

UTILISATION DE L'IMPRESSION ET DE LA MODÉLISATION TRIDIMENSIONNELLE EN MÉDECINE VÉTÉRAIRE

USE OF THREE DIMENSIONAL PRINTING AND MODELING IN VETERINARY MEDICINE

Par Jean-François BOURSIER⁽¹⁾

(Communication présentée le 19 Février 2020, manuscrit accepté le 20 Octobre 2020)

RÉSUMÉ

L'impression en trois dimensions en médecine vétérinaire connaît un essor important depuis plusieurs années. En médecine humaine, cette technique est déjà régulièrement utilisée, notamment dans le domaine chirurgical. Les nouvelles techniques de prototypage tridimensionnel (3D), notamment grâce aux imprimantes non professionnelles, ont permis l'usage fréquent de cette technologie, en réduisant deux limites majeures qui existaient auparavant : les délais d'obtention du modèle plastique et le coût d'impression. Le délai d'obtention d'un modèle 3D plastique issu d'une impression professionnelle, et le coût de production liés à cette méthode, entraînaient des réticences à l'application de cette technologie à la médecine vétérinaire. Actuellement, l'impression d'un modèle en 3D peut être intégrée dans la démarche diagnostique et tend à devenir une aide précieuse en médecine vétérinaire ou encore à apporter un support pédagogique, autant auprès des propriétaires que des vétérinaires en formation.

Mots-clés : Trois-dimensions, imprimante 3D de bureau, acide polylactique, chirurgie vétérinaire

ABSTRACT

Three-dimensional printing in veterinary medicine has experienced significant growth for several years. In human medicine, this technique is already used daily and in particular in surgery. The new three-dimensional (3D) prototyping techniques, in particular thanks to non-professional printers, have enabled the usual use of this technology, reducing two major limits that previously existed: the time taken to obtain the plastic model and the printing cost. The delay in obtaining a professional 3D printed plastic model, and the production cost associated with this method, led to reluctance to use this technology in veterinary medicine. Currently, the printing of a 3D model can be integrated into the diagnostic procedure and tends to become a complementary examination in its own right.

Key words: Three-dimensional, desktop 3D-printer, polylactic acid, veterinary surgery

1. Jean-François Boursier, Clinique Vétérinaire TouraineVet – Exercice en référé exclusif, 12 rue des internautes, 37210 Rochecorbon. Courriel : direction@tourainevet.fr

INTRODUCTION

L'impression et la modélisation tridimensionnelles (3D) sont devenues de plus en plus utilisées ces dix dernières années, notamment en médecine humaine, mais également plus récemment en médecine vétérinaire. En médecine humaine, de nombreuses études ont montré l'intérêt de l'utilisation des modèles 3D pour la planification préalable de la chirurgie craniofaciale et maxillo-faciale, la chirurgie pelvienne, la chirurgie rachidienne, la neurochirurgie, la chirurgie cardiovasculaire et la chirurgie viscérale (Hespel *et al.* 2014). La chirurgie maxillo-faciale et le système musculo-squelettique représentaient, en 2017, respectivement 58,3 % et 23,7 % des publications scientifiques en médecine humaine sur le sujet (Diment *et al.* 2017). Les avantages publiés qui découlent de l'utilisation de la modélisation 3D dans le domaine de la médecine ou de la chirurgie, sont notamment un gain de temps opératoire, une meilleure appréhension des actes médicaux ou chirurgicaux, ou encore une diminution des complications. En pratique chirurgicale notamment, la diminution de la mobilisation des tissus et des os pendant l'intervention, couplée à la diminution du temps opératoire, laisse penser que cette pratique peut également réduire le taux d'infection notamment en orthopédie. Toutes les indications publiées en médecine humaine peuvent être transposées à la médecine vétérinaire. L'impression et la modélisation 3D présentent donc 3 avantages majeurs théoriques en médecine vétérinaire. Premièrement un intérêt pédagogique aussi bien pour les étudiants ainsi que tous les apprenants, mais aussi pour les propriétaires d'animaux, pour lesquels une explication sur la base d'un modèle 3D rend la compréhension plus aisée. Ensuite, d'un point de vue diagnostique, avec une meilleure compréhension des pièces anatomiques complexes, ou la visualisation de certains détails non perceptibles sur des examens complémentaires. Enfin, dans la prise en charge thérapeutique est rendue plus aisée par l'utilisation de l'impression 3D, encore une fois notamment dans le domaine très particulier de l'orthopédie vétérinaire.

