

Microchirurgie avec le robot Da Vinci S. La télémicrochirurgie : l'essor imminent

Telemicrosurgery

Michel A Germain*, Philippe Liverneaux**, Marie-Christine Missana*.

*Département de chirurgie, Institut Gustave Roussy, Villejuif.

**SOS main, Hôpitaux Universitaires de Strasbourg, Illkirch.

Mots clés

- ◆ Microchirurgie
- ◆ téléchirurgie
- ◆ robotique

Résumé

L'assistance opératoire par robot chirurgical est du domaine du présent. Le principe est de remplacer le chirurgien au niveau du champ opératoire par un système robotisé commandé à distance. Le robot Da Vinci® est doté d'une vision tridimensionnelle étendue, grâce à 2 sources lumineuses et à 2 caméras. Il possède 2, 3 voire 4 mains ayant une précision extraordinaire. Les propriétés exceptionnelles des poignées de télémanipulation respectent l'autonomie du chirurgien : augmentation des degrés de liberté, finesse du geste opératoire grâce à la démultiplication des mouvements (6 fois) et au filtrage des tremblements de l'opérateur, grossissement optique jusqu'à 20 fois, intervention à distance. Toutes ces qualités répondent aux besoins de la microchirurgie.

Matériel Méthodes : les rats Wistar ont été utilisés avec les instruments chirurgicaux standards et un télémanipulateur Da Vinci-S (Intuitive Surgical). Un abord de la queue des rats a été effectué par un volet cutané. Les temps suivants ont été réalisés sous télé-microchirurgie : dissection, mise en place du double clamp vasculaire, section de l'artère, suture par des points séparés de nylon 10-0. Après anastomoses, le test de perméabilité vérifie la perméabilité. Dans cette étude, la pronosupination du bras du robot est de 360°. Un troisième bras articulé améliore l'ergonomie du poste de travail. Dans les mêmes conditions, des sutures d'artère fémorale (n = 20) et de nerfs sciatiques (n = 20) de rats sont effectuées avec succès. La réimplantation d'un membre a été réalisée expérimentalement chez un cochon à l'aide de deux robots Da Vinci intervenant simultanément, avec succès.

Résultats : ils démontrent que la télé-microchirurgie permet la réimplantation et la transplantation spécialement grâce à la précision de la gestuelle opératoire. La courbe d'apprentissage est étonnamment courte. La technique a été appliquée en clinique humaine pour la suture nerveuse.

Keywords

- ◆ Microsurgery,
- ◆ telesurgery
- ◆ robotic

Abstract

Robotic surgery is a present possibility. The principle is to replace the surgeon in the operating field by a surgical robot. The Da Vinci-S® robot has a tridimensional vision, thanks to two lights and two cameras. It has two, three, or four hands with an extraordinary precision. The handles of telemanipulation respect the autonomy of the surgeon: increase of the liberty, delicacy of the operative movement thanks to reducing the movements (six times) and to the filtration of the trembling of the surgeon, optic magnification (twenty times), distant operation. All these qualities answer to the needs of microsurgery.

Material: Wistar rats were used with the Da Vinci-S robot: dissection of the artery of the tail of the rat: dissection, double clamp, section of the artery, suture of the artery with separated stitches 10-0 nylon. In the same conditions, sutures of the femoral artery (n=20) sciatic nerve (n=20) of the rats were performed with success. Reimplantation of a limb in the pig was performed with two robots which operated simultaneously with a total success.

Results: The tele-microsurgery allows Reimplantation and transplantation. The learning curve is very short. The technique was used in the human for nerve sutures, and coronary bypass.

