

# UTILISATION DU ROBOT DA VINCI-S POUR LES SUTURES VASCULAIRES ET NERVEUSES CHEZ L'ANIMAL : RAT ET PORC

## VASCULAR AND NERVE SUTURES USING THE DA VINCI-S® ROBOT IN RATS AND PIGS

Par Michel A. GERMAIN<sup>(1)</sup> et Philippe LIVERNEAUX<sup>(2)</sup>  
(Communication présentée le 4 novembre 2010)

### RÉSUMÉ

L'assistance opératoire par robot chirurgical est du domaine du présent. Le but 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 deux sources lumineuses et à deux caméras. Il possède trois, voire quatre mains dotées d'une précision extraordinaire. Les propriétés exceptionnelles des poignées de télémanipulation respectent l'autonomie du chirurgien : augmentation des degrés de liberté (7ddl), finesse du geste opératoire grâce à la démultiplication des mouvements (six fois) et au filtrage des tremblements de l'opérateur, grossissement optique jusqu'à vingt fois, intervention à distance. La pronosupination du bras du robot est de 360°. Un troisième bras articulé améliore l'ergonomie du poste de travail. Toutes ces qualités répondent aux besoins de la microchirurgie.

Des instruments chirurgicaux fins et un télémanipulateur Da Vinci-S (Intuitive Surgical) ont été utilisés dans trois types d'interventions chez des rats Wistar : la suture de l'artère de la queue (n=10), celle de l'artère fémorale (n=20) et celle de nerf sciatique (n=20). La réimplantation d'un membre a été réalisée expérimentalement chez un porc à l'aide de deux robots Da Vinci intervenant simultanément. Les résultats démontrent que la télé-microchirurgie permet la réimplantation et la transplantation, spécialement grâce à la précision du geste opératoire. La courbe d'apprentissage est étonnamment courte. Les sutures microchirurgicales chez le rat et le porc ont été réalisées aisément.

**Mots-clés :** microchirurgie, télé-chirurgie, robotique, rat, porc.

### SUMMARY

Robotic surgery has become a reality. The aim is to replace the surgeon in the operating field by a remote-controlled robotic surgical system. The Da Vinci-S® robot (Intuitive Surgical) has an extended three-dimensional vision, provided by two lights and two cameras. Its three or even four hands work with extraordinary precision. The surgeon operates distant handles featuring exceptional properties: increased degree of freedom (7 df), accuracy thanks to movement demultiplication (six times) and reduction of hand tremor, optical magnification (twenty times), and distant operation. The pronosupination amplitude of the robot arm is 360°. A third articulated arm improves the ergonomics of the working space. All these characteristics meet the requirements of microsurgery.

Fine surgical instruments and a Da Vinci S Robot (Intuitive Surgical) were used with success in three types of operations on Wistar rats: suture of the artery of the tail (n=10), of the femoral artery (n=20), and of the sciatic nerve (n=20). The experimental reimplantation of a limb in a pig was performed with success with two robots operating simultaneously.

These results show that telemicrosurgery can be used for reimplantation and transplantation, especially due to the accuracy of the system's movements. The learning curve is surprisingly short. Microsurgical sutures in rats and pigs were performed easily.

**Keywords :** microsurgery, telesurgery, robotics, rat, pig.

(1) Département de chirurgie, Institut Gustave Roussy - 39, Rue Camille Desmoulins, F 94805 Villejuif Cedex.

(2) SOS main, Hôpitaux Universitaires de Strasbourg - 10, Avenue Baumann, F 67403 Illkirch.

## INTRODUCTION

Depuis trente-cinq ans, M.A. Germain expertise à l'École de Chirurgie des Hôpitaux de Paris les différentes techniques de microsuture vasculaire : la suture au fil qui demeure la méthode de choix, les anneaux MAS (*Microsurgical anastomosis system*), la colle biologique, la suture au laser, les micro-agrèfes non transfixiantes (Germain *et al.* 2004). 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® (*Intuitive Surgical*). Quant à l'intervention, elle est encore réalisée « manuellement » et reste aux mains du chirurgien.

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 (Germain 2010). Dès lors, l'irrésistible avènement de la microchirurgie débute.

La robotique médicale apparaît avec la télé-chirurgie. Le principe est de remplacer le chirurgien au niveau du champ opératoire par un système robotisé commandé à distance.

L'histoire de la télé-chirurgie a commencé dans les années 1990 (Marescaux *et al.* 2001), quand le *Jet Propulsion Laboratory* de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) inaugure le projet « Hazbot », 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.

