



Chirurgie robot-assistée de la surface oculaire et du segment antérieur

Tristan Bourcier, Jimmy Chammas, Mathieu Nardin, Pierre-Henri Becmeur

La chirurgie robot-assistée connaît un essor continu depuis le début des années 1990. Les chirurgies urologiques, digestives, générales et gynécologiques sont celles qui ont le plus bénéficié des avantages de la robotique. Le robot Da Vinci (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA) est le seul robot chirurgical actuellement commercialisé dans le monde. La liste des indications appropriées est déjà conséquente et ne cesse de s'accroître. Le nombre de procédures réalisées augmente chaque année au fur et à mesure que la technologie progresse et devient plus accessible. Cependant, les disciplines microchirurgicales telles que l'ophtalmologie, n'ont pas encore intégré la robotique dans leur arsenal thérapeutique. Les causes de ce retard sont au nombre de deux. La chirurgie ophtalmologique est l'exemple même d'une chirurgie mini-invasive et ses résultats sont excellents dans de nombreux domaines (cataracte, rétine notamment). De multiples outils technologiques (imagerie, lasers) assistent déjà le chirurgien dont la cadence de travail s'apparente presque à celle d'un robot lorsqu'un grand nombre de procédures sont réalisées dans la même journée opératoire. En outre, il n'existe pas en 2017 de robot microchirurgical suffisamment abouti au plan technique pour être commercialisé. Il n'est donc pas surprenant de constater que la chirurgie robot-assistée de l'œil n'a actuellement qu'un intérêt limité aux domaines de la recherche fondamentale et clinique.

Il y a cependant de nombreux avantages potentiels à utiliser le robot en ophtalmologie.

Meilleure précision du geste chirurgical, meilleure manœuvrabilité, filtration du tremblement, meilleure ergonomie de travail, meilleur accès au site opératoire, travail endoscopique, automatisation des mouvements, télé-chirurgie, télé-apprentissage sont des avantages évidents [1]. Par ailleurs, des études ont montré des synergies entre la microchirurgie et la chirurgie robotisée. De par plusieurs aspects, notamment l'ergonomie et la gestuelle, ces deux domaines partagent de nombreux points communs. De fait, la chirurgie robot-assistée semble un continuum naturel pour les ophtalmologistes et il ne fait aucun doute que la robotique, comme le fait actuellement l'imagerie, devrait s'intégrer dans les prochaines années à nos espaces chirurgicaux de travail.

Ophtalmologie, Hôpitaux universitaires de Strasbourg, FMTS, Université de Strasbourg

Le robot Da Vinci (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA) comporte 3 composants : un chariot « patient » muni de 4 bras articulés chargés d'instruments et d'une caméra digitale (partie mobile), un chariot « vision », une console chirurgien (partie fixe) (figures 1 et 2). Quatre versions de Da Vinci ont été développées et commercialisées depuis 2001 : S, Si, Si HD et Xi. Le Da Vinci Xi, disponible depuis 2014, se distingue par un poids plus léger, des bras plus mobiles et une caméra 8 mm dotée d'un autofocus. La qualité de visualisation des images du champ opératoire est proche de celle des microscopes opératoires modernes. Bien que réduit, le diamètre de la caméra demeure toutefois incompatible avec une utilisation endoscopique intraoculaire.

L'aventure Da Vinci en ophtalmologie a commencé en 2006. Le modèle Si a été utilisé en conditions expérimentales pour suturer des plaies de cornée, effectuer des kératoplasties transfixiantes [2] et des vitrectomies [3]. Globalement, le robot était considéré par les investi-