Depuis trente-cinq ans, l'auteur expertise à l'École de Chirurgie des Hôpitaux de Paris les différentes techniques de micro-suture : suture au fil qui demeure la méthode de choix, les anneaux MAS (microsurgical anastomosis system), la colle biologique, la suture au laser, les micro-agrafes non transfixiantes (1). Quant à l'intervention, elle est encore réalisée « manuellement » et reste aux mains du chirurgien sur le champ opératoire même. Dans l'éventualité d'une évolution

par commande à distance dans le domaine « micro »-chirurgical, il convient d'évaluer tout l'intérêt du robot Da Vinci-S®.

Alexis Carrel, prix Nobel 1912, a réalisé les premières transplantations de membres chez l'animal, puis Jacobson, à New-York en 1960, a effectué la première intervention sous microscope opératoire, utilisant le terme de microchirurgie. Dès lors l'irrésistible avènement de la microchirurgie débute.

Correspondance :

Professeur Michel Germain.- Département de chirurgie, institut Gustave Roussy, 39 Rue Camille Desmoulins, 94805 Villejuif Cedex.

Email: m.a.germain@orange.fr

Disponible en ligne sur www.bium.univ-paris5.fr/acad-chirurgie

1634-0647 - © 2010 Académie nationale de chirurgie. Tous droits réservés.

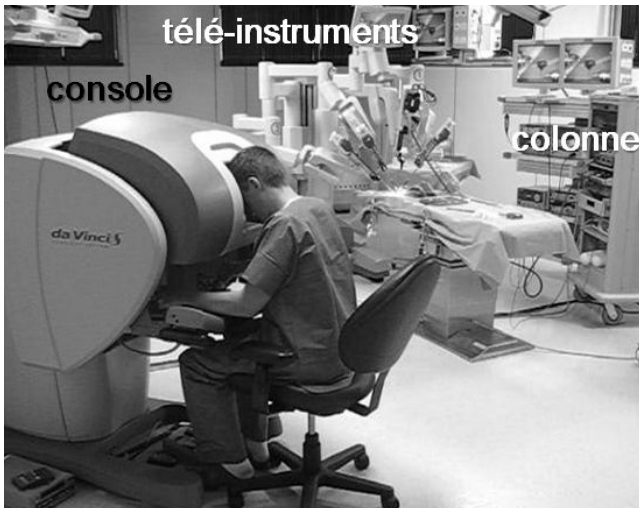


Figure 1. Matériel de télé-microchirurgie : disposition générale. Au premier plan, la console du chirurgien ; au second plan, un télémanipulateur avec ses bras et sa caméra au dessus de la table d'opération ; à droite, les écrans de contrôle montrant la vision du champ opératoire.

La robotique médicale apparaît avec la téléchirurgie. Le principe est de remplacer le chirurgien au niveau du champ opératoire par un système robotisé commandé à distance. L'histoire de la téléchirurgie a commencé dans les années 1990 (2), quand le JPL (NASA's Jet Propulsion Laboratory) (National Aeronautics and Space Administration) inaugure le projet « Hazbot » (2), un robot destiné à l'exploration en toute sécurité de sites potentiellement dangereux (désamorçage de bombes), au transport de matériaux hautement toxiques (déchets nucléaires), voire à l'opération chirurgicale d'astronautes malades séjournant dans la station spatiale internationale, par des chirurgiens restés sur terre. L'impossibilité de transmission des données en temps réel a fait échouer le projet. L'armée américaine s'est emparée du concept pour le transposer en chirurgie de guerre, pensant limiter ainsi l'exposition au danger des chirurgiens militaires, qui auraient opéré à distance les soldats blessés sur les champs de bataille (3).

En 1989, une société de robotique médicale, Computer Motion, a développé le projet « Aesop® », un robot destiné à mouvoir une caméra de chirurgie laparoscopique, dont plusieurs versions successives ont été conçues avec des fonctionnalités évolutives : contrôle vocal, mise en réseau, augmentation des degrés de liberté du bras portant la caméra. En 1995, des bras portant des instruments chirurgicaux ont été ajoutés à « Aesop® », qui prit alors le nom de « Zeus® ». Ce dernier pouvait recevoir alternativement sur ses trois bras 28 instruments différents, parmi lesquels bistouris, écarteurs, ciseaux et pinces. Mais sa principale caractéristique était de filtrer numériquement le tremblement physiologique (4), ce qui fit entrer définitivement la téléchirurgie dans l'ère de la chirurgie du présent, concrétisé par l'obtention d'une autorisation de la FDA (Food and Drugs Administration).