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 vingt-huit instruments différents, parmi lesquels bistouris, écarteurs, ciseaux, et pinces. Mais sa principale caractéristique était de filtrer numériquement le tremblement physiologique (Marescaux *et al.* 2001), ce qui fit entrer définitivement la télé-chirurgie dans l'ère de la chirurgie du présent, d'autant que ce robot amélioré reçut l'autorisation de la FDA (*Food and Drug 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 que l'institut de recherche de Standford, le MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), IBM (*International Business*

*Machine*), *Heartpot Incorporation*, *Olympus Optical*, et *Ethicon Endo-Surgery*. Le robot « Da Vinci-S® », premier robot de chirurgie laparoscopique (Marescaux *et al.* 2001) 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 : la mise au point d'une main miniaturisée du nom d'« Endowrist® », dotée de sept degrés de liberté offrant un 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 du geste, 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 télé-chirurgie. Toutefois, le robot « Da Vinci-S® » ne peut prendre aucune décision.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

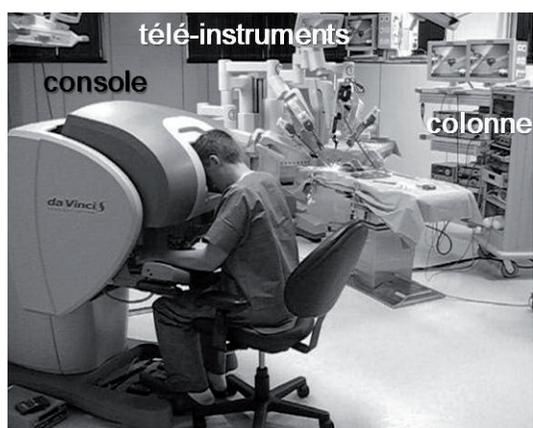
### Le robot Da Vinci S®

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

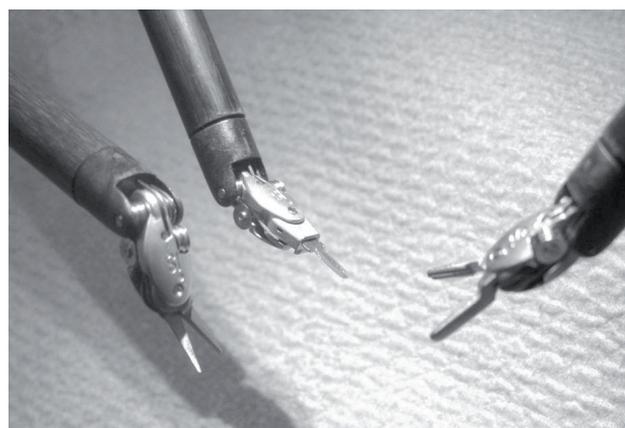
Le chariot mobile comporte dans sa version classique quatre bras articulés, dont trois portant des instruments chirurgicaux et le quatrième, l'optique, visualisant le champ opératoire. Chacun de ces bras possède plusieurs articulations permettant un déplacement tridimensionnel des instruments chirurgicaux et de l'optique. Les trois 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. (*figure 2*). Le quatrième bras porte la caméra.

Le chariot d'imagerie comporte une colonne vidéo analogue à celle utilisée en chirurgie endoscopique, avec toutefois deux sources lumineuses et deux caméras permettant une vision tridimensionnelle avec un grossissement progressif jusqu'à vingt fois.

La console du télé-chirurgien est équipée d'un système optique, de deux 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 deux poignées permettent la manipulation à distance des quatre bras articulés portant les instruments chirurgicaux et la caméra. Les poignées ne peuvent manipuler que deux 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. Quatre types d'intervention ont été réalisés sous anesthésie générale avec ce matériel, trois chez le rat Wistar et un, chez le porc.



**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, et à droite, les écrans de contrôle montrant la vision du champ opératoire.



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

### Suture de l'artère de la queue (n=10).

Le rat est installé en décubitus ventral, l'incision cutanée réalise un volet à la face supérieure de la queue. L'artère est disséquée, placée sur un double clamp vasculaire, puis sectionnée. La suture de l'artère est alors réalisée à points séparés de fil de nylon 10-0. Après déclampage, la perméabilité de l'anastomose est contrôlée à l'aide de deux pinces à disséquer. Toutes ces manœuvres sont réalisées à l'aide des instruments du robot. La peau est alors suturée.

### Suture de l'artère fémorale (n=20).

Le rat est installé en décubitus dorsal. Une incision oblique inguinale permet d'exposer l'artère fémorale. Celle-ci est disséquée, placée sur double clamp vasculaire et sectionnée. L'anastomose terminoterminal est réalisée au fil 10-0 à points séparés. La perméabilité a été contrôlée à plusieurs semaines: le succès était constant.

### Section du nerf sciatique (n=20)

Le rat est installé en décubitus ventral. Une incision à la face postérieure de la cuisse est réalisée. Le nerf sciatique est disséqué, sectionné et suturé par des points séparés de fil 10-0: suture épi-péri neurale. La peau est suturée.

### Réimplantation d'un membre de porc, après sa section

Pour ces essais, nous avons utilisé deux robots Da Vinci-S intervenant simultanément. Le porc, sous anesthésie générale, est placé en décubitus dorsal; un de ses membres antérieurs est sectionné au niveau de l'humérus. Des doubles clamps vasculaires assurent l'hémostase et permettront de réaliser les anastomoses vasculaires. Après raccourcissement des extrémités osseuses, l'ostéosynthèse des segments osseux est effectuée par une plaque en titane. Puis les anastomoses vasculaires sont réalisées: le premier robot suture l'artère humérale superficielle puis l'artère humérale profonde, le

second suture les veines et les nerfs, puis chaque robot suture les tendons. Enfin la peau est suturée par des points séparés.

