

LA CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ASSISTÉE PAR LE SCANNER CHEZ LE CHEVAL

COMPUTER-ASSISTED ORTHOPAEDIC SURGERY IN HORSES

Par Roland PERRIN⁽¹⁾

(communication présentée le 12 juin 2008)

RÉSUMÉ

La chirurgie assistée par l'ordinateur est un nouveau concept chirurgical qui utilise les capacités technologiques de l'ordinateur pour élaborer une stratégie chirurgicale préopératoire, ou pour aider ou guider le geste chirurgical durant l'intervention : on parle de Geste Médico-Chirurgical Assisté par l'Ordinateur (GMCAO). L'auteur décrit l'utilisation d'un pQCT (peripheral quantitative computerized tomography) chez le cheval pour la réalisation d'actes de chirurgie orthopédique, assistés par l'ordinateur, dans 70 cas cliniques. Chez le cheval debout, un examen préopératoire par scanner peut être réalisé dans le but d'élaborer une stratégie chirurgicale et de mettre en place des marqueurs qui permettront d'effectuer, de façon rapide et précise, la chirurgie lorsque le cheval sera anesthésié. Chez le cheval couché anesthésié, nous pouvons réaliser un examen par scanner pour mieux définir une lésion, déjà connue avant l'intervention par d'autres techniques d'imagerie, pour identifier une lésion qui n'a pas été correctement mise en évidence par ces techniques ou pour permettre d'évaluer immédiatement le résultat du geste chirurgical.

Mots-clés : chirurgie orthopédique assistée par l'ordinateur, scanner, cheval.

SUMMARY

Computer-assisted surgery is a new concept used to define a preoperative surgical strategy, or to assist the surgeon during the procedure (Computer-Assisted Medical Interventions). The author describes the use of pQCT (Peripheral Quantitative Computerized Tomography) in computer-assisted orthopedic procedures in 70 horses. In standing horses, a preoperative CT scan can be used to define a surgical strategy or identify the operative site and thus improve the accuracy of the surgical procedure. In recumbent horses (general anesthesia), a CT scan may be performed before the procedure to collect more information on the lesion, or immediately after the procedure to assess the surgical outcome.

Key words : computer-assisted orthopaedic surgery, CT, horse.

(1) DMV, DESV Chirurgie Équine, Dipl ECVS.

INTRODUCTION

Comme toutes les disciplines médicales, la chirurgie est en perpétuelle évolution. Après la révolution de la chirurgie mini-invasive de la fin du XX^e siècle, la chirurgie assistée par l'ordinateur est devenue une réalité au début du XXI^e siècle. La chirurgie mini-invasive a pour but de pratiquer des plaies opératoires de la plus petite taille possible et de limiter le plus possible l'agression opératoire pour accéder sur le lieu de l'intervention chirurgicale (Perrin 2005). La chirurgie assistée par l'ordinateur est un nouveau concept chirurgical, qui utilise les capacités technologiques de l'ordinateur pour élaborer une stratégie chirurgicale pré-opératoire, ou pour aider ou guider le geste chirurgical durant l'intervention, on peut parler de Geste Médico-Chirurgical Assisté par l'Ordinateur (GMCAO). Elle n'a pu voir le jour qu'avec le développement impressionnant, ces dernières années, de l'imagerie médicale. Les images médicales sont actuellement des images numériques. Leur traitement informatique permet la visualisation anatomique de la lésion et 2D ou en 3D, d'isoler virtuellement certaines structures anatomiques les unes par rapport aux autres – on parle de segmentation –, de simuler des interventions par modélisation. Les images finales sont virtuelles même si elles ressemblent à la réalité et dépendent de la technique d'acquisition de l'image. On ne doit jamais en tant que chirurgien oublier ce paramètre. La radiographie, l'échographie, la tomodensitométrie ou l'IRM sont les techniques les plus courantes qui permettent l'obtention des données qui seront traitées par l'informatique et restituées au chirurgien sous forme d'une image.

L'utilisation du scanner est limitée par le coût de l'appareil et par son encombrement. En chirurgie orthopédique humaine, la chirurgie assistée par le scanner est « le gold standard » de la chirurgie assistée par l'ordinateur et les nouvelles techniques se réfèrent à elle pour prouver leur efficacité (Kendoff *et al.* 2007). Du fait du moindre encombrement d'un amplificateur de brillance par rapport à un scanner, la chirurgie assistée par ordinateur avec un amplificateur de brillance tend à devenir le standard.

