



HAL
open science

Utilisation de l'impression 3D avant néphrectomie partielle pour tumeur du rein

C. Michiels, A. Boulenger de Hauteclocque, J. Sarrazin, F. Cornelis, S. Ricard, M. Faessel, N. Grenier, F. Bos, J.C. Bernhard

► **To cite this version:**

C. Michiels, A. Boulenger de Hauteclocque, J. Sarrazin, F. Cornelis, S. Ricard, et al.. Utilisation de l'impression 3D avant néphrectomie partielle pour tumeur du rein. *Progrès en Urologie*, 2020, 30, pp.970 - 975. 10.1016/j.purol.2020.09.007 . hal-03493860

HAL Id: hal-03493860

<https://hal.science/hal-03493860v1>

Submitted on 7 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Page de Titre

Use of personalized 3D printed kidney models for partial nephrectomy

Utilisation de l'impression 3D avant néphrectomie partielle pour tumeur du rein.

Michiels C¹, Boulenger de Hauteclocque A¹, Sarrazin J², Cornelis F³, Ricard S^{1,5}, Faessel M², Grenier N⁴, Bos F², Bernhard JC^{1,5*}

1 : Service de chirurgie urologique et transplantation rénale, CHU Bordeaux, France

2 : Fablab et Technoshop Coh@bit, IUT, Université de Bordeaux, France

3 : Service de Radiologie et oncologie interventionnelles, CHU Tenon, France

4 : Service d'Imagerie et Radiologie interventionnelle, CHU Bordeaux, France

5 : Réseau Français de Recherche sur le Cancer du Rein UroCCR, Bordeaux, France

***Auteur correspondant** : Pr Jean-Christophe Bernhard

Service d'Urologie et Transplantation rénale, Hôpital Pellegrin, Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux, Place Amélie Raba Léon, 33076 Bordeaux, France.

Email : jcb31000@hotmail.com

Use of personalized 3D printed kidney models for partial nephrectomy

Utilisation de l'impression 3D avant néphrectomie partielle pour tumeur du rein.

Résumé :

La néphrectomie partielle est une option thérapeutique de premier choix pour la prise en charge des tumeurs rénales. Il s'agit d'une opération chirurgicale dont la complexité et les enjeux varient en fonction de l'anatomie spécifique du patient et de sa tumeur. La modélisation 3D et l'impression 3D sont devenus un moyen de représenter et donc de visualiser la lésion tumorale ainsi que ses rapports anatomiques au sein de l'organe. Ce mode de visualisation permet au chirurgien et à son équipe mais également au patient, de se rendre compte aisément de la complexité tumorale, de la difficulté prévisible de la chirurgie et donc des risques de complications. Diverses publications ont rapporté le bénéfice pour le patient, en termes d'éducation pré-thérapeutique. Certaines ont montré un bénéfice pour l'opérateur en termes de planification chirurgicale. Enfin, des études portant sur la simulation chirurgicale préopératoire montraient des temps de tumorectomie rénale plus courts et moins de saignement quand les chirurgiens avaient pu s'entraîner avant l'opération sur le modèle imprimé en 3D correspondant. L'impression 3D représente donc un outil innovant qui permettrait d'améliorer la prise en charge du patient avant néphrectomie partielle, à travers l'information qu'elle permet de délivrer, mais également par le biais de la simulation chirurgicale.

Key words : impression3D, rein, modélisation, néphrectomie

Introduction :

La néphrectomie partielle est l'option thérapeutique principale de prise en charge des tumeurs du rein. Cette intervention présente 2 objectifs pouvant au premier regard paraître difficilement conciliables : parvenir à l'exérèse complète d'une tumeur tout en préservant au mieux l'anatomie et la fonctionnalité de l'organe. Selon les caractéristiques de la tumeur (localisation, taille, profondeur d'implantation...) mais aussi l'anatomie du rein lui-même (conformation des arborisations artérielles et veineuses ainsi que du système collecteur), l'approche technique et les risques de complications per et post-opératoires varient. Le principe même de cette chirurgie et la variabilité des situations rencontrées lui confèrent son caractère technique. Une parfaite compréhension de l'anatomie rénale et tumorale du patient est indispensable pour en optimiser le déroulé et les résultats. Cette compréhension passe par l'acquisition et l'exploitation d'une imagerie pré-opératoire de qualité. Un scanner comportant une séquence sans injection et trois séquences après injection (artérielle, portale, urinaire) permet une analyse multiplanaire. Néanmoins, pour l'opérateur et plus encore pour le patient ou l'équipe paramédicale, visualiser et comprendre l'anatomie 3D à partir du défilement de coupes en 2D nécessite expérience et un travail difficile de reconstruction mentale. La capacité de reconstruction mentale en une seule représentation tridimensionnelle est par ailleurs limitée par la complexité et le nombre des informations à intégrer (nombres de phases de la tomographie, niveaux de précision des arborisations artérielles et veineuses, anatomie des cavités collectrices, caractéristiques tumorales et du parenchyme sain...).