QU'EST CE QUE LA MODÉLISATION 3D ?

La modélisation 3D consiste en une utilisation informatique d'un logiciel permettant de créer un modèle 3D virtuel, à partir d'un objet spécifique. L'impression, à l'image de ce qui existe pour du texte sur papier, permet la création du modèle 3D palpable et manipulable, à partir d'un modèle virtuel et d'un fichier informatique d'impression spécifique. Le prototypage rapide regroupe toute la chaîne de production d'un modèle 3D imprimé, depuis la phase de modélisation informatique jusqu'à l'impression, et l'obtention du modèle 3D. Le recours au prototypage rapide d'un modèle 3D est couramment décrit en chirurgie orthopédique humaine. Les nouvelles techniques de prototypage 3D, notamment grâce aux imprimantes non professionnelles, au chevet du patient, réduisent deux limites majeures qui existaient jusqu'alors : les délais d'obtention du modèle plastique et le coût d'impression. Ces améliorations ont pu être apportées sans impacter de manière trop importante la qualité d'impression.

MÉTHODES

Stéréolithographie

Plusieurs méthodes d'impression 3D existent, et la stéréolithographie est actuellement considérée comme la référence en matière de prototypage 3D pour les applications médicales (Cohen *et al.* 2009). Cette méthode d'impression est considérée comme une méthode dite « additive », qui correspond à la superposition de tranches fines de matière, souvent en résine, dont certaines peuvent avoir des certifications de biocompatibilité. Cette méthode fait intervenir un système de photopolymérisation de matière, dans laquelle une lumière ultraviolette (UV) vient solidifier une couche de résine liquide.

Modélisation par dépôt de matière fusionnée.

La modélisation par dépôt de matière fusionnée, « Fused Deposition Modelling » (FDM) en Anglais, est une alternative fiable et acceptable à la stéréolithographie. L'impression par technique FDM est l'un des processus les plus accessibles pour le prototypage rapide, notamment eu égard à son faible coût d'utilisation, élément important en médecine vétérinaire. Cette technique repose elle aussi sur un principe additif par ajout de matière, qui consiste en un dépôt de matière en couches pour construire un objet 3D ; un filament en plastique ou un fil métallique est déroulé d'une bobine et fournit le matériel pour produire une pièce. A la différence de la stéréolithographie, dans laquelle un élément liquide est solidifié, la FDM repose sur le passage d'un élément solide en un élément fondu. Parmi les filaments plastiques les plus courants, l'acide polylactique (PLA) semble être le moins cher et le plus fréquemment utilisé dans les imprimantes 3D de bureau. Cette possibilité est rapportée pour avoir une résolution légèrement inférieure et une précision moindre que les imprimantes stéréolithographiques, bien que l'impact clinique de tels désavantages n'ait jamais été prouvé. De nombreuses études confirment la précision d'un modèle plastique imprimé à l'aide d'imprimantes FDM professionnelles, avec une légère sous-estimation de la longueur et de la largeur des os. La précision des imprimantes FDM professionnelles pour ces deux critères était de 98,7% et 94,0% respectivement, comparativement à une mesure de la pièce anatomique initiale (Fitzwater *et al.* 2011).

Imprimantes 3D de bureau

En raison de la limitation des coûts, de nombreux vétérinaires se sont tournés vers une imprimante 3D de bureau, disponible dans le commerce, qui n'était pas initialement destinée à une application médicale. Des études ont donc été menées afin de mieux apprécier la fiabilité d'impression de ces imprimantes non professionnelles. Ces études ont montré une fiabilité quasi identique à des imprimantes professionnelles, et surtout une fiabilité élevée en ce qui concerne toute la chaîne de production d'un modèle d'os plastique en partant de l'os initial. Malgré des différences de l'ordre de quelques millimètres, ce système de modélisation et d'impression 3D a été jugé acceptable pour une utilisation clinique en médecine vétérinaire (Cone *et al.* 2017 ; Fitzwater *et al.* 2011).