Nouvelles technologies chirurgicales

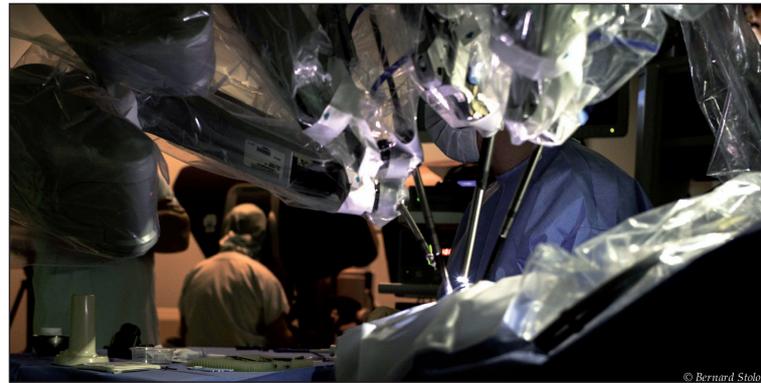


© Bernard Stoloff, photographe

Figure 1. Les consoles chirurgiens. Chaque console est équipée d'un système optique de visualisation, de 2 télémanipulateurs et de 5 pédales. Le système optique permet une vue tridimensionnelle du champ opératoire de haute définition avec autofocus et grossissement pouvant aller jusqu'à $\times 15$. Des messages texte et des icônes reflètent le statut chirurgical du système en temps réel. Les deux manettes permettent la manipulation à distance des 4 bras articulés du robot équipés de la caméra et des instruments microchirurgicaux. Le robot réplique les mouvements de la main du chirurgien, effectués grâce aux télémanipulateurs en les démultipliant (ratio 1:1.5 à 1:3) et les restitue en temps réel aux instruments chirurgicaux du chariot patient animés de façon distale par des câbles et des poulies métalliques.

gateurs comme imprécis en raison d'une mauvaise visualisation du champ opératoire, de l'absence d'instruments microchirurgicaux disponibles et d'un point pivot trop distal par rapport au point d'entrée des instruments dans l'œil. Les procédures étaient en outre de durées beaucoup plus longues que les chirurgies conventionnelles manuelles équivalentes. Ces défauts ont été considérés, en 2009, comme réhibitifs pour une utilisation clinique du Da Vinci.

Les Hôpitaux universitaires de Strasbourg développent depuis 2011 un programme de recherche autour de la chirurgie robotisée de l'œil au sein de l'IRCAD et de l'IHU de chirurgie guidée par l'image. Différentes procédures expérimentales de surface oculaire et segment antérieur ont été réalisées à l'aide des nouvelles générations de robots Da Vinci Si HD et Xi : greffes de membranes amniotiques, greffes de cornée, chirurgies de ptérygions [4], de la cataracte [5], du glaucome. Une étude clinique intitulée « Chirurgie robot-assistée de la surface oculaire » (clinicaltrials.gov, NCT02116062) a été promue et mise en place en 2014 par les Hôpitaux universitaires de Strasbourg après approbation du CPP Est et de l'ANSM. L'installation du patient et la disposition des différentes parties



© Bernard Stoloff

Figure 2. La partie mobile du robot. Elle est placée derrière la tête du patient installé en décubitus dorsal (premier plan). Elle comprend 4 bras articulés, 3 d'entre eux sont chargés des différents instruments chirurgicaux et le 4^e est équipé de la caméra digitale stéréoscopique qui permet au chirurgien installé à distance à sa console de visualiser le champ opératoire (arrière-plan).

du robot Da Vinci dans le bloc opératoire sont illustrées par les figures 1, 2 et 3. Les premières interventions ont été effectuées en 2014 [6]. Il s'agissait de greffes de membranes amniotiques (technique de *patch*) (figure 4). Une chirurgie de ptérygion a par la suite été réalisée [7]. Conformément à la technique de Kenyon, dissection de la tête du ptérygion, scarification cornéenne et sclérale, hémostase, prélèvement et suture d'un greffon conjonctival ont été réalisés en utilisant 2 pinces Fine Tissue™, un scalpel Snap-fit™, un crochet cautére et une paire de ciseaux de Potts™ (figure 5). Il n'y a pas eu de complications ni de nécessité de convertir la procédure en une chirurgie conventionnelle manuelle. Le robot a fourni la dextérité suffisante pour effectuer les manipulations nécessaires à l'accomplissement complet des procédures.