Le chirurgien doit donc être en mesure d'assimiler cette reconstruction anatomique mentale au bénéfice de sa planification opératoire. Il doit transmettre ces informations à son patient lorsqu'il lui propose une prise en charge thérapeutique par néphrectomie partielle. Il doit également communiquer avec son équipe sur la complexité attendue de l'intervention pour une préparation optimale.

La modélisation en 3D puis l'impression 3D, à partir du scanner, permettent de représenter à travers un seul objet, la complexité des rapports anatomiques entre la tumeur du patient et les structures rénales saines.

L'objectif de cette revue était donc d'analyser les différentes publications rapportant l'utilisation de l'impression 3D avant néphrectomie partielle.

Information patient

Lorsqu'on doit proposer une prise en charge chirurgicale pour une tumeur rénale à un patient, il faut tout d'abord lui présenter des notions de physiologie et d'anatomie rénale. Il faut ensuite lui livrer l'interprétation anatomique tumorale propre à sa situation tirée de la lecture de son imagerie en coupes. Pour cela, le chirurgien peut s'aider de schémas, et de coupes tirées du scanner mais dont la compréhension par le patient reste souvent difficile.

Bernhard et al.(1) ont analysé l'apport de l'utilisation d'un modèle imprimé en 3D spécifique au patient, issu de son scanner, sur la qualité de l'information délivrée au patient. Ils ont donc pu montrer, sur 7 patients, une amélioration significative de leurs connaissances sur l'anatomie, leur tumeur, et les enjeux de la chirurgie proposée avec le modèle 3D qui leur était présenté (Figure 1). Cette impression 3D permet de passer d'une communication agrémentée de coupes de scanner ou de schémas à une communication complète, réaliste et interactive (Figure 2).

Wake et al.(2) ont conduit une étude similaire, sur un plus grand nombre de patients mais en mélangeant des patients pris en charge par néphrectomie partielle et des patients pris en charge par prostatectomie totale. Ces derniers bénéficiaient évidemment d'un modèle imprimé en 3D de leur prostate avec leur lésion cancéreuse, ainsi que les bandelettes neuro-vasculaires. Les 200 patients

(cancer du rein et cancer de prostate confondus) bénéficiaient d'une consultation préopératoire avec explications et imagerie seule, puis une nouvelle consultation, mais cette fois-ci avec le modèle imprimé en 3D. Ils remplissaient un questionnaire après la première et après la deuxième consultation. Le modèle imprimé en 3D leur permettait de mieux comprendre leur pathologie, la taille et la localisation de leur lésion cancéreuse ainsi que la prise en charge chirurgicale proposée. Ils présentaient une meilleure adhésion au plan de soins grâce au modèle imprimé en 3D.

Cette équipe a également comparé, à l'aide d'un questionnaire, le bénéfice relatif pour le patient du modèle imprimé en 3D, d'une modélisation 3D visualisée sur écran d'ordinateur et d'une modélisation 3D visualisée en réalité virtuelle. Le modèle imprimé en 3D permettait d'obtenir la meilleure adhésion au plan de soins.

Planification opératoire

La néphrectomie partielle est une intervention chirurgicale complexe qui nécessite une grande technicité. La planification opératoire est cruciale pour cette intervention. Elle se fait jusqu'à présent à travers un travail de reconstruction mentale en 3D à partir d'une imagerie en coupes de qualité avec des temps d'injection différents et avec des coupes visualisées dans différents plans de l'espace. C'est ce travail de visualisation et de reconstruction mentale qui permet au chirurgien d'appréhender la complexité des rapports anatomiques spécifiques du cas en question, entre le pédicule artériel rénal, les voies urinaires, le parenchyme sain, et la tumeur. Un modèle imprimé en 3D qui représente toutes ces structures permet donc au chirurgien qui peut le tenir en main avant et pendant l'intervention d'apprécier en un seul coup d'œil ces structures et ces rapports anatomiques. Il s'affranchit ainsi du travail de reconstruction mentale et il a à sa disposition toutes les informations nécessaires à sa planification opératoire(3).