En 1995, une autre société de robotique médicale, Intuitive Surgical, a développé le robot « Da Vinci -S® », en collaborant avec des sociétés commerciales et des institutions de recherche telles l'institut de recherche de Stanford, le MIT (Massachusetts Institute of Technology), IBM (International Business Machine), Heartport Incorporation, Olympus Optical, et Ethicon Endo-Surgery. Le robot « Da Vinci-S® », premier robot de chirurgie laparoscopique (5) supplanta rapidement tous ses concurrents et la société Intuitive Surgical absorba la société Computer Motion. Cette position dominante lui permit de développer une nouvelle étape majeure de la robotique chirurgicale : une main miniaturisée du nom de « Endowrist® », dotée de 7 degrés de liberté offrant un

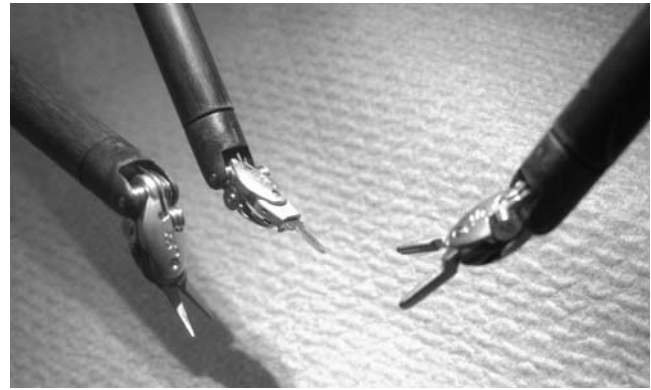


Figure 2. Les instruments de télé-microchirurgie. À gauche, une paire de ciseaux ; au milieu un bistouri ; à droite, une pince à disséquer.

choix considérable de mouvements. Cette petite merveille reproduit la mobilité et la dextérité de la main du chirurgien en temps réel. L'« Endowrist® » autorise non seulement une très haute précision de la gestuelle, mais aussi une souplesse telle que la rotation des instruments chirurgicaux à 360° devient possible à travers n'importe quelle mini-incision. Le principe de la télé-microchirurgie est issu de la téléchirurgie. Toutefois, le robot « Da Vinci-S® » ne peut prendre aucune décision.

Matériel

Le robot Da Vinci S® comporte 3 parties : un chariot mobile muni de plusieurs bras articulés (de 3 à 6), un chariot d'imagerie, et une console qui permet au chirurgien de diriger les bras articulés du chariot mobile (fig. 1).

Le chariot mobile comporte dans sa version classique 4 bras articulés, dont 3 portant des instruments chirurgicaux, et le quatrième, l'optique visualisant le champ opératoire. Chacun de ces bras possède plusieurs articulations permettant un déplacement tridimensionnel des instruments chirurgicaux et de l'optique. Les 3 bras dédiés aux instruments chirurgicaux possèdent une articulation intracorporelle dotée de mouvements de circumduction de 360° (Endowrist®). Ces instruments peuvent être des pinces à disséquer, des ciseaux, un porte aiguille, un bistouri, etc (fig. 2). Le quatrième bras porte la caméra.

