patients mais aussi des autres acteurs (14).

Bien qu'elle puisse réduire les coûts des soins de santé à long terme, la chirurgie robotique reste coûteuse en termes d'acquisition et d'entretien. La question de son accessibilité pour tous les patients et du risque d'accroître les inégalités d'accès aux soins demeure centrale.

CONCLUSION

L'intégration de la robotique dans la chirurgie prothétique du genou a permis des avancées notables, tant pour les chirurgiens que pour les patients. Le principal avantage de cette technologie est la capacité à réaliser des interventions avec une précision inégalée, conduisant à une meilleure stabilité articulaire, à un retour à une mobilité plus naturelle et à une diminution des douleurs postopératoires. La rééducation est plus rapide et le taux de fréquentation des centres de révalidation est réduit. Il s'ensuit un retour plus précoce aux activités professionnelles et de loisirs.

L'introduction de la robotique impose une formation spécifique des équipes médicales. Cette phase d'apprentissage, bien qu'exigeante, devrait être largement compensée par le gain en efficacité, en précision. Le recours à la robotisation pourrait également contribuer à l'amélioration de l'image de l'institution. Enfin, la réduction des durées de séjour en milieu hospitalier contribuera à des économies de coûts à long terme pour les prestataires de soins de santé.

BIBLIOGRAPHIE

1. Health Interview Survey, Sciensano, 1997-2018. Available from: <https://www.sciensano.be/en/projects/health-interview-survey>
2. Dowsey MM, Nikpour M, Dieppe P, et al. Associations between pre-operative radiographic changes and outcome after total knee joint replacement for osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2012;**20**:1095-102.
3. Suignard N, Labban J, Desseaux A, et al. Principes techniques de prothèses tricompartmentales du genou de première intention. *EMC Techniques Chirurgicales, Orthopédie, Traumatologie* 2020;**40**:1-24.
4. Buvanendran A, Della Valle CJ, Kroin JS, et al. Acute postoperative pain is an independent predictor of chronic postsurgical pain following total knee arthroplasty at 6 months: a prospective cohort study. *Reg Anesth Pain Med* 2019;**44**:e100036.
5. Doan GW, Courtis RP, Wyss JG, et al. Image-free robotic-assisted total knee arthroplasty improves implant alignment accuracy: a cadaveric study. *J Arthroplasty* 2022;**37**:795-801.
6. Cool CL, Jacofsky DJ, Seeger KA, et al. A 90-day episode-of-care cost analysis of robotic-arm assisted total knee arthroplasty. *J Comp Eff Res* 2019;**8**:327-36.
7. Pierce J, Needham K, Adams C, et al. Robotic arm-assisted knee surgery: an economic analysis. *Am J Manag Care* 2020;**26**:e205-10.
8. Kort N, Stirling P, Pilot P, et al. Robot-assisted knee arthroplasty improves component positioning and alignment, but results are inconclusive on whether it improves clinical scores or reduces complications and revisions: a systematic overview of meta-analyses. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;**30**:2639-53.
9. Zhang J, Ndou WS, Ng N, et al. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved accuracy and patient outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;**30**:2677-95.
10. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, et al. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J* 2018;**100-B**:930-7.
11. Hamilton DA, Ononuju U, Nowak C, et al. Differences in immediate postoperative outcomes between robotic-assisted TKA and conventional TKA. *Arthroplast Today* 2021;**8**:57-62.
12. Marchand RC, Sodhi N, Anis HK, et al. One-year patient outcomes for robotic-arm-assisted versus manual total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2019;**32**:1063-8.
13. Farr D. Can robotic surgery contribute to surgeon wellness? *Am J Surg* 2024;**237**:115831.
14. Larose C, Mazeaud C, Eschwege P, et al. La chirurgie robotique sous le regard de l'éthique. *EMC Éthique et santé* 2024;**22**:25-32.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Dr Renzoni N, service de Chirurgie de l'Appareil Locomoteur-Traumatologie, CHU Liège, Belgique.
Email : n.renzoni@chuliege.be