
Ostéosynthèse des fractures du scaphoïde carpien par chirurgie assistée par ordinateur : étude expérimentale

Ph LIVERNEAUX

Service de Chirurgie Orthopédique
Centre Hospitalier
17300, Rochefort sur mer, France

Correspondance :
Service de Chirurgie Orthopédique
Centre Hospitalier
17300, Rochefort sur mer, France
Tel 05 46 82 20 79
Fax : 05 46 82 39 30
E-mail : p.liverneaux@wanadoo.fr

Résumé

La chirurgie assistée par ordinateur (CAO) est utilisée couramment en chirurgie de l'appareil locomoteur, notamment au membre inférieur et au rachis. En revanche, la chirurgie de la main ne fait l'objet actuellement d'aucune application clinique. Pourtant, l'ostéosynthèse percutanée des fractures du scaphoïde, qui reste difficile, pourrait en bénéficier. Le but de ce travail est donc de mettre au point une technique de vissage percutané des fractures du scaphoïde carpien par CAO.

Un membre supérieur de sujet anatomique frais a été préparé au laboratoire DETERCA de l'Université Bordeaux 2 pour pratiquer une navigation fluoroscopique. Le scaphoïde a été dans un premier temps ostéotomisé pour provoquer une fracture. Puis l'ensemble « poignet-main-doigts » a été fixé par un dispositif malléable, stable et radiotransparent. Cet ensemble indéformable était destiné à être reconnu par un environnement CAO utilisé habituellement pour le vissage pédiculaire. Une grille de calibrage montée à un fluoroscope a permis de corriger les distorsions de l'image fluoroscopique. Tous les instruments chirurgicaux et l'ensemble indéformable « poignet-main-doigts » ont été munis de sphères réfléchissantes reconnues par un système de localisation optique tridimensionnel pour réaliser un brochage virtuel. La longueur de la vis a été calculée virtuellement à l'écran. Puis le brochage réel a été conduit sous navigation. L'ostéosynthèse percutanée par une vis perforée a enfin été réalisée. Un contrôle scopique conventionnel a permis de s'assurer du bon positionnement et de la bonne longueur de la vis.

Nos résultats montrent qu'il apparaît possible de pratiquer une ostéosynthèse d'une fracture du scaphoïde carpien en percutané par CAO. Cette technique pourrait diminuer la courbe d'apprentissage, élargir les indications, améliorer le confort de la procédure, diminuer les erreurs de synthèse et l'exposition aux rayons X.

Mots clés : scaphoïde / chirurgie assistée par ordinateur / vis / percutané / navigation fluoroscopique

Abstract

Osteosynthesis of scaphoid fractures using computer assisted surgery: experimental study

Computer assisted surgery (CAS) is a routine technique in lower limb and spine orthopaedic surgery. On the other hand, no clinical application has been used at the present time in hand surgery. However, percutaneous osteosynthesis of scaphoid, which remains difficult to perform, should benefit by this technique. The goal of this study is to define the osteosynthesis bases of the scaphoid with CAS.

An upper limb of a fresh anatomical subject was prepared at laboratory DETERCA of the University Bordeaux 2 to perform fluoroscopic navigation. First, an osteotomy of the scaphoid was performed to obtain a fracture. Then the "wrist hand fingers" ensemble was immobilized by a malleable, stable and radio transparent device. This ensemble was recognized by a CAS system usually dedicated to spine pedicle screwing. The CAS system used was the fluoroscopic navigation whose first time consisted of a calibration of the surgical instruments and undeformable solid system "wrist hand fingers" by three-dimensional optical localization system. The length of the screw was calculated on the screen. Stitching was carried out under guidance of the virtual images of the computer screen, without the assistance of fluoroscopy. Finally the cannulated screw was installed on the stitching pin. Conventional control by fluoroscopy made it possible to ensure the correct length and good positioning of the screw.

Our results show that it seems possible to perform a percutaneous osteosynthesis of a scaphoid fracture using CAS. This technique would reduce the learning curve, widen the indications, improve comfort and reduce errors of synthesis and exposure to x-rays.