Le chariot d'imagerie comporte une colonne vidéo analogue à celle utilisée en chirurgie endoscopique, avec toutefois 2 sources lumineuses et 2 caméras permettant une vision tridimensionnelle avec un grossissement progressif jusqu'à 20 fois. La console du téléchirurgien est équipée d'un système optique, de 2 poignées de télémanipulation et d'un pédalier. Le système optique, appelé visionneuse stéréo, offre une vision tridimensionnelle du champ opératoire et affiche des messages de textes et d'icônes qui rendent compte de l'état de fonctionnement du système en temps réel. Les 2 poignées permettent la manipulation à distance des 4 bras articulés portant les instruments chirurgicaux et la caméra. Les poignées ne peuvent manipuler que 2 bras articulés à la fois. Un système de débrayage au pédalier permet facilement à l'opérateur de changer de bras articulé au cours de l'intervention. Le pédalier permet aussi de régler la focale et la netteté du champ opératoire, et d'autre part de conserver à l'écran de la visionneuse stéréo une position optimale des instruments chirurgicaux grâce à un dispositif de débrayage.

Nous avons utilisé le rat Wistar pour réaliser la suture de l'artère de la queue du rat. L'artère est disséquée et placée sur un double clamp vasculaire. L'artère est sectionnée. La suture de l'artère est alors réalisée à points séparés de fil de ny-

lon 10-0. Après déclamage, la perméabilité de l'anastomose est contrôlée par le test de perméabilité.

Nous avons suturé l'artère fémorale du rat (n = 20) : suture termino-terminale au fil 10-0 à points séparés. La perméabilité a été contrôlée à plusieurs semaines : le succès était constant.

Dans les mêmes conditions, le nerf sciatique a été sectionné et suturé chez les rats (n = 20).

Outre ces opérations chez les rats, nous avons pratiqué la réimplantation de patte de cochon à l'aide de deux robots intervenant simultanément. Sous anesthésie générale, la patte antérieure de cochon est complètement sectionnée. Après raccourcissement des extrémités osseuses, l'ostéosynthèse des segments osseux est réalisée par une plaque en titane. Puis les anastomoses vasculaires sont réalisées : le premier robot suture l'artère, le deuxième robot suture les veines et les nerfs, puis chaque robot suture les tendons. Enfin la peau est suturée.

Le résultat est un succès complet avec revascularisation de la patte.

Résultats

La courbe d'apprentissage est très rapide. Après quelques jours d'entraînement, la durée pour réaliser un point de suture et le nouer est de 1 minute, c'est-à-dire la même durée qu'en chirurgie conventionnelle avec un microscope opératoire.

La principale difficulté est de ne pas croiser les instruments : ceux-ci sont fragiles.

On dispose en effet de 3 instruments dans le champ opératoire : porte-aiguille, pince à disséquer, ciseaux.

Il faut également ne pas tenir une aiguille avec deux instruments simultanément : porte-aiguille et pince à disséquer, mais un seul instrument intervient à la fois. Au début, l'incident le plus fréquent est de désinsérer l'aiguille, ce qui est vite évité avec l'expérience.

Un autre intérêt de la robotique est de pouvoir opérer avec deux robots simultanément, ce qui réduit la durée de travail par deux. Cela a un intérêt considérable en cas de réimplantation, opération particulièrement chronophage.

En effet, avec le microscope opératoire, il est impossible d'opérer à deux équipes, car le pied du microscope interdit de placer un deuxième microscope dans le champ opératoire.

Au total : apprentissage rapide de la technique, rapidité supérieure par rapport à la microchirurgie conventionnelle, possibilité d'opérer simultanément avec deux microscopes opératoires.

Indications

La téléchirurgie a déjà trouvé de larges applications en vidéo-chirurgie cardiotoracique (6), viscérale, urologique (7), et gynécologique (8). Ce succès est lié aux propriétés exceptionnelles des poignées de télémanipulation qui respectent l'autonomie du chirurgien : augmentation des degrés de liberté, finesse du geste opératoire grâce à la démultiplication des mouvements et au filtrage des tremblements de l'opérateur, miniaturisation instrumentale, intervention à distance, diminution de la durée de l'hospitalisation (9). La téléchirurgie possède néanmoins un inconvénient non encore résolu : la perte des sensations tactiles, qui peut être compensé par un apprentissage visuel rapidement efficace. La durée opératoire est identique à la chirurgie conventionnelle, et améliorée avec l'expérience et l'entraînement.