Chez le cheval, la chirurgie assistée par l'imagerie est peu décrite, on peut citer des publications récentes montrant l'aide de l'échographie en peropératoire (Piccot-Crezollet *et al.* 2005) ou du scanner, pour mieux interpréter la configuration de fractures comminutives (Rose *et al.* 1997; Martens *et al.* 1999; Waselau *et al.* 2006). Quelques publications montrent l'intérêt de la chirurgie assistée par l'ordinateur avec un amplificateur de brillance (Andrizky *et al.* 2005; Gygax *et al.* 2006; Rossol *et al.* 2008).

Dans notre Clinique, depuis 2002, nous avons cherché à développer la chirurgie orthopédique assistée par le scanner. Nos objectifs, par ordre chronologique ont été les suivants :

- développer l'utilisation du scanner dans le cadre d'une clientèle privée, faire en sorte que ce scanner soit transportable et qu'il nous permette d'identifier, dans un but diagnostique, les structures osseuses et les tissus mous de l'appareil ostéo-articulaire des membres du cheval en position debout ou en position couchée;

- à partir de coupes obtenues avant la chirurgie ou pendant la chirurgie, traitées ou non par l'informatique, élaborer une stratégie chirurgicale peu invasive ou guider le geste chirurgical durant l'intervention.

Nous présentons ici le résultat de ce travail.

MATÉRIEL

Le scanner que nous avons choisi d'utiliser est un pQCT : peripheral quantitative computerized tomography ou « tomographie computerisée quantitative périphérique ». Le pQCT est un système d'imagerie tridimensionnelle, qui procède par un balayage complet de l'objet à radiographier et le tout, sous le contrôle d'un ordinateur. Grâce à ce balayage, le CT permet de faire l'image de la tranche d'objet tout en mesurant la densité relative du voxel. À chaque voxel correspond une densité osseuse ou BMD (Bone Mineral Density). La mise au point du prototype, le XCT-3000^b, en partenariat avec la Société Norland-Stratec Medical Syst., a demandé deux années. Cet équipement pèse 200 kg, le tube est de 46 Kv et 0,3 mA. La largeur du champ d'analyse et la résolution maximale sont respectivement de 300 mm et de 1024 x 1024 pixels. L'acquisition d'une coupe demande d'une à deux minutes en fonction de la qualité demandée. Des coupes peuvent être obtenues au minimum tous les millimètres.

Dans un second temps, notre Clinique a développé la possibilité d'obtenir, à partir des coupes produites avec le pQCT, des images en trois dimensions. Nous avons adapté pour cela le programme VolView (Kildare). À partir d'une dizaine de coupes en moyenne chez le cheval debout et d'une vingtaine chez le cheval couché, nous obtenons des images de haute qualité, si les coupes sont réalisées au minimum tous les deux millimètres. Pour la segmentation, nous avons adapté le programme MIPAV du National Institut of Health de Maryland.

Le pQCT peut être facilement déplacé sur ses propres roues ou sur une table élévatrice. Nous avons démontré que cet appareil pouvait être utilisé chez le cheval debout (Desbrosse *et al.* 2008) et chez le cheval couché dans un bloc opératoire. Il peut être utilisé avant la chirurgie, après la chirurgie, ou pendant la chirurgie avec une technique de positionnement et de mise en place des champs que nous avons élaborées. Il permet d'obtenir des images de haute qualité en deux ou en trois dimensions, sur lesquelles nous pouvons faire de la simulation ou de la segmentation. Les structures osseuses sont les cibles préférentielles, mais par des techniques dérivées, comme l'injection d'un produit de contraste par voie intra-veineuse sous garrot, on peut obtenir des images de tissus mous très vascularisés ou anormalement vascularisés, comme ce peut être le cas lors d'inflammation (**figure 1**). Une autre équipe utilise l'injection d'un produit de contraste par voie intra-artérielle (Puchalski *et al.* 2007).

Entre 2002 et 2008, nous avons ainsi réalisé l'ensemble de nos objectifs sur le plan du matériel et nous avons actuellement à notre disposition un appareil peu encombrant, relativement peu

coûteux, permettant l'obtention d'images du doigt chez le cheval debout, adaptable à un environnement chirurgical équin pour l'obtention d'images ciblées en pré-, per- et post-opératoire, du radius au pied et du tibia au pied chez le cheval couché.

