

# De la chirurgie en impesanteur vers la chirurgie spatiale

## From weightlessness surgery to spatial surgery

V Pinsolle, D Martin, L de Conninck, G Delia

*Service de chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, chirurgie de la main, CHU de Bordeaux*

### Mots clés

- ◆ Chirurgie
- ◆ Apesanteur
- ◆ Microchirurgie
- ◆ Téléchirurgie
- ◆ Impesanteur

### Résumé

En septembre 2003, nous réussissions la suture d'une artère de 0,5 mm par sept points de fil 10x0. Le but de cette première étude était d'évaluer la faisabilité d'une intervention microchirurgicale, donc très minutieuse, en impesanteur au cours de vols paraboliques. Entre 2003 et 2006, nous avons construit une unité chirurgicale adaptée à l'apesanteur avec dispositif de filtration d'air spécifique et défini tous les protocoles chirurgicaux et d'anesthésie-réanimation pour pouvoir opérer un être humain. Le 27 septembre 2006, nous pratiquons l'ablation d'un lipome sur l'avant-bras d'un homme de 47 ans. A partir de ces travaux l'objectif était de développer un projet beaucoup plus vaste de développement de la télé chirurgie satellitaire.

### Keywords

- ◆ Surgery
- ◆ Microgravity
- ◆ Microsurgery
- ◆ Weightlessness

### Abstract

Animal surgery in weightlessness conditions was already tested by Russians and Americans. To complete these researches we wanted to reach the limit of human skill in these extreme conditions and to operate a human under total safety. We used a 0G plane for our experiment between 2003 and 2006 with two goals: the conception of a microsurgical module to test complex microsurgical procedures in rats and secondly, the construction of a surgical workstation with specific air filtration device and define surgical and anaesthetic protocols to carry on surgery in man. In September 2003, we performed the microscopic report of a 0,5 mm artery (which is the smallest we can suture in normal conditions) by using seven stitches of 10 × 0 monofilament suture. The 27th of September 2006, we removed a lipoma from the forearm of a 47-year-old man. These experiments take place in a wide program of development of telesurgery controlled through satellite transmission.

Ces travaux débutés en 2003 ont été conduits par le Pr Dominique Martin pour aboutir, le 27 septembre 2006, à la première intervention chirurgicale chez l'homme dans des conditions spatiales.

Même si la crise économique mondiale récente a mis un frein provisoire à la conquête spatiale, le développement de la station spatiale internationale, les projets de retour sur la Lune et surtout la conquête de Mars se réaliseront à terme. Aucune urgence chirurgicale n'est actuellement survenue dans un contexte spatial. Cependant, il est évident que ce risque existe, que ce soit une urgence absolue comme un hématome extradural ou une urgence relative comme une péritonite, y compris appendiculaire puisque les astronautes ne font pas l'objet d'une appendicectomie avant de partir en orbite (le risque d'occlusion sur bride après appendicectomie est aussi important que celui de l'appendicite elle-même).

Dans les années 1960, les Russes ont effectué les premiers travaux en impesanteur (1), mais il faut attendre les années 1980 pour que se développent des expérimentations plus poussées (2-8). Par ailleurs, la proprioception étant perturbée en apesanteur (9-20), il a été nécessaire de redéfinir tous les

éléments encadrant la gestion des actes chirurgicaux. Le Dr François Gourinat avait expérimenté des gestes simples, notamment de microchirurgie ophtalmologique sur des yeux de lapin décongelés fixés dans un coquetier lors de chutes libres dans un avion biplace (21).

Notre étude menée depuis 2003 s'est focalisée sur trois points non ou mal définis par les précédentes : l'analyse des limites de la gestuelle chirurgicale induites par les modifications de la proprioception ; l'analyse par comptage de particules d'un dispositif de filtration d'air adapté participant à l'asepsie d'une unité opératoire spatiale ; la mise au point d'un matériel spécifique à la réalisation de la première intervention chirurgicale chez l'homme dans les conditions d'apesanteur.

### Matériel et méthode

Pour reproduire les conditions d'apesanteur, nous avons utilisé l'Airbus A300 de la société Novespace ([www.novespace.fr](http://www.novespace.fr)) réalisant des vols paraboliques dans le cadre de campagnes du Centre national d'étude spatiale français et de l'Agence spa-

### Correspondance :

*Vincent Pinsolle, service de chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, chirurgie de la main, CHU de Bordeaux, place Amélie-Raba-Léon, 33076 Bordeaux cedex, France  
E-mail : [vincent.pinsolle@chu-bordeaux.fr](mailto:vincent.pinsolle@chu-bordeaux.fr)*

tiale européenne.