La télémicrochirurgie, discipline transversale par excellence, est apparue dès 1998, avec la première anastomose d'artère coronaire (10). La première microsuture sans thoracotomie sous télémanipulateur a suivi. Puis ont été publiées quelques

études expérimentales de sutures vasculaires de calibre millimétrique (11, 12), nerveuses (13) et une réimplantation de membre antérieur chez le cochon (14). A ce jour, une seule étude rapporte l'utilisation clinique en microchirurgie, un lambeau pédiculé de la face dorsale du pied (11).

Parmi les avantages de la télémicrochirurgie, les deux plus importants sont la disparition du tremblement physiologique de l'opérateur et la démultiplication des mouvements jusqu'à 6 fois, qui améliorent nettement la précision du geste opératoire. Tous les utilisateurs de télémanipulateurs l'affirment. Il existe plusieurs publications comparant la microchirurgie conventionnelle à la télémicrochirurgie : les résultats sont comparables en termes de qualité de réparation et toutefois un confort opératoire bien meilleur avec les télémanipulateurs. La durée opératoire diminuera probablement avec les progrès de l'instrumentation, puisque le Da Vinci S® ne possède pas encore d'instrumentation spécifique pour la microchirurgie. Le RAMS, Robotic Assisted Microsurgery, est le seul télémanipulateur dédié à la télémicrochirurgie, mais sa diffusion reste encore confidentielle (15, 16). Par ailleurs, les télémanipulateurs ont un autre avantage encore peu exploré par rapport à la microchirurgie conventionnelle : le faible encombrement spatial du champ opératoire, ce qui permet à deux opérateurs (14) pilotant chacun un robot chirurgical, de pratiquer ensemble des réparations vasculonerveuses microchirurgicales et donc de gagner du temps opératoire. En effet, en microchirurgie conventionnelle, du fait de l'encombrement du microscope et des avant-bras des chirurgiens, il est impossible de faire opérer deux microchirurgiens dans le même champ opératoire. Ce gain de temps est important, notamment pour des interventions de réimplantation ou de revascularisation, particulièrement chronophages, où la durée d'ischémie est l'une des clés du succès. En attendant, plusieurs auteurs ont rapporté d'excellents résultats de sutures vasculaires (11, 15, 16) et nerveuses (13). L'absence de rétrocontrôle tactile n'a jamais été un obstacle pour la plupart des auteurs (17), même pour réaliser des sutures microchirurgicales très fines. Cet aspect fait actuellement l'objet de recherches qui déboucheront probablement sur la restitution de la sensation cutanée par le biais de senseurs tactiles virtuels (18).

Conclusion

L'assistance opératoire par un robot chirurgical est du domaine du présent (19). Utiliser un robot chirurgical potentialise la gestuelle. Il est en effet doté d'une vision tridimensionnelle étendue (5) depuis la macroscopie jusqu'à la microscopie par un simple mouvement de pédale, sans porter de lunettes ni de loupes binoculaires, sans manipuler un encombrant microscope opératoire, sans revêtir aucune tenue stérile ni même avoir effectué un lavage chirurgical des mains. Il n'est gêné par aucun tremblement physiologique (20), possède 2, 3, voire 4 mains, dont chacune est capable d'une précision extraordinaire.

Au total, la télémicrochirurgie remplacera probablement, au moins dans les centres spécialisés, la microchirurgie conventionnelle. Une société savante a déjà été créée pour la promouvoir : la Robotic Assisted Surgery of the Hand Society (www.rash-society.org).