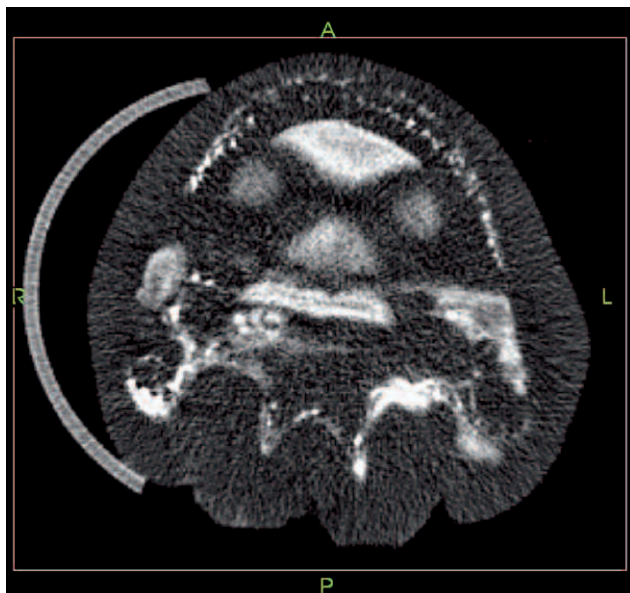


Figure 1 : Coupe d'un pied, obtenue par scanner après injection intraveineuse sous garrot du produit de contraste. On voit nettement l'accumulation de celui-ci dans le tendon fléchisseur profond. Le cheval présentait une nécrose septique du tendon consécutive à un « clou de rue ». (A et P, faces antérieure et postérieure ; R et L, côtés droit et gauche).

TECHNIQUE OPÉRATOIRE

Entre 2002 et 2008, nous avons réalisé des chirurgies assistées par ordinateur sur des membres isolés et sur des cas cliniques. Actuellement, nous pouvons utiliser le scanner pour un examen pré-chirurgical chez le cheval debout, dans le but d'élaborer une stratégie chirurgicale et de mettre en place des marques qui permettront de réaliser de façon rapide et précise la chirurgie, lorsque le cheval sera anesthésié. Chez le cheval couché, nous pouvons réaliser un examen par scanner pour mieux identifier une lésion déjà mise en évidence avant l'intervention par une autre technique d'imagerie, pour identifier une lésion qui n'a pas été correctement mise en évidence par d'autres techniques d'imagerie avant l'intervention ou pour permettre d'évaluer immédiatement le résultat du geste chirurgical, alors que le cheval est encore anesthésié. Dans tous les cas, les images sont traitées par l'informatique et utilisées soit en 2D, soit en 3D, soit segmentées. Elles permettent de mieux identifier la lésion, de la localiser par rapport à des repères anatomiques et d'élaborer une stratégie chirurgicale la moins invasive possible. Dans le cas des fractures, le positionnement des vis peut être simulé et des marques peuvent être faites sur le membre, pour permettre leur implantation sans une large ouverture cutanée. Les examens par scanner sont réalisés en fonction du type de chirurgie, soit sur

un membre non préparé chirurgicalement, soit sur un membre préparé chirurgicalement avec pose de champs opératoires.

RÉSULTATS

L'examen pré-chirurgical chez le cheval debout

Différentes pathologies du pied du cheval nécessitent un traitement chirurgical. On peut citer les kératomes, les ostéites septiques, les fractures de la troisième phalange ou de l'os naviculaire. Idéalement, pouvoir mettre en place des repères avant l'intervention, permet de diminuer le temps opératoire chez le cheval couché, de diminuer le nombre de clichés radiographiques et de réaliser des gestes les moins invasifs possibles. La technique a été expérimentée sur des membres isolés avant l'application dans des cas cliniques. Le scanner pouvait permettre, chez le cheval debout, de déterminer les repères pour l'insertion de vis de compression sur des fractures sagittales de la troisième phalange (**figure 2**). Utilisant le test U de Mann-Whitney, nous avons démontré que la précision obtenue était plus grande qu'avec l'utilisation de la radiographie ($U = 23.50$, $P < 0.05$, $r = -0.45$) et que le temps chirurgical était plus court qu'avec la technique de référence ($U = 0.000$, $p < 0.05$, $r = -0.87$) (Perrin *et al.* 2008). Nous avons utilisé cette technique dans des cas cliniques : fracture de la troisième phalange ($n = 1$), kératomes ($n = 2$), kystes sous-chondraux de la troisième phalange ($n = 1$) et ostéoarthrite de l'articulation métacarpo-phalangienne ($n = 1$).