Key words : scaphoid / computer assisted surgery / screw / percutaneous / fluoroscopic navigation

Introduction

La chirurgie assistée par ordinateur (CAO) a fait son apparition en France dans les années 1980. Cette technique est désormais utilisée couramment en chirurgie de l'appareil locomoteur, notamment pour les arthroplasties prothétiques du genou ou de la hanche (13), et le vissage pédiculaire du rachis (11) ou des fractures du bassin (16). En revanche, la chirurgie de la main ne fait actuellement

l'objet d'aucune application clinique. Pourtant, l'ostéosynthèse percutanée proximale ou distale des fractures du scaphoïde carpien pourrait bénéficier des apports de la CAO. Caractérisée par une longue courbe d'apprentissage, cette ostéosynthèse reste difficile, même entre les mains de chirurgiens spécialistes confirmés, qui continuent de s'exposer aux rayons X des fluoroscopes, afin de s'assurer de la qualité de leur procédure chirurgi-

cale. Mal réalisée, l'ostéosynthèse des fractures récentes du scaphoïde carpien expose au risque de complications, telles la nécrose, la pseudarthrose, l'instabilité, la désaxation, puis l'arthrose du carpe (17).

S'interrogeant sur l'intérêt de la chirurgie assistée par ordinateur dans cette indication chirurgicale, certains auteurs ont déjà posé les bases de la technique de vissage percutané du scaphoïde carpien (6,10), mais sur des scaphoïdes non fracturés. La difficulté majeure de cette technique repose sur le fait que le membre supérieur et notamment la main possèdent un nombre important de degrés de libertés et d'articulations qui restent mobiles, même sous anesthésie (7). Toutefois, du fait des contraintes de la CAO, il faut travailler sur un solide indéformable. Dans le cadre du scaphoïde carpien, trois niveaux de solides indéformables peuvent être définis : le niveau élémentaire (scaphoïde isolé), le niveau segmentaire (système « poignet-main-doigt ») et le niveau multi segmentaire (la totalité du membre supérieur). Au niveau élémentaire, permettant donc de repérer dans l'espace les mouvements du scaphoïde, aucun travail n'a pu être retrouvé dans la littérature. Au niveau multi segmentaire, une seule publication (6) a été retrouvée. Elle fait état du vissage percutané de douze scaphoïdes de sujets anatomiques embaumés, ayant perdu leur amplitude de mobilité, ce qui sous-estime les difficultés liés à la mobilité passive interosseuse. De plus, les auteurs avaient fixé l'ensemble du membre supérieur sur la table d'opération, s'éloignant encore des conditions habituelles du vissage en pratique clinique. Au niveau segmentaire, un seul travail a été réalisé (10), qui se rapproche des conditions opératoires. Nous avons utilisé un cadavre frais, ayant conservé ses mobilités passives, et nous avons immobilisé le système « poignet-main-doigts » dans un dispositif malléable, stable et radio-

transparent pour en faire un solide indéformable (9). La malléabilité permet de fixer le poignet et les doigts dans n'importe quelle position, la radio transparence autorise le calibrage de l'image numérique à l'aide d'un fluoroscope, et la stabilité évite tout micromouvement susceptible de parasiter la mise en correspondance -ou recalage- des images virtuelles et des instruments de navigation.

Dans ce contexte, le but de ce travail est d'étudier l'extrapolation de cette technique de vissage percutané par CAO du scaphoïde non fracturé, sur un scaphoïde fracturé.

Matériel et méthodes

Un membre supérieur de sujet anatomique frais, sectionné au coude et ayant conservé ses mobilités articulaires segmentaires passives intactes, a été préparé au laboratoire DETERCA de l'Université Bordeaux 2 pour pratiquer une fluoroscopie virtuelle. Par un abord antérieur, le scaphoïde carpien a été dans un premier temps ostéotomisé au ciseau de Pauwels pour reproduire une fracture. Il s'agissait d'une fracture en zone III de Schernberg, non déplacée, en dehors d'un écart interfragmentaire d'environ 2 mm. L'incision a ensuite été refermée par des points de suture au nylon pour se placer dans les conditions du vissage percutané. Le fragment proximal a été fixé temporairement par une broche de 10/100èmes radio-scapho-capitale.