Ces premières interventions chez l'homme ont jusqu'à présent démontré la faisabilité et la non-infériorité d'une chirurgie de surface oculaire robot-assistée par rapport à une chirurgie conventionnelle manuelle. La principale différence réside donc dans la durée des interventions qui sont doublées par rapport à celles des chirurgies classiques. On peut raisonnablement penser qu'il s'agit là de la conséquence de la courbe d'apprentissage pour les chirurgiens et infirmières de bloc en ophtalmologie et que les durées d'interventions devraient sensiblement se réduire à l'avenir. Il ne faut cependant pas méconnaître les avantages propres à l'utilisation du Da Vinci. Nous avons pu apprécier les 7 degrés de liberté de mouvement des bras du robot et ce quelle que soit la configuration anatomique du patient. L'existence de deux consoles opératoires qui reçoivent simultanément les mêmes informations visuelles permet de travailler en binôme pendant

Dossier



Figure 3. Les instruments du robot. A. Les bras du robot sont positionnés à la partie inférieure et temporale du visage afin d'éviter les contacts avec le nez et le toit de l'orbite. Ils sont inclinés de 45 à 60 degrés par rapport au plan chirurgical et organisés de façon triangulaire. La caméra est installée verticalement au-dessus de l'œil à opérer. B. Le système Da Vinci est désormais doté d'instruments microchirurgicaux : pinces Fine Tissue™, Black Diamond™, scalpel Snapfit™, ciseaux de Potts™ qui s'apparentent respectivement à nos classiques portes aiguilles, pinces de Bonn, couteaux Crescent et ciseaux de Vannas.

l'intervention. En outre, l'opérateur principal peut à tout moment reprendre la main sans qu'il soit nécessaire de changer de position ou de sortir les instruments du site opératoire. Ces différents éléments constituent un environnement favorable à l'apprentissage. La réduction de la longueur des bras, des diamètres des instruments, de la caméra ainsi que la « distalisation » des points pivots sont les améliorations qui permettront de réaliser à l'avenir des chirurgies intraoculaires. Il est également possible d'envisager la mise en place de systèmes de sécurité, en fixant par exemple une force de traction limite ou en définissant des zones d'accès interdites lors de certains gestes. L'autre voie d'amélioration est économique : le



Figure 4. Un(e) infirmier(e) roboticien(ne) et un interne sont présents à proximité du patient. Habillés stérilement, ils ont pour mission de changer les instruments et d'arroser la surface oculaire quand cela est nécessaire.

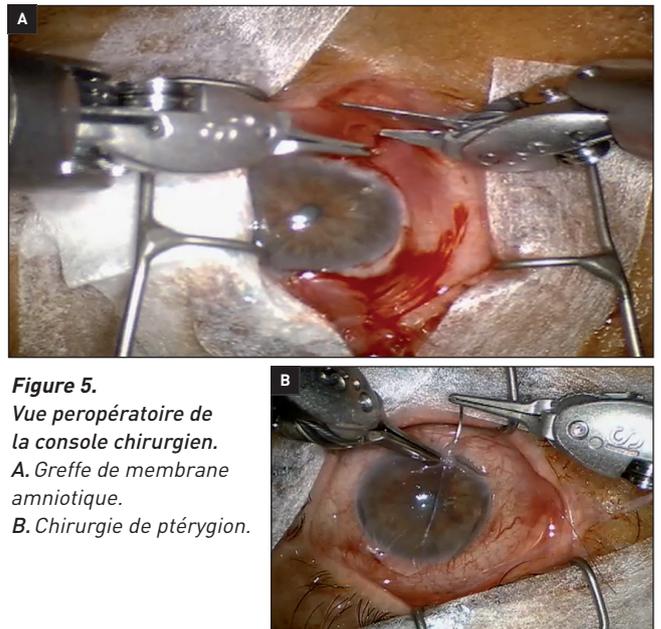


Figure 5. Vue peropératoire de la console chirurgical. A. Greffe de membrane amniotique. B. Chirurgie de ptérygion.

coût actuel d'une intervention ophtalmologique robot-assistée est très largement supérieur aux standards de la chirurgie ophtalmologique manuelle.