Les vols paraboliques permettent, pendant des périodes de 22 secondes, de reproduire une microgravité comparable à celle existant dans la station spatiale internationale. La succession d'une moyenne de 32 paraboles au cours d'un vol permet de disposer d'un cumul de temps d'environ 11 minutes d'apesanteur ; chaque acte opératoire testé devra donc se faire de façon fragmentée.

Pour analyser les limites techniques de la gestuelle chirurgicale, Dominique Martin a réalisé sous microscope des gestes chirurgicaux jugés extrêmement délicats, voire complexes, dans les conditions terrestres. Ces expériences microchirurgicales ainsi que la présentation de l'unité opératoire que nous avons construite en vue de l'expérimentation chez l'homme sont décrites dans la vidéo 1.

## Résultats

La gestuelle chirurgicale ne nous est pas apparue beaucoup plus difficile que dans les conditions terrestres. La suture réussie de l'artère de queue de rat, considérée comme l'acte le plus délicat à réaliser sur le plan chirurgical, nous a permis de montrer qu'il n'y avait en fait pas de limite physique à réaliser un protocole technique complexe. Même si la proprioception est légèrement perturbée, la stabilisation de l'opérateur sur un point fixe permet de pallier tous les effets de la gravité. La réalisation de nos gestes dans des délais 20 % supérieurs à la normale est en fait due non pas à des perturbations neuromusculaires, mais à la nécessaire fragmentation de l'intervention à cause des paraboles qui empêche un enchaînement des gestes.

Les tests de comptage particulière et d'aéro-bio-contamination ont permis de classer notre structure en Iso 6-Iso 7, ce qui correspond à un bloc conventionnel à flux turbulent nous permettant d'obtenir un agrément de l'AFSSAPS.

L'intervention réalisée chez l'homme consistait à enlever un lipome de la face antérieure de l'avant-bras droit. Cette intervention est illustrée par la vidéo 2. Le patient de 47 ans a été transporté par Samu à l'aéroport après anesthésie locorégionale par bloc plexique réalisée au CHU de Bordeaux.

Le patient était installé sur la table dans le module opératoire et conditionné selon le protocole préétabli, monitoré par cardioscope et perfusé dans la première partie du vol avant d'entamer le cycle de paraboles. C'est également pendant cette phase que les chirurgiens, dont les bras avaient été stérilisés au sol (fig. 1), s'habillaient de manière stérile et réalisaient le drapage opératoire au moyen de champs stériles. Les chirurgiens étaient maintenus à la structure opératoire par harnais avant que ne débutent les cycles d'apesanteur. Les deux premières paraboles permettaient de vérifier la bonne fixité de l'ensemble de la structure et du matériel opératoire. L'intervention se déroulait sur 21 paraboles (soit sept minutes 40 secondes) sans difficulté particulière (fig. 2). La gestion du saignement était simple par tamponnements à la compresse. Les tests préliminaires de saignement sur le rat (22) nous avaient montré que les saignements à faible débit d'origine artérielle ou veineuse adhéraient dans la zone opératoire et nous n'avons pas eu de débit suffisamment important qui aurait pu provoquer une masse en suspension désolidarisée du site opératoire (23). La fermeture chirurgicale était effectuée en deux plans sans particularité.

## Discussion

Notre intervention microchirurgicale sur animal vivant destinée à étudier les limites de la gestuelle humaine dans les conditions spatiales n'avait encore jamais été réalisée.

Les perturbations de la proprioception peuvent être facilement compensées en assurant une parfaite fixation du chirur-

gien qui doit être en rapport fixe avec le patient et la structure opératoire. Ces perturbations proprioceptives semblent varier selon les opérateurs, parmi les chirurgiens testés, une adaptation gestuelle très variable de l'un à l'autre, se traduisant par des variations des durées interventionnelles ; les objectifs des différentes manipulations ayant été, cependant, réalisés par chacun.

L'opération chez l'homme nous a obligés à créer un véritable bloc opératoire qui s'est montré tout à fait adapté. De telles structures avaient déjà été imaginées, mais n'avaient jamais pu se mettre en situation réelle d'intervention humaine (2, 5, 7, 8).

Sur le plan de l'anesthésie et de la réanimation, nos tests de faisabilité n'ont fait que confirmer ceux déjà réalisés auparavant par la NASA, même si nos choix techniques étaient plus simples.

## Conclusion

La chirurgie spatiale n'est pas une éventualité théorique, elle doit obligatoirement être intégrée dans les futurs programmes spatiaux de longue durée de vol. Nos travaux avaient pour but de réaliser des tests de faisabilité en apesanteur, l'un dans le domaine très complexe de la microchirurgie, l'autre chez l'homme. Notre objectif final est maintenant de programmer des robots pour le faire partiellement pilotés du sol par liaison télé-satellitaire.