Le membre supérieur, de l'avant-bras aux colonnes digitales, a été fixé en hyperextension et inclinaison ulnaire par un dispositif (Chirobloc™¹) malléable, stable et radiotransparent (figure 1a). Cet ensemble indéformable « poignet-main-doigts » était destiné à être reconnu par un environnement CAO (figure 1b) utilisé habituellement pour le vissage pédiculaire par navigation fluoros-



Figure 1 Environnement technique de base à la navigation fluoroscopique du vissage du scaphoïde carpien.

A. dispositif d'immobilisation du solide « poignet-main-doigts » fixé à un outil de repérage optique muni de trois sphères réfléchissantes.

B. système de navigation fluoroscopique comportant un fluoroscope muni d'une grille de calibrage, un ordinateur avec un logiciel de vissage pédiculaire, et un système de localisation optique tridimensionnel.



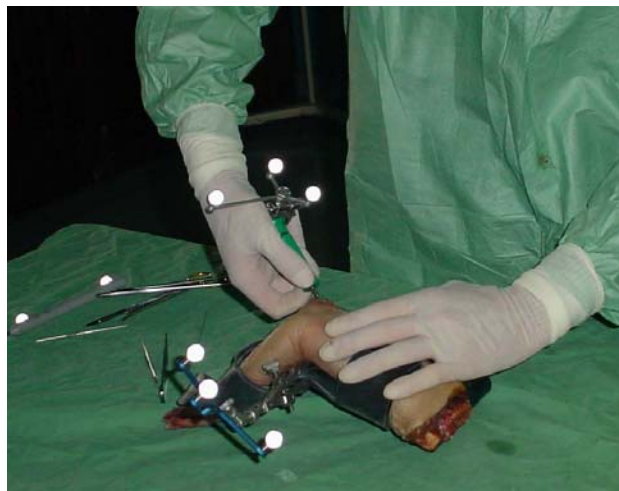


Figure 2. Technique de vissage du scaphoïde carpien assisté par ordinateur.

A. Brochage « réel » au travers de la vis « virtuelle » guidé par la navigation sur l'écran d'ordinateur.

B. Vissage du scaphoïde avec un tournevis calibré contrôlé par la navigation pour déterminer le moment où le vissage doit être interrompu.

copique (Vector Vision™²). Une grille de calibrage montée sur le récepteur d'un fluoroscope a permis de corriger par un procédé informatique les distorsions de l'image fluoroscopique. Tous les instruments chirurgicaux et l'ensemble indéformable « avant-bras-main » ont été munis de sphères réfléchissantes reconnues par un système de localisation optique tridimensionnel. Les images numériques reformatées ont permis de visualiser à l'écran les mouvements imposés aux instruments en temps réel, avec un niveau de précision de l'ordre du millimètre, autorisant une simulation du brochage effectuée à l'aide d'un stylet calibré dans l'axe du scaphoïde, dont le pôle proximal constituait la cible. Aucune réduction fragmentaire n'a été nécessaire puisque les rapports des deux fragments restaient intacts, en dehors de l'écart interfragmentaire. Lorsque l'axe et la longueur de la vis ont été virtuellement déterminés (figure 2a), une broche de 10/100° a été mise en place à l'aide d'un moteur électrique préalablement calibré en suivant les images virtuelles de l'écran d'ordinateur, sans l'aide de fluoroscope. La longueur de la vis a été calculée virtuellement à l'écran. Après calibrage d'un tournevis spécifique (figure 2b), une vis canulée (SCRU™³) a été mise en place autour de la broche dans l'axe prédéterminé virtuellement. La distance de la vis par rapport au pôle distal du scaphoïde a été contrôlée par la navigation. Un contrôle scopique conventionnel final a permis de s'assurer du bon positionnement et de la bonne longueur de la vis.