Le robot Da Vinci n'est pas la seule voie de recherche et l'avenir de la robotique en ophtalmologie s'annonce riche. De nombreux prototypes expérimentaux dédiés à la chirurgie oculaire sont en cours de développement. L'objectif initial des chercheurs était la cathétérisation et/ou l'injection intravasculaire de traitements médicamenteux au sein des artères et veines rétinienne. Beaucoup de travaux de recherche récents explorent la possibilité de robots permettant de réaliser ou d'aider au

pelage de membranes épitréiniennes [8,9]. Le récent pelage de membrane limitante interne assistée par le robot chirurgical Preceeye™ chez un patient britannique [10] prouve que la recherche progresse toujours plus vite qu'on ne le prévoit.

Même s'il ne s'agit encore que de recherche chirurgicale, la chirurgie robot-assistée accélère son développement en ophtalmologie. Le cahier des charges des futurs robots est désormais bien défini : instruments spécifiques, précision micrométrique, automatisation des gestes, intégration de lasers, de réalité augmentée et pourquoi pas secondairement de systèmes d'intelligence artificielle. La robotique va devoir démontrer dans les prochaines années son réel intérêt dans les chirurgies intraoculaires existantes (cataracte, rétine) et il n'est pas interdit d'imaginer la création de nouvelles voies d'abord et/ou de nouvelles techniques chirurgicales jusqu'alors non décrites.

La question n'est donc pas tant de savoir si la robotique a un intérêt en chirurgie oculaire, mais plutôt de déterminer quand le robot sera suffisamment performant pour apporter une réelle valeur ajoutée à notre pratique courante. La phase de « décollage » propre à l'arrivée et à l'essor de toute nouvelle technologie n'est probablement plus très loin. Ce qui est actuellement une utopie – une chirurgie oculaire effectuée par le robot sous surveillance du chirurgien – deviendra par la suite notre réalité.

Références bibliographiques

- [1] Jeganathan VS, Shah S. Robotic technology in ophthalmic surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2010;21(1):75-80.
- [2] Bourges JL, Hubschman JP, Burt B *et al*. Robotic microsurgery: corneal transplantation. *Br J Ophthalmol*. 2009;93(12):1672-5.
- [3] Bourla DH, Hubschman JP, Culjat M *et al*. Feasibility study of intraocular robotic surgery with the DaVinci surgical system. *Retina*. 2008;28(1):154-8.
- [4] Bourcier T, Nardin M, Sauer A *et al*. Robot-Assisted Pterygium Surgery: Feasibility Study in a Nonliving Porcine Model. *Transl Vis Sci Technol*. 2015;4(1):9.
- [5] Bourcier T, Chammas J, Becmeur PH *et al*. Robot-assisted simulated cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2017: in press.
- [6] Bourcier T, Becmeur PH, Mutter D. Robotically assisted amniotic membrane transplant surgery. *JAMA Ophthalmol*. 2015;133(2):213-4.
- [7] Bourcier T, Chammas J, Becmeur PH *et al*. Robotically Assisted Pterygium Surgery: First Human Case. *Cornea*. 2015;34(10):1329-30.
- [8] Rahimy E, Wilson J, Tsao TC *et al*. Robot-assisted intraocular surgery: development of the IRIS and feasibility studies in an animal model. *Eye*. 2013;27(8):972-8.
- [9] Tanaka S, Harada K, Ida Y *et al*. Quantitative assessment of manual and robotic microcannulation for eye surgery using new eye model. *Int J Med Robot* 2015;11(2):210-217.
- [10] <http://www.bbc.com/news/health-37246995>. Walsh F. Robot operates inside eye in world first.