Certains auteurs parlent ainsi de navigation chirurgicale permise par ce modèle imprimé en 3D(3). Wake et al. ont montré que des chirurgiens, même expérimentés, pouvaient avoir du mal à localiser précisément une tumeur sur un rein à partir d'une imagerie en coupe du rein tumoral et ont évalué l'apport d'un modèle modélisé et imprimé en 3D comparativement à la reconstruction mentale (4). Le modèle imprimé en 3D permettait d'adopter la stratégie chirurgicale la mieux adaptée à la situation tumorale du patient. Les mêmes auteurs avaient déjà montré que la stratégie opératoire variait dans 30 à 50% des cas en fonction du mode de planification opératoire utilisée : visualisation du scanner ou de l'IRM en coupes versus une planification opératoire réalisée à l'aide d'un modèle imprimé en 3D (5).

Ces modèles imprimés en 3D qui améliorent l'appréhension des rapports anatomiques rénaux et tumoraux sont un vecteur d'information physique. Utilisés comme on l'a vu pour l'éducation pré-thérapeutique du patient, ils ont également des vertus pédagogiques rapportées par Knoedler et al. pour la transmission de la stratégie opératoire entre chirurgiens sénior et junior (6).

Simulation chirurgicale

L'utilisation de matériaux souples biomimétiques (mélanges de silicone, par exemple) pour l'impression du modèle rénal tumoral 3D ouvre le champ de la simulation procédurale physique. Il s'agit de simuler l'intervention chirurgicale du patient avant la réalisation de la procédure réelle. Cela permet aussi d'enseigner la technique chirurgicale de néphrectomie partielle aux jeunes chirurgiens sur des modèles de simulation non « patient-spécifiques » (7). Pour arriver à un matériau dont les propriétés biomécaniques sont proches de celles du rein, on doit en fait jusqu'à présent imprimer en 3D un moule du rein tumoral et on coule alors dans ce moule un hydrogel ou gel balistique pour fabriquer la réplique du rein tumoral en 3D (Figure 3). C'est ce que Melnyk et al. ont fait en validant

que les propriétés biomécaniques de leur rein étaient proches de celles d'un rein porcine(8). Ils ont ainsi créé et validé ce modèle de simulation de néphrectomie partielle pour l'enseignement et la répétition de l'acte avant la vraie chirurgie.

Trois études ont étudié l'impact de la simulation de la néphrectomie partielle sur un modèle imprimé en 3D (ou réalisé à l'aide d'un moule imprimé en 3D) avant de réaliser la chirurgie pour le patient (7,9,10). Ces trois études montraient une facilitation de la chirurgie, moins de temps de clampage, et moins de saignement, même s'il s'agissait d'études de faisabilité, avec peu de patients et non d'études comparatives randomisées.

Fidélité anatomique

Le prérequis indispensable pour pouvoir utiliser l'impression 3D en pratique clinique et en particulier pour la planification opératoire, est de s'assurer de la fidélité anatomique des modèles imprimés en 3D. Il n'existe à l'heure actuelle aucune recommandation ou norme concernant la validité et l'utilisation clinique de ces modèles. Passer de l'imagerie préopératoire du patient au modèle imprimé en 3D nécessite une chaîne de plusieurs étapes complexes (segmentation de l'imagerie, modélisation virtuelle, transfert en fichier imprimable, adaptation technique des volumes à imprimer, impression, retrait du matériau support et polissage). Contrôler et s'assurer de la fidélité anatomique des modèles réalisés in fine est indispensable. C'est le cas dans l'étude de von Rundstedt et al.(10) et de Wake et al.(5) qui montrent une bonne fidélité anatomique des modèles utilisés. Von Rundstedt et al. ont évalué une bonne concordance entre les contours de la tumeur réséquée et ceux de la tumeur modélisée en 3D. Wake et al. ont comparé les mesures tumorales réalisées sur le scanner avec celles effectuées avec un pied à coulisse sur le modèle imprimé en 3D. Michiels et al. ont également montré une bonne fidélité anatomique des modèles imprimés en 3D utilisés pour planification opératoire avant néphrectomie partielle(11). Ils l'ont fait en repassant les modèles imprimés en 3D au scanner et en choisissant 3 mesures par modèle à comparer en plus du volume tumoral. La comparaison s'est donc faite coupe à coupe, entre celles du scanner initial du patient et celles du scanner du modèle imprimé en 3D. Cependant, chaque équipe susceptible de produire des modèles imprimés en 3D ont leur propre procédé de modélisation et d'impression ou fabrication sans standardisation.