¹ Chirobloc™, Arex®, Palaiseau, France

² Vector Vision™, BrainLab®, Paris

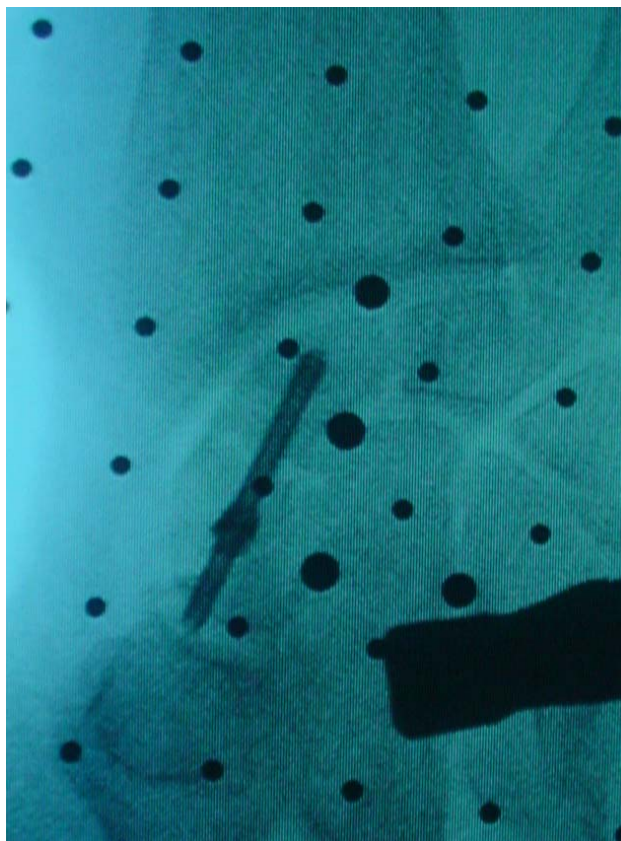
³ SCRUTM, Arex®, Palaiseau, France

Résultat

Après navigation fluoroscopique, la position de la vis a été contrôlée virtuellement à l'écran de l'ordinateur, puis un contrôle fluoroscopique conventionnel avec le fluoroscope a été réalisé. Ce dernier contrôle a permis de montrer que la vis était bien positionnée, et que sa longueur était correcte. Le foyer de fracture était bien réduit et sa

compression efficace (figure 3). La durée de l'intervention était de 25 minutes, sans compter la réalisation de la fracture ni le calibrage des instruments. C'est le brochage virtuel qui a été le plus long, de l'ordre de 15 minutes.

Figure 3 Résultat du vissage du scaphoïde par navigation fluoroscopique. Image obtenue par fluoroscopie conventionnelle. La vis est dans l'axe du scaphoïde. La bande radio opaque en bas et à droite de la photo correspond au à l'outil de repérage optique muni de trois sphères réfléchissantes fixé sur le dispositif d'immobilisation du solide « poignet-main-doigts ».



Discussion

L'ostéosynthèse percutanée du scaphoïde carpien reste une technique difficile, même sur des fractures non déplacées (5). La tendance actuelle est d'élargir les indications de la chirurgie mini invasive, même dans les fractures déplacées (12). Ainsi, la réduction arthroscopique et la fixation percutanée des fractures déplacées du scaphoïde sont préconisées par certains (14,15). Mais cette technique arthroscopique, par définition, pénètre une articulation, avec un risque infectieux faible mais réel. De plus, elle requiert obligatoirement l'utilisation d'un fluoroscope donc de rayons X. Nos résultats montrent qu'il apparaît possible, en utilisant la navigation fluoroscopique, de limiter l'exposition aux rayons X pour pratiquer une ostéosynthèse percutanée extra articulaire d'une fracture du scaphoïde carpien. Néanmoins, des améliorations techniques sont à envisager avant de passer à l'étape clinique.

Par exemple, il faudra valider la supériorité de la technique de vissage par navigation fluoroscopique par rapport au vissage fluoroscopique classique. Une étude comparative des deux techniques sur sujets anatomiques devrait permettre de comparer les temps d'exposition aux rayons X, la durée de l'intervention chirurgicale, la qualité du vissage par vérification de la position et de la longueur de la vis dans le scaphoïde, et enfin la qualité de la réduction et de la compression du foyer de fracture.