L'examen chez le cheval couché

Cent dix examens par scanner ont été réalisés sous anesthésie générale entre janvier 2002 et avril 2008. Dans 70 cas, ils peuvent être considérés comme rentrant dans la catégorie « chirurgie assistée par le scanner », les autres cas rentrant dans la catégorie « diagnostic » (**figure 3**).

Examens par scanner permettant de mieux identifier une lésion déjà mise en évidence avant l'intervention

La lésion avait déjà été identifiée par d'autres techniques d'imagerie médicale comme la radiographie ou l'échographie. Le scanner a permis soit de confirmer la stratégie chirurgicale envisagée en pré-opératoire, soit de la modifier pour réaliser une chirurgie la moins invasive possible. On peut citer les interventions chirurgicales sur un kératome, trois kystes sous-chondraux, deux séquestres osseux, dix fragments ostéochondraux articulaires, deux ostéomes, sept fractures et deux arthrodèses.

Examens par scanner permettant d'identifier une lésion dont la mise en évidence par d'autres techniques d'imagerie, avant l'intervention, est imprécise

Une lésion avait été observée par d'autres techniques d'imagerie avant l'intervention, mais les informations recueillies n'étaient pas suffisantes pour établir un diagnostic correct et une bonne stratégie chirurgicale, ce qu'apporte la visualisation des images en 2D ou en 3D.

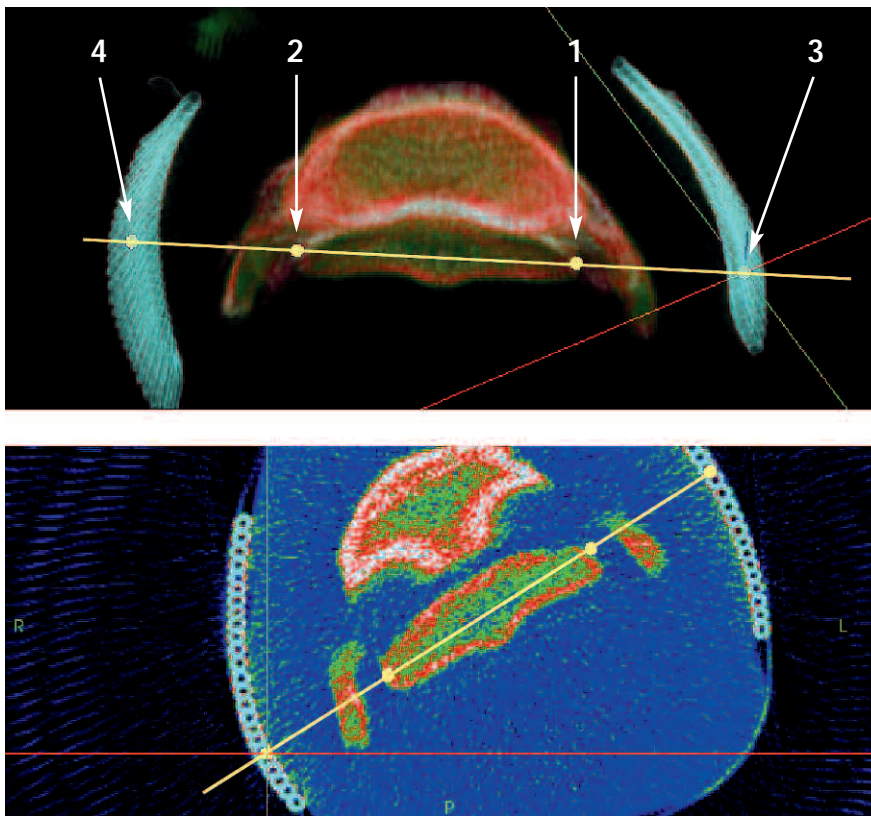


Figure 2: Exemples de coupes du pied en trois dimensions (3D en haut) et en deux dimensions (2D en bas), obtenues par scanner. Ce type d'images permet d'effectuer, avant l'opération, des mesures précises.