Questions

D Loiance : « Le robot » ou plutôt le télémanipulateur DA VINCI est un instrument du passé qui pose un vrai problème de financement. Attendons les avancées technologiques et les dispositifs moins encombrants et surtout moins coûteux !

Réponse : L'intérêt était en effet de prouver qu'un télémanipulateur peut être utile dans la technique particulière de microchirurgie. Un nouveau robot appelé "RAMS" (Robotic

Assisted Microsurgery), dédié à la télémicrochirurgie, est en cours d'étude confidentielle. Nous espérons aussi qu'il y aura une démocratisation « à bon escient » de ces avancées technologiques.

Références

1. Germain MA, Marandas P, Dubousset J, Mascard E, Legagneux J. Les transplants libres. 25 ans de microchirurgie vasculaire. Bilan. Perspectives. Bull Acad Natle Med 2004;188:441-58.
2. Stone HW, Edmonds G, Hazbot A. Hazardous materials emergency response mobile Robot. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation 1992;1:67-73.
3. Marohn MR, Hanly EJ. Twenty-first Century Surgery Using Twenty-first Century Technology: Surgical Robotics. Curr Surg 2004;61:466-73.
4. Blavier A, Gaudissart Q, Cadiere GB, Nyssen AS. Impact of 2D and 3D Vision on performance of novice subjects using Da Vinci robotic system. Acta Chir Belg 2006;106:662-4.
5. Blavier A, Gaudissart Q, Cadiere GB, Nyssen AS. Perceptual and instrumental impacts of robotic laparoscopy on surgical performance. Surg Endosc 2007;65:80-91.
6. Cohn LH. Futures directions in cardiac surgery. Am Heart Hosp J 2006;4:174-8.
7. Zorn KC. Robotic radical prostatectomy learning curve of a fellowship-trained laparoscopic surgeon. J Endourol 2007;21:441-7.
8. Bressler L. Place de l'assistance robotique par le système Da Vinci en chirurgie digestive et endocrinienne. Ann Chir 2006;131:299-301.
9. Nelson B. Comparison of length of hospital stay between radical retropubic prostatectomy and robotic assisted laparoscopic prostatectomy. J Urol 2007;177:929-31.
10. Stephenson ER, Sankholkar S, Ducko CT, Damiano RJ. Successful endoscopic coronary artery bypass grafting. An acute large animal trial. J Thorac Cardiovasc Surg 1998;116:1071-3.
11. Katz RD, Roson GD, Taylor JA, Singh NK. Robotics in microsurgery: Use of a surgical robot to perform a free flap in a pig. Microsurg 2005;25:566-9.
12. Taleb C, Nectoux E, Liverneaux P. Telemicrosurgery: a feasibility study in a rat model. Chir Main 2008;28:104-8.
13. Nectoux E, Taleb C, Liverneaux P. Nerve repair in telemicrosurgery: an experimental study. J Reconstruct Microsurg 2008; Dec. 1 (sous presse).
14. Taleb C, Nectoux E, Liverneaux P. Limb reimplantation with two robots: a feasibility study in a pig model. Microsurg 2009;9:232-5.
15. Van der Hulst R. Microvascular anastomosis: is there a role for robotic surgery? J Plast Reconstr Aesthet Surg 2007;60:101-2.
16. Saraf S. Role of robot assisted microsurgery in plastic surgery. Indian J Plastic Surg 2006;39:57-61.
17. Cohn MB, Lam M, Fearing RS. Tactile feedback for teleoperation. (Telemicrosurgery, Boston, MA, USA, 15-16 Nov. 1992). Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering 1993;1833:240-54.
18. Taylor RH, Jensen P, Whitcomb L, et al. A steady-hand robotic system for microsurgical augmentation. Inter J Robotics Res 1999;18:1201-10.
19. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M. Transatlantic robot-assisted telesurgery. Nature 2001;413:379-80.
20. Liverneaux P, Nectoux E, Taleb C. The future of robotics in hand surgery. Chir Main (sous presse).