Autoclavage

Enfin, plusieurs études réalisées en médecine humaine se sont conclues par différents points de vue concernant l'autoclavage des modèles plastiques imprimés par la technique de FDM. Certains ont suggéré que les modèles produits via cette méthode ne pouvaient pas supporter les procédures d'autoclavage mais d'autres ont suggéré que les modèles en PLA devaient subir des investigations supplémentaires (Hoang *et al.* 2016 ; Tack *et al.* 2016 ; Yu *et al.* 2015). Une étude personnelle a permis de montrer que le passage en autoclave de modèles plastiques imprimés en PLA n'impactait pas la forme de ceux-ci, rendant ainsi leur utilisation possible durant une intervention chirurgicale (Boursier *et al.* 2018). Cet impact n'a pas pu être significatif, puisque par définition absent. L'étude a été réalisée en objectivant autant la forme que les dimensions, notamment la longueur totale ou encore la largeur en plusieurs points du modèle. Actuellement, l'impression d'un modèle 3D peut être intégrée dans la démarche diagnostique et tend à devenir un outil supplémentaire à part entière en médecine vétérinaire, comme en médecine humaine. Parmi toutes les utilisations possibles de l'impression 3D, plusieurs indications principales existent en chirurgie vétérinaire.

PRINCIPALES INDICATIONS EN CHIRURGIE VÉTÉRINAIRE

Planification chirurgicale

En pratique vétérinaire, la planification chirurgicale est habituellement couramment réalisée à l'aide d'un support radiographique bidimensionnel, notamment en chirurgie orthopédique, où la radiographie de face et de profil d'un membre reste l'examen le plus simple à réaliser. Ces dernières années, les progrès de la reconstruction 3D ont fourni les outils nécessaires à une planification chirurgicale virtuelle sur ordinateur et l'impression 3D était considérée comme la prochaine étape. Cette technologie est longtemps restée inaccessible autant financièrement que d'un point de vue pratique. La modélisation tridimensionnelle (Figure 1) a récemment été adoptée en chirurgie vétérinaire, où une telle technique améliore la préparation du chirurgien en permettant une simulation aisée des procédures et une meilleure compréhension du cas à traiter (Chana-Rodriguez *et al.* 2016 ; Fadero & Shah 2014). En chirurgie orthopédique notamment, les modèles imprimés en 3D améliorent l'appréciation de la morphologie osseuse, la planification plus précise et plus facile du contournement de la plaque et la compréhension des fractures (Chana-Rodriguez *et al.* 2016 ; Fadero & Shah 2014). Compte tenu de tous ces avantages, les modèles 3D ont permis de réduire à la fois le temps chirurgical et la difficulté de prise en charge, réduisant ainsi considérablement les risques de complications opératoires (Chana-Rodriguez *et al.* 2016 ; Fadero & Shah 2014 ; Hespel *et al.* 2014).

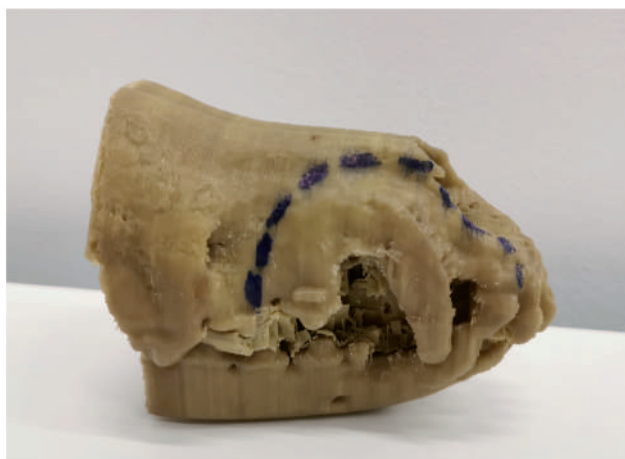


Figure 1 : Photographie latérale droite de la portion rostrale d'une mâchoire (os maxillaire et os mandibulaire notamment) de chien imprimée en 3D. L'intérêt est double : repérer la zone osseuse maxillaire à retirer par le chirurgien, et expliquer au propriétaire l'intervention chirurgicale afin d'aider à la compréhension de la chirurgie.