## Références

1. Iaroshenko GL, Terent'ev VG, Mokrov MN. [Peculiarities of surgical intervention under conditions of weightlessness]. *Voen Med Zh* 1967 ; 10 : 69-70. Russian.
2. M. Barrant. Medical support for the international space station. *Aviat Space Environ Med* 1978 ; 70 : 155-61.
3. Campbell MR, Billica RD. A review of microgravity surgical investigations. *Aviat Space Environ Med* 1992 ; 63 : 524-8.
4. Campbell MR, Billica RD, Johnston SL 3rd. Animal surgery in microgravity. *Aviat Space Environ Med* 1993 ; 64 : 58-62.
5. Campbell MR. Surgical care in space. *Aviat Space Environ Med* 1999 ; 70 : 181-4.
6. Jones J, Johnston S, Campbell MR, Miles B, Billica R. Endoscopic surgery and telemedicine in microgravity developing contingency procedures for exploration class spaceflight. *Urology* 1999 ; 53 : 892-7.
7. Kirkpatrick AW, Campbell MR, Novinkov O, Goncharov L, Kovachevich J. Blum trauma and operative care in microgravity. *J Am Coll Surg* 1997 ; 184 : 441-53.
8. Satava RM. Surgery in space phase 1. Basic surgical principles in a simulated space environment. *Surgery* 1988 ; 103 : 633-7.
9. Augurelle AS, Penta M, White O, Thonnard JL. The effects of a change in gravity on the dynamics of prehension. *Exp Brain Res* 2003 ; 148 : 533-40.
10. Bock O, Howard IP, Money KE, Arnold KE. Accuracy of aimed arm movements in changed gravity. *Aviat Space Environ Med* 1992 ; 63 : 994-8.
11. Bock O. Joint position sense in simulated changed-gravity environments. *Aviat Space Environ Med* 1994 ; 65 : 621-6.
12. Bock O. Grasping of virtual objects in changed gravity. *Aviat Space Environ Med* 1996 ; 67 : 1185-9.
13. Bock O, Fowler B, Confort D. Human sensorimotor coordination during spaceflight an analysis of pointing and tracking responses during the "NeuroLab" space Shuttle mission. *Aviat Space Environ Med* 2001 ; 72 : 877-83.
14. Glasauer S, Mittelstaedt H. Perception of spatial orientation in microgravity. *Brain Res Brain Res Rev* 1998 ; 28 : 185-93.
15. Hermsdorfer J, Marquardt C, Philippe J, Zierdt A, Nowak D, Glasauer S, et al. Moving weightless objects. Grip force control during microgravity. *Exp Brain Res* 2000 ; 132 : 52-64.
16. Jungling S, Bock O, Girgenrath M. Speed-accuracy trade off of grasping movements during microgravity. *Aviat Space Environ Med* 2002 ; 73 : 430-5.
17. Laputin AN, Kadenyuk LK. Change-over coordination structure of astronauts' voluntary movements during orbital flight conditions.

- J Gravit Physiol 1999 ; 6 : 121-2.
18. Papaxanthis C, Pozzo T, Mc Intyre J. Arm end-point trajectories under normal and micro-gravity environments. Acta Astronaut 1998 ; 43 : 153-61.
  19. Richards C, Rosen J, Hannaford B, Pellegrini C, Sinanan M. Skills evaluation in minimally invasive surgery using force/torque signatures. Surg Endosc 2000 ; 14 : 791-8.
  20. Rosen J, Brown JD, Chang L, et al. A system for measuring the kinematics and the dynamics of minimally invasive surgical tools in vivo. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation 2002 ; 1876-81.
  21. Gourinat F, Gourinat Y. Expériences d'ophtalmologie en impesanteur. Médecine Aéronautique et spatiale 1997 ; 142 : 129-36.
  22. Pinsolle V, Martin D, de Coninck L, Techoueyres P, Vaida P. Microsurgery in microgravity is possible, Microsurgery 2005 ; 25 : 152-4.
  23. Campbell MR, Billica RD, Johnston SL 3rd. Surgical bleeding in microgravity. Surg Gynecol Obstet 1993 ; 177 : 121-5.

Figure 1 - L'équipe chirurgicale : un chirurgien, un aide et un remplaçant. Le lavage chirurgical a été réalisé au sol : les bras et les mains sont protégés de manière stérile jusqu'à l'habillage dans le bloc. Les harnais permettent une fixation au module chirurgical.

Figure 2 - L'équipe chirurgicale patiente : pour que toute l'intervention soit réalisée en impesanteur les temps opératoires sont fragmentés et aucun geste chirurgical n'est réalisé entre deux paraboles.