Le dispositif d'immobilisation du solide « poignet-main-doigts » devra également évoluer pour contrôler une micro mobilité potentielle, susceptible de perturber le recalage des images réelles et virtuelles et donc de provoquer des fausses routes. Quoiqu'il en soit, ce dispositif répond d'ores et déjà aux critères de malléabilité, de radiotransparence et de stabilité que nous avons définis au préalable, contrairement au doigtier japonais que certains utilisent pour le vissage du scaphoïde en percutané (4).

L'utilisation d'une instrumentation de navigation non spécifique a nécessité le calibrage de chaque instrument l'un après l'autre, ce qui est incompatible avec une durée acceptable d'intervention chirurgicale. Des instruments spécifiques munis de diodes électroluminescentes pourront être mis au point prochainement. La précision des instruments actuels devra également être améliorée pour descendre au dessous du mm, afin d'obtenir un meilleur niveau de précision.

L'amélioration du système logiciel est le garant d'une navigation parfaitement contrôlée pour éviter les fausses routes lors du brochage. En effet, que ce soit par méthode fluoroscopique classique ou par navigation fluoroscopique, le placement réussi d'une vis dans le scaphoïde carpien requiert encore une compréhension tridimensionnelle parfaite de la morpho anatomie de cet os, ainsi qu'un important effort intellectuel de rotation d'images mentales. Les études anatomiques récentes (2) rappellent que la méconnaissance de cette complexité morphologique du scaphoïde est la cause principale d'échec du vissage (1). En l'état actuel, le logiciel utili-

sé dans cette étude, habituellement dédié au vissage pédiculaire du rachis, consiste à naviguer à partir d'images fluoroscopiques recalées dans deux incidences planes. L'idéal serait de disposer d'une image 3D transparente. Mais la disponibilité et le temps d'acquisition des images scannographies actuelles sont tels qu'il paraît difficile d'y avoir recours dans le cadre de l'urgence, même différée. En revanche, la reconstruction d'une image 3D virtuelle en transparence, à partir de deux ou trois images fluoroscopiques 2D apparaît possible. L'image 3D reconstruite proviendrait d'un patron de scaphoïde standard 3D dont certains repères auraient été déformés à partir des images 2D du scaphoïde controlatéral au scaphoïde fracturé. Certains auteurs ont développé de tels logiciels permettant en outre de réduire la taille des fichiers de stockage des formes d'objets 3D, de réduire le poids des informations à transmettre sur un réseau informatique, et d'obtenir des animations en temps réel (3,8).

Enfin, l'ostéosynthèse percutanée de fractures déplacées nécessitera le repérage spécifique de chacun des fragments osseux du scaphoïde. Une solution pourrait être le brochage percutané de chacun des fragments, reconnus par le système de navigation, grâce à la fixation sur chaque broche d'un bouquet de trois sphères réfléchissantes. En manipulant les broches, les fragments pourraient être mobilisés séparément jusqu'à l'obtention d'une réduction jugée satisfaisante à l'écran du navigateur. Certains utilisent déjà des broches de Kirschner fixées dans chacun des fragments et obtiennent une réduction par voie percutanée en mobilisant et comprimant les fragments par la manipulation des broches comme des joysticks (15). Une fois la réduction obtenue, le brochage dans l'axe du scaphoïde peut être réalisé selon la technique décrite précédemment pour les fractures non déplacées.

Ainsi, l'ostéosynthèse percutanée des fractures du scaphoïde carpien par navigation fluoroscopique pourrait diminuer la courbe d'apprentissage, élargir les indications, améliorer le confort de la procédure, diminuer les erreurs de synthèse et l'exposition aux rayons X.