En traumatologie

Tout d'abord, l'utilisation qui est certainement la plus fréquente est l'aide à la planification opératoire, notamment en traumatologie. Dans cette démarche, l'utilisation de l'impression 3D lors de fracture d'un os long est toujours une aide précieuse pour mieux comprendre le type de fracture, donc mieux appréhender son traitement chirurgical. L'impression d'un modèle plastique de l'os fracturé n'a que peu d'intérêt en dehors de cette indication. Dans ce contexte particulier, l'intérêt majeur réside dans l'impression d'un modèle en miroir de l'os controlatéral non fracturé, permettant d'obtenir par extrapolation, l'anatomie exacte attendue de l'os fracturé. Ce modèle plastique peut alors être utilisé avant l'intervention afin d'anticiper le contournement d'un implant par exemple (Figures 2 et 3), ou pendant l'intervention chirurgicale après passage à l'autoclave, ce qui permettra de manipuler le modèle plastique au lieu de l'os réel du patient. La prise en charge chirurgicale des ostéotomies correctrices est une autre utilisation fréquente du prototypage et de l'impression 3D en chirurgie vétérinaire. La modélisation 3D peut être d'une aide préopératoire intéressante pour évaluer la correction dans l'espace d'anomalies multiplanaires. Le modèle plastique peut être imprimé afin de réaliser un entraînement de la procédure chirurgicale, en estimant à l'échelle 1/1 la localisation et la direction des traits de coupes nécessaires lors d'ostectomie cunéiforme par exemple. Cette nouvelle approche permet d'améliorer la prise en charge du patient, la précision du geste chirurgical et donc le résultat final. Les indications opératoires varient de l'ostectomie mandibulaire au traitement du radius curvus ou encore la correction angulaire du fémur sur une luxation de rotule par exemple (Hall *et al.* 2019 ; Winer *et al.* 2017).



Figure 2 : Photographie d'un modèle osseux imprimé en 3D et d'une plaque d'ostéosynthèse pré-contournée (fémur droit, face crâniale, plaque posée sur la face latérale du fémur). Ce modèle est issu du fémur controlatéral (fémur gauche) non fracturé sur un cas de fracture du fémur droit chez un chat. Le modèle est obtenu en retravaillant informatiquement l'image acquise de l'os sain avant l'impression. Cette méthode permet ainsi de parfaitement modeler la plaque avant l'intervention chirurgicale.

Pour créer un guide chirurgical

La modélisation 3D et l'impression plastique peuvent également être très utiles pour créer un guide chirurgical, notamment un guide de forage lorsque la mise en place d'implants chirurgicaux est risquée eu égard à la localisation anatomique, notamment lors du traitement chirurgical des fractures/luxations vertébrales, ou encore un guide de coupe lors de la réalisation d'une ostéotomie correctrice. Ces différentes indications ont déjà fait l'objet de nombreuses publications (Elford *et al.* 2020 ; Hall *et al.* 2019 ; Oxley *et al.* 2016). L'un des freins majeurs à la création de guides chirurgicaux réside dans la nécessité de créer informatiquement ledit guide, avant de pouvoir l'exporter vers l'imprimante et réaliser son impression. La création de l'objet, et sa modélisation virtuelle, nécessitent certaines compétences informatiques mais également l'acquisition de logiciels spécifiques dédiés. Néanmoins, l'utilisation de ces guides est à privilégier afin de limiter le risque d'erreur de placement d'implants, aux conséquences souvent dramatiques pour le patient. Là encore, la fiabilité de l'impression de ces pièces en plastique, ou encore leur absence de déformation après stérilisation à l'autoclave rendent leur utilisation possible pendant l'intervention chirurgicale.