Sur l'image en 3D, dans le but de mettre en place une vis d'ostéosynthèse dans l'os naviculaire, une marque informatique (1) est affichée au lieu d'insertion de la vis et une seconde (2), à son point de sortie. Deux autres marques (3 et 4) sont affichées sur la paroi en regard des marques réellement appliquées sur le sabot. Nous vérifions que les quatre marques sont parfaitement alignées. Comme la zone de la coupe est parfaitement connue (distance enregistrée par le scanner) et que les marques réellement appliquées sur la paroi du sabot sont des tubulures radio-opaques d'un mm de diamètre, on peut ainsi noter sur la paroi du sabot le lieu d'entrée de la mèche. La longueur de la vis est mesurée entre les points 1 et 2. L'image en 2D permet aussi d'apprécier la longueur de l'os naviculaire par la distance entre les points affichés (A et P, faces antérieure et postérieure; R et L, côtés droit et gauche).

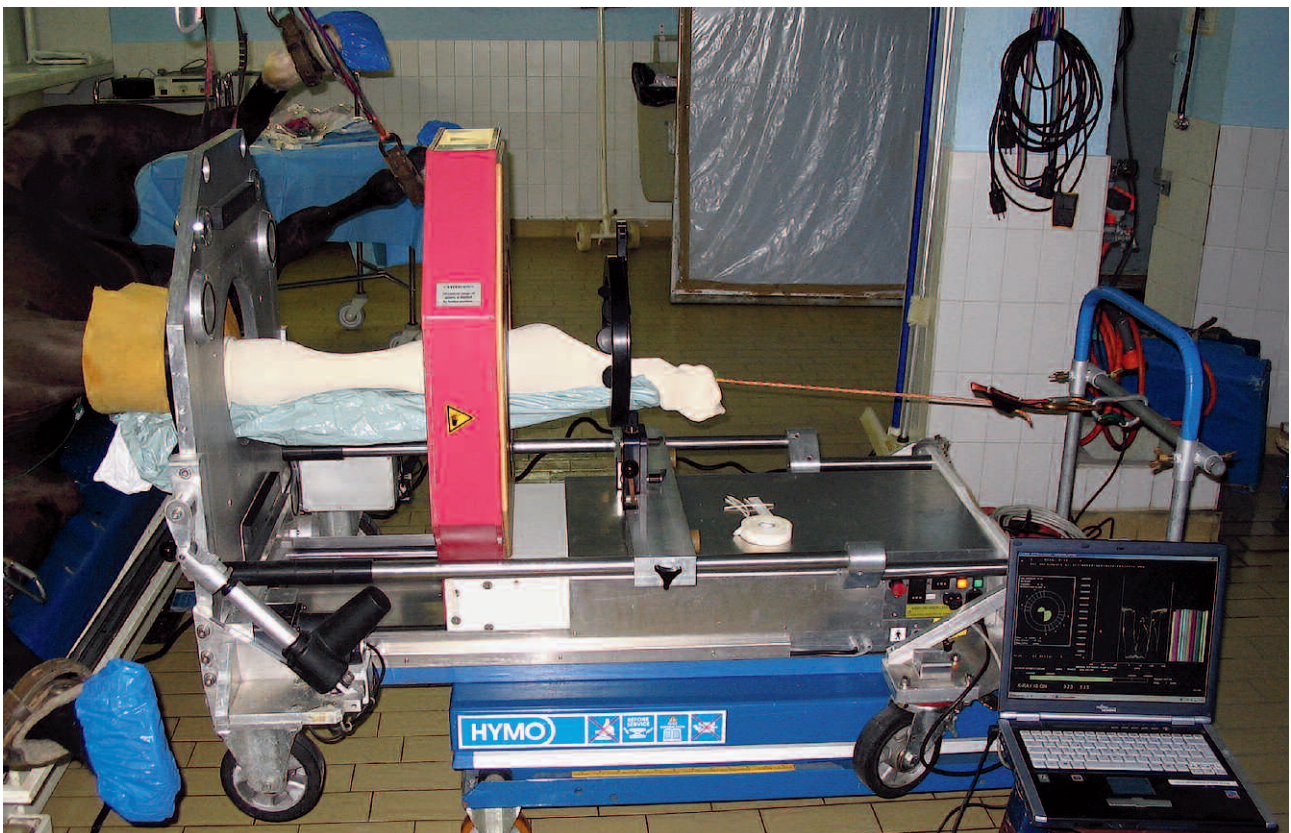


Figure 3: Réalisation de l'examen, par scanner, d'un membre antérieur chez un cheval couché, sous anesthésie générale. Le membre traverse l'anneau du scanner, la zone à étudier est, dans ce cas, la région du boulet. L'anneau est positionné sur la zone d'intérêt.