Remerciements pour l'aide technique à la réalisation :

- Monsieur le Professeur Jean-Charles Le Huec, Directeur du Laboratoire de Recherche Chirurgicale Expérimentale Appliquée, pour son aimable autorisation d'accès au Laboratoire DETERCA, Université Victor Segalen Bordeaux 2, 33076 Bordeaux Cedex, France
- Monsieur le Professeur Dominique Midy, Directeur du Laboratoire d'Anatomie, Université Victor Segalen Bordeaux 2, 33076 Bordeaux Cedex, France
- Société BrainLab, Tour Ariane, 5 place de la pyramide, 92088 Paris la Défense Cedex, France
- Société AREX®, B.P.20, 91125 Palaiseau Cedex, France

Références

1. Adams BD, Blair WF, Reagan DS, Grundberg AB. Technical factors related to Herbert screw fixation. *J Hand Surg*, 1988; 13-A : 893-9.
2. Ceri N, Korman E, Gunal I, Tetik S. The morphological and morphometric features of the scaphoid. *J Hand Surg* 2004; 29-B : 393-8.
3. Gourret JP, Khamlichi J. Un outil informatique pour le langage des signes et la chorégraphie. 1ères Rencontres Internationales Arts, Sciences & Technologies, Com'Science, Univ. de La Rochelle, Nov. 2000.
4. Haddad FS, Goddard NJ. Acute percutaneous scaphoid fixation. A pilot study. *J Bone Jt Surg*, 1998; 80-B : 95-9.
5. Herzberg G. Fractures récentes du scaphoïde chez l'adulte. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT. Conférences d'enseignement 2001. Elsevier, édit, Paris, 241-256.
6. Hung L, Tsui H, LAM S, Leung K. Computer aided navigation of percutaneous scaphoid screw insertion – a cadaveric feasibility study. APFSSH-Asian Pacific Federation of Societies for Surgery of the Hand, Osaka, 2004, Abstract 3D1.
7. Kapandji IA. Physiologie articulaire. Maloine ed, tome 1.
8. Khamlichi J, Gourret JP. MEFP3C : un système logiciel pour le maillage évolutif de formes avec pavage par polygones a sommets 3 connexes. Actes du Colloque National de la Recherche Universitaire IUT, Tome 1 : Sciences et Techniques de l'Ingénieur, P.87, Univ. de Nice-Sophia-Antipolis, Mai 2004.
9. Liverneaux Ph. Une nouvelle main malléable radiotransparente pour la chirurgie de la main. In « Trucs et astuces en chirurgie orthopédique » sous la direction de Dubrana, Lefevre et Le Nen. Sauramps médical, Tome 3, 2004, 173-8.
10. Liverneaux Ph. Le vissage percutané du scaphoïde assisté par ordinateur : étude expérimentale. *Chir Main* (accepté).
11. Merloz P, Tonetti J, Pittet L, Coulomb M, Lavallée S, Troccaz J, Cinquin P, Sautot P. Computed-assisted spine surgery. *Comput Aided Surg* 1999; 3 : 297-305.
12. Papaloizos MY, Fusetti C, Christen T, Nagy L, Wasserfallen JB. Minimally invasive fixation versus conservative treatment of undisplaced scaphoid fractures : a cost effectiveness study. *J Hand Surg*, 2004; 29-B : 116-9.
13. Saragaglia D, Pradel P, Picard F. L'ostéotomie de valgisation assistée par ordinateur dans le genu arum arthrosique : résultats radiologiques d'une étude cas témoin de 56 cas. *e-Mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie*, 2004; 3 : 21-5.
14. Slade JF, Grauer JN, Mahoney JD. Arthroscopic reduction and percutaneous fixation of scaphoid fractures with a novel dorsal technique. *Orthop Clin North Am* 2001; 32 : 247-61.
15. Slade JF, Merrell GA. Minimally invasive management of scaphoid fractures. *Operative Techniques in Plastic and Reconstructive Surgery*, 2002; 9 : 143-50.
16. Tonetti J, Carrat L, Blendea S, Merloz P, Troccaz J, Lavallée S, Chirossel JP. Clinical results of percutaneous pelvic surgery. Computer assisted surgery using ultrasound compared to standard fluoroscopy. *Comput Aided Surg*, 2002; 6 : 204-11.
17. Watson HK, Ballet FL. The SLAC wrist : scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg*, 1984; 9-A : 358-65.