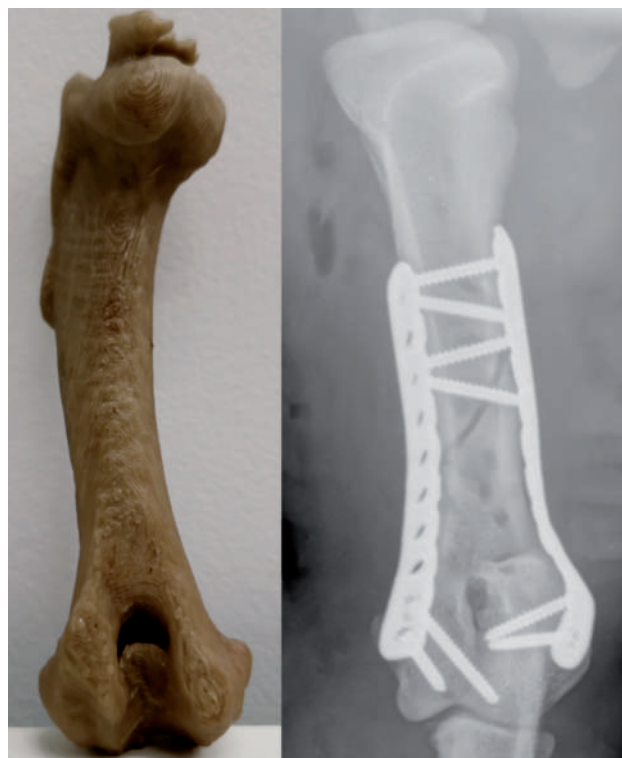


Figure 3 : Photographie caudale d'un humérus droit et radiographie post-opératoire de face d'une fracture complexe de l'humérus droit chez un chien, montrant l'intérêt du modèle plastique 3D au bloc opératoire, permettant ainsi un contournement parfait des implants, une réduction du temps chirurgical et une moindre manipulation des tissus.

Rôle pédagogique

Enfin, la modélisation et l'impression 3D en médecine vétérinaire est sans conteste un atout important dans la formation des étudiants et des confrères, ou dans l'argumentation auprès des propriétaires dont un consentement éclairé est nécessaire. Plusieurs études ont prouvé la fiabilité de la modélisation et l'impression 3D d'éléments osseux ou de pièces anatomiques (Lima *et al.* 2019 ; Marconi *et al.* 2017). Dans le domaine éducatif et de formation, l'impression 3D ne se limite d'ailleurs pas seulement à l'ostéologie puisque d'autres études ont comparé différentes méthodes de formation des étudiants vétérinaires : ouvrages de référence, modèles 3D virtuels et modèles 3D imprimés (Preece *et al.* 2013). La visualisation mais surtout la manipulation et la palpation de modèles 3D permet une meilleure compréhension de l'anatomie, et notamment chez les praticiens les moins expérimentés (Marconi *et al.* 2017). L'impression de modèles permet également de combler les désavantages de la dissection des pièces anatomiques qui est couteuse, chronophage et non réutilisable sur les mêmes pièces anatomiques. Pour certaines anomalies rares, l'impression 3D permet de pérenniser la pièce anatomique afin de favoriser un apprentissage ultérieur. L'impression d'un modèle plastique 3D permet également d'améliorer la communication auprès des propriétaires des patients, et améliore ainsi la compréhension du diagnostic et des actes réalisés (Figure 4).



Figure 4 : Photographie latérale d'un ostéochondrome acromien de la scapula gauche chez un chat permettant de mieux informer le propriétaire et surtout d'expliquer à celui-ci les possibilités thérapeutiques en fonction de la localisation de la masse.

Perspectives

Malgré le fait que beaucoup d'indications existent et sont bien décrites en chirurgie vétérinaire, souvent dérivées de leur utilisation initiale en médecine humaine, de nombreuses autres techniques sont à l'étude et pourront être utilisées à grande

échelle dans les années futures. Parmi celles-ci, l'impression en 3D d'implants au chevet du patient est une piste déjà explorée et utilisée en médecine humaine. Cette technique permet d'imprimer un implant parfaitement adapté à l'anatomie spécifique du patient auquel il est destiné, bien que son coût soit aujourd'hui le principal frein à son utilisation fréquente. La bio-impression par imprimante 3D sera également, à n'en pas douter, une technique d'avenir pour les thérapies régénératives avec l'utilisation de cellules souches ou les futurs greffes d'organes. Enfin, des modèles d'endoprothèses personnalisés permettant de préserver le membre du patient et son utilisation future sont déjà publiés (Timercan *et al.* 2019).

CONCLUSION

En conclusion, la production d'un modèle anatomique imprimé en plastique permet une meilleure compréhension des détails anatomiques ou de la précision des fractures. Ces modèles permettent également la planification de l'utilisation des implants ou le pré-contournement des implants. Dans ce contexte, l'impression 3D est en train de devenir un outil supplémentaire à proposer au propriétaire dans la démarche de soins en médecine vétérinaire.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à toute l'équipe de la clinique TouraineVet à Tours ainsi qu'à celle du C.H.V Pommery à Reims. Ces deux structures ont participé et participent activement à l'utilisation de la modélisation 3D dans notre pratique.