Cette démarche a été particulièrement utile pour des affections de la région proximale du suspenseur du boulet du membre postérieur⁽²⁾ : des exostoses, invisibles avant l'intervention, ont pu être ainsi identifiées et retirées (n = 4) ; de même, lors d'enthésopathies avec ou sans fracture de contrainte, des chirurgies d'ostéotomis⁽³⁾ ont été réalisées avec une grande précision (n = 4). On peut citer également des résections de « suros » (n = 6). Lors de fractures, le scanner a permis de mieux visualiser la configuration de la fracture. Nous avons ainsi opéré des os du carpe (n = 2), des premières phalanges (n = 4), des deuxième phalanges (n = 2), un os naviculaire, un radius, trois métacarpiens 3, la partie proximale d'un tibia et celle, distale d'un condyle fémoral. Le scanner a permis également de faciliter l'exérèse d'un corps étranger dans la couronne du sabot et par l'utilisation de produit de contraste injectée sous garrot, de traiter un « clou de rue ».

Examens par scanner permettant d'évaluer le résultat de la chirurgie immédiatement ou en post-opératoire après le réveil du cheval

Dans ce but, des examens ont été réalisés après ablation de métacarpiens rudimentaires ou de séquestres osseux (n = 5) pour évaluation du résultat ; le scanner est également utilisé pour apprécier le degré de cicatrisation d'une fracture (n = 2).

DISCUSSION

En chirurgie humaine, on parle de chirurgie assistée par l'ordinateur ou encore de geste médico-chirurgical assisté par l'ordinateur. On regroupe dans cette catégorie, tous les éléments qui peuvent assister le chirurgien dans la sélection d'une stratégie optimale pour réaliser un acte chirurgical. À partir d'images, issues d'une technique d'imagerie médicale, on peut créer une représentation virtuelle en trois dimensions. Le scanner est préféré à l'IRM, parce que l'IRM peut créer des déformations qui ne sont pas conformes à la réalité, lors de la reconstruction en trois dimensions. Actuellement, se développe

l'utilisation de l'amplificateur de brillance qui est moins coûteux, plus facilement utilisable car transportable. Dans un hôpital, on peut imaginer affecter un amplificateur de brillance dans chaque salle de chirurgie orthopédique, alors qu'il est difficilement envisageable d'y avoir un scanner. Cette technique a été appliquée chez le cheval (Andrizky *et al.* 2005 ; Gyax *et al.* 2006 ; Rossol *et al.* 2008), elle est efficace, mais le coût de l'appareil est élevé pour une clinique vétérinaire. Le scanner que nous utilisons reste d'un prix abordable, il est moins encombrant que l'amplificateur de brillance et nous avons montré qu'il était aussi précis (Vandeweerd *et al.* 2008).

La chirurgie assistée par ordinateur permet non seulement de pratiquer des gestes peu invasifs mais aussi d'optimiser l'acte chirurgical par des simulations d'interventions. Ces simulations permettent de vérifier que l'acte chirurgical sera efficace et conforme. Elles peuvent ensuite être corrélées avec les actions d'un chirurgien et d'un robot chirurgical programmé lors de la simulation. On évolue ainsi vers la chirurgie robotisée. En fonction de l'importance des actes réalisés par le chirurgien ou par le robot, on parle d'actes chirurgicaux supervisés ou contrôlés. Pour notre part, nous en sommes aux simulations mais pas aux actes assistés par un robot.

En conclusion, nous pensons que la chirurgie assistée par ordinateur, avec l'aide d'un scanner de petite taille mobile dans la salle de chirurgie, ouvre la voie à une nouvelle chirurgie orthopédique du cheval, plus efficace et plus précise. Ceci est particulièrement vrai dans le traitement des fractures. Le positionnement optimal des fragments osseux permet une meilleure récupération fonctionnelle et un moindre risque de développement d'ostéo-arthrite sur les fractures articulaires, fréquentes chez le cheval. Nous avons d'abord démontré sur des membres isolés que la chirurgie assistée par l'ordinateur et par le scanner était précise, rapide et peu invasive. (Vandeweerd *et al.* 2008), puis qu'elle était réalisable dans des cas cliniques. Nous devons maintenant poursuivre notre travail et convaincre la profession du bien fondé de ces techniques.