Le résultat est un succès complet avec revascularisation du membre.

## 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 d'une minute, identique à celle mesurée en chirurgie conventionnelle avec un microscope opératoire.

On dispose de trois instruments dans le champ opératoire: porte aiguille, pince à disséquer, ciseaux. La principale difficulté est de ne pas les croiser car ils sont fragiles. Il faut également veiller à ne pas tenir une aiguille avec deux instruments simultanément: porte aiguille et pince à disséquer: 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. Cet avantage est 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.

Chez les rats, les anastomoses de l'artère de la queue et de l'artère fémorale ont toutes été perméables avec un recul de plusieurs semaines. La suture de nerf sciatique a permis de récupérer une mobilité des membres au bout de 120 jours. La réimplantation de membre chez le porc a été suivie d'une consolidation en trois mois.

Au total, le robot permet un apprentissage rapide de la technique, rapidité supérieure par rapport à la microchirurgie conventionnelle; il offre aussi la possibilité d'opérer simultanément avec deux microscopes opératoires.

## INDICATIONS

La télé-chirurgie a déjà trouvé de larges applications en vidéo chirurgie cardio-thoracique (Stephenson *et al.* 1998) viscérale (Marescaux *et al.* 2001), urologique, et gynécologique. 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 (Marescaux *et al.* 2001). La télé-chirurgie possède néanmoins un inconvénient non encore résolu : la perte des sensations tactiles, qui peut être compensée par un apprentissage visuel rapidement efficace. La durée opératoire est identique à la chirurgie conventionnelle et améliorée avec l'expérience et l'entraînement.

La télé-microchirurgie, discipline transversale par excellence, est apparue dès 1998, avec la première anastomose d'artère coronaire (Stephenson *et al.* 1998). La première microsuture sans thoracotomie sous télémanipulateur a suivi. Puis, ont été publiées, plus récemment, quelques études expérimentales de sutures vasculaires de calibre millimétrique (Taleb *et al.* 2008). À ce jour, une seule étude rapporte l'utilisation clinique en microchirurgie, un lambeau pédiculé de la face dorsale du pied (Van Der Hulst 2007).

Parmi les avantages de la télé-microchirurgie, les deux plus importants sont la disparition du tremblement physiologique de l'opérateur et la démultiplication des mouvements jusqu'à six 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 télé-microchirurgie : les résultats sont comparables en termes de qualité de réparation et, toutefois, un confort opératoire bien meilleur avec les télémanipulateurs (Van Der Hulst 2007).

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 télé-microchirurgie, mais sa diffusion reste encore confidentielle. 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 (Katz *et al.* 2003) pilotant chacun un robot chirurgical, de pratiquer ensemble des réparations vasculo-nerveuses 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 réduite de l'ischémie est l'une des clés du succès. En attendant, plusieurs auteurs ont rapporté d'excellents résultats de sutures vasculaires (Stephenson *et al.* 1998 ; Katz *et al.* 2003 ; Van Der Hulst 2007) et nerveuses (Taleb *et al.* 2008). L'absence de rétrocontrôle tactile n'a jamais été un obstacle pour la plupart des auteurs (Taleb *et al.* 2008), 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.

## CONCLUSION

L'assistance opératoire par un robot chirurgical est du domaine du présent (Marescaux *et al.* 2001). Utiliser un robot chirurgical potentialise le geste. Il est en effet doté d'une vision tridimensionnelle étendue (Van Der Hulst 2007), 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, possède deux, trois, voire quatre mains dont chacune est capable d'une précision extraordinaire

Au total, la télé-microchirurgie 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](http://www.rash-society.org)).

## BIBLIOGRAPHIE

- Germain, M. A. 2010. *La microchirurgie dans le monde. Les débuts, l'évolution*. Glyphes Éditeur, Paris. 315 pages.
- Germain, M. A., Marandas, P., Dubouset, J., Mascard, E., Legagneux, J. 2004. Les transplants libres. 25 ans de microchirurgie vasculaire. Bilan. Perspectives. Bull Acad. Natle. Med 188: 441-458.
- Katz, R. D., Roson, G. D., Taylor, J. A., Singh, N. K. 2005. Robotics in microsurgery: Use of a surgical robot to perform a free flap in a pig. Microsurgery 25: 566-569.
- Marescaux, J., Leroy, J., Gagner, M., Rubino, F., Mutter, D., Vix, M. 2001. Transatlantic Robot-assisted tele surgery. Nature 413: 379-380.
- Stephenson, E. R., Sankholkar, S., Ducko, C. T., Damiano, R. J. 1998. Successful Endoscopic Coronary Artery Bypass Grafting. An acute large animal trial. J Thoracic Cardiovascular Surg 116: 1071-1073.
- Taleb, C., Nectoux, E., Liverneaux, P. 2008. Tele microsurgery: a feasibility study in a rat model. Chir Main 28: 104-108.
- Van Der Hulst, R. 2007. Microvascular anastomosis: is there a role for robotic surgery? J Plast Reconstr Aesthet Surg 60: 101-102.