BIBLIOGRAPHIE

- Boursier JF, Fournet A, Bassanino J, Manassero M, Bedu AS, Leperlier D. Reproducibility, accuracy and effect of autoclave sterilization on a thermoplastic three-dimensional model printed by a desktop fused deposition modelling three-dimensional printer. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2018; 31(6) : 422-430.
- Chana-Rodríguez F, Mañanes R, Rojo-Manaute J, Gil P, Martínez-Gomiz J, Vaquero-Martin J. 3D surgical printing and pre contoured plates for acetabular fractures. *Injury.* 2016; 47(11): 2507-2511.
- Cohen A, Laviv A, Berman P, *et al.* Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009; 108: 661-666.
- Cone J, Martin T, Marcellin-Little D, Harrysson O, Griffith E. Accuracy and repeatability of long-bone replicas of small animals fabricated by use of low-end and high-end commercial three-dimensional printers. *Am J Vet Res.* 2017; 78(8): 900-905.
- Diment L, Thompson M, Bergmann J. Clinical efficacy and effectiveness of 3D printing : a systematic review. *BMJ open.* 2017; 7(12) : doi : 10.1136/bmjopen-2017-016891
- Elford J, Oxley B, Behr S. Accuracy of placement of pedicle screws in the thoracolumbar spine of dogs with spinal deformities with three-dimensionally printed patient-specific drill guides. *Veterinary Surgery.* 2020; 49(2): 347-353.
- Fadero P & Shah M. Three dimensional (3D) modelling and surgical planning in trauma and orthopaedics. *Surgeon.* 2014; 12(6): 328-333.
- Fitzwater K, Marcellin-Little D, Harrysson O, Osborne J, Poindexter E. Evaluation of the effect of computed tomography scan protocols and freeform fabrication methods on bone biomodel accuracy. *Am J Vet Res.* 2011; 72(9): 1178-1185.
- Hall E, Baines S, Bilmont A, Oxley B. Accuracy of patient-specific three-dimensional-printed osteotomy and reduction guides for distal femoral osteotomy in dogs with medial patella luxation. *Vet Surg.* 2019 ; 48(4): 584-591.
- Hespel A, Wilhite R, Hudson J. Invited review-applications for 3D printers in veterinary medicine. *Vet Radiol Ultrasound.* 2014; 55(4): 347-358.
- Hoang D, Perrault D, Stevanovic M, Ghiassi A. Surgical applications of three-dimensional printing : a review of the current literature & how to get started. *Ann Transl Med.* 2016; 4(23): 456.
- Lima A, Machado M, Pereira R, Carvalho Y. Printing 3D models of canine jaw fractures for teaching undergraduate veterinary medicine. *Acta Cir Bras.* 2019; 34(9): doi : [10.1590/s0102-8650201900900000006](https://doi.org/10.1590/s0102-8650201900900000006).

- Marconi S, Pugliese L, Botti M *et al.* Value of 3D printing for the comprehension of surgical anatomy. *Surgical Endoscopy*. 2017; 31(10) : 4102-4110.
- Oxley B, Behr S. Stabilisation of a cranial cervical vertebral fracture using a 3D-printed patient-specific drill guide. *Journal of Small Animal Practice*. 2016 ; 57(5) : 277-277.
- Preece D, Williams S, Lam R, Weller R. "Let's Get Physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anat Sci Educ* 2013. 6(4):216-24. doi: 10.1002/ase.1345.
- Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed eng online*. 2016; 15(1): 115.
- Timercan A, Brailovski V, Petit Y, Lussier B, Séguin B. Personalized 3D-printed endoprostheses for limb sparing in dogs : Modeling and in vitro testing. *Med Eng Phys*. 2019 ; 71: 17-29.
- Winer J, Verstraete F, Cissell D, Lucero S, Athanasiou K, Arzi B. The application of 3-dimensional printing for preoperative planning in oral and maxillofacial surgery in dogs and cats. *Vet Surg*. 2017; 46(7): 942-951.
- Yu A, Duncan J, Daurka J, Lewis A, Cobb J. A feasibility study into the use of three-dimensional printer modelling in acetabular fracture surgery. *Adv Orthop*. 2015; 2015:617046.