REMERCIEMENTS

Toutes ces études ont été possibles grâce à la création d'un pôle « recherche et développement » au sein de notre Clinique, la Clinique Equine Desbrosse. Les acteurs actuels et passés de ce pôle sont remerciés pour leur enthousiasme et leur innovation : L. Brogniez, P. Clegg, F. Desbrosse, S. Géhin, T. Launois, D. Pechar, S. Mosseri, J.-M. Vandeweerd. Nous remercions également la société Norland-Stratec Medical Syst.

(2) La partie proximale du ligament suspenseur du boulet s'insère sur l'os du canon, métatarsien ou métacarpien, et sa partie distale, sur les os grands sésamoïdes. Ces insertions sont des entèses, comme tout élément tendineux, ligamentaire ou capsulaire qui s'insère sur un os. La lésion est donc une enthésopathie, avec production d'une ostéolyse dans un premier temps, puis d'une ostéosclérose ou d'un enthésophyte dans un second temps.

(3) La chirurgie d'ostéotomis consiste à pratiquer des forages avec des meches de 2 mm de diamètre, en regard des régions d'ostéosclérose ou de la fracture de contrainte, dans la zone corticale palmaire ou plantaire de l'os métacarpien ou métatarsien principal, afin de stimuler le remodelage osseux.

BIBLIOGRAPHIE

- Andritzky, J. Rossol, M., Lischer, C., Auer, J.A. 2005. Comparison of computer-assisted surgery with conventional technique for the treatment of axial distal phalanx fractures in horses: an in vitro study. *Vet Surg.* 34 (2) : 120 – 127.
- Desbrosse, F., Vandeweerd, J.M., Perrin, R., Clegg, P., Launois, T., Brogniez, L., Gehin, S. 2008. A technique for Computed Tomography (CT) of the foot in the standing horse. *Equine vet Educ.* 20: 93 – 98.
- Gygax, D., Lischer, C., Auer, J.A. 2006. Computer-assisted surgery for screw insertion into the distal sesamoid bone in horses: an in vitro study. *Vet Surg.* 35 (7) : 626 – 633.
- Kendoff, D., Gardner, M., Citak, M., Kfuri, M., Thumes, B., Krettek, B., Hüfner, H. 2007. Value of 3D fluoroscopic imaging of acetabular fractures comparison to 2D fluoroscopy and CT imaging. *Arch Orthop Trauma Surg.* 128 (6) : 599 – 605.
- Martens, P., Ihler, C.F., Rennesund, J. 1999. Detection of a radiographically occult fracture of the lateral palmar process of the distal phalanx in a horse using computed tomography. *Vet Radiol Ultrasound* 40: 346 – 349.
- Perrin, R. 2005. Chirurgie mini invasive: ce que nous savons faire en 2005, perspectives. In *Proceedings du congrès annuel AVEF*, 20, 21, 22 octobre 2005, pp. 238 – 242.
- Perrin, R.A., Vandeweerd, J.M., Launois, M.T., Brogniez, L., Desbrosse, F.G., Clegg, P.D., Gehin, S.P. 2008. Standing CT to Prepare P3 Internal Fixation. *Vet Surg. In press.*
- Piccot-Crézollet, C., & Cauvin, E.R. 2005. Treatment of a second carpal bone fracture by removal under ultrasonographic guidance in a horse. *Vet Surg.* 34 (6) : 662 – 667.
- Puchalski, S.M., Galuppo, L.D., Hornof, W.J., Wisner, E.R. 2007. Intraarterial contrast-enhanced computed tomography of the equine distal extremity. *Vet Radiol Ultrasound* 48 (1) : 21 – 29.
- Rose, P.L., Seeherman, H., O'Callaghan, M. 1997. Computed tomographic evaluation of comminuted middle phalangeal fractures in the horse. *Vet Radiol Ultrasound* 38: 424 – 429.
- Rossol, M., Gygax, D., Andritzky-Waas, J., Zheng, G., Lischer, C.J., Zhang, X., Auer, J.A. 2008. Comparison of computer assisted surgery with conventional technique for treatment of abaxial distal phalanx fractures in horses: an in vitro study. *Vet Surg.* 37 (1) : 32 – 42.
- Waselau, M., Bertone, A.L., Green, E.M. 2006. Computed tomographic documentation of a comminuted fourth carpal bone fracture associated with carpal instability treated by partial carpal arthrodesis in an Arabian filly. *Vet Surg.* 35: 618 – 625.