Coûts

Tous ces procédés de fabrication de modèles imprimés en 3D sont plus ou moins complexes, mais ils ont tous un coût certain. Les coûts rapportés par les publications précitées varient entre 150 et 1000 \$, sans compter l'investissement d'achat de l'imprimante 3D. La fabrication de moules permet de produire autant de modèles moulés qu'on le souhaite (et non plus imprimés) pour un coût négligeable (3,90 \$) si on ne compte pas la fabrication du moule(12). Il s'agit-là de modèles utilisés pour l'enseignement de la technique chirurgicale par simulation.

Conclusion

La néphrectomie partielle est l'intervention urologique pour laquelle il y a le plus de publications en rapport avec l'impression 3D(13). C'est sans doute pour cette procédure, du fait de ses caractéristiques, de sa complexité et de sa variabilité, que l'impression 3D a le plus à apporter en urologie. L'utilisation de modèles imprimés en 3D permet donc d'apporter au patient une information la plus complète et la plus accessible possible sur sa pathologie et la prise en charge thérapeutique proposée. Elle permet ensuite d'enseigner aux jeunes chirurgiens ou aux étudiants en médecine l'anatomie et la planification opératoire. Elle permet au chirurgien de réaliser une

planification opératoire plus fiable et plus rapide. Enfin, lorsque le procédé d'impression 3D est adapté, à travers notamment l'utilisation de moules et de d'hydrogel, le chirurgien peut simuler la néphrectomie partielle d'un patient la veille de l'intervention sur un modèle imprimé en 3D dont la fidélité anatomique et biomécanique a été vérifiée. Des essais cliniques prospectifs randomisés sont nécessaires afin de mesurer le réel bénéfice de l'utilisation de ces modèles imprimés en 3D et de le rapporter au coût que cela génère.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts

Bibliographie

1. Bernhard J-C, Isotani S, Matsugasumi T, Duddalwar V, Hung AJ, Suer E, et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. *World J Urol.* 2016 Mar;34(3):337–45.
2. Wake N, Rosenkrantz AB, Huang R, Park KU, Wysock JS, Taneja SS, et al. Patient-specific 3D printed and augmented reality kidney and prostate cancer models: impact on patient education. *3D Print Med.* 2019 Feb 19;5(1):4.
3. Komai Y, Sugimoto M, Gotohda N, Matsubara N, Kobayashi T, Sakai Y, et al. Patient-specific 3-dimensional Printed Kidney Designed for '4D' Surgical Navigation: A Novel Aid to Facilitate Minimally Invasive Off-clamp Partial Nephrectomy in Complex Tumor Cases. *Urology.* 2016;91:226–33.
4. Wake N, Wysock JS, Bjurlin MA, Chandarana H, Huang WC. 'Pin the Tumor on the Kidney:' An Evaluation of How Surgeons Translate CT and MRI Data to 3D Models. *Urology.* 2019 Sep;131:255–61.
5. Wake N, Rude T, Kang SK, Stifelman MD, Borin JF, Sodickson DK, et al. 3D printed renal cancer models derived from MRI data: application in pre-surgical planning. *Abdom Radiol.* 2017 May;42(5):1501–9.
6. Knoedler M, Feibus AH, Lange A, Maddox MM, Ledet E, Thomas R, et al. Individualized Physical 3-dimensional Kidney Tumor Models Constructed From 3-dimensional Printers Result in Improved Trainee Anatomic Understanding. *Urology.* 2015 Jun;85(6):1257–62.
7. Maddox MM, Feibus A, Liu J, Wang J, Thomas R, Silberstein JL. 3D-printed soft-tissue physical models of renal malignancies for individualized surgical simulation: a feasibility study. *J Robot Surg.* 2018 Mar;12(1):27-33
8. Melnyk R, Ezzat B, Belfast E, Saba P, Farooq S, Campbell T, et al. Mechanical and functional validation of a perfused, robot-assisted partial nephrectomy simulation platform using a combination of 3D printing and hydrogel casting. *World J Urol.* 2020 Jul;38(7):1631-1641
9. Golab A, Smektala T, Kaczmarek K, Stamirowski R, Hrab M, Slojewski M. Laparoscopic Partial Nephrectomy Supported by Training Involving Personalized Silicone Replica Poured in Three-Dimensional Printed Casting Mold. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2017 Apr;27(4):420–2.
10. von Rundstedt F-C, Scovell JM, Agrawal S, Zaneveld J, Link RE. Utility of patient-specific silicone renal models for planning and rehearsal of complex tumour resections prior to robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy. *BJU Int.* 2017 Apr;119(4):598–604.
11. Michiels C, Jambon E, Bernhard JC. Measurement of the Accuracy of 3D-Printed Medical Models to Be Used for Robot-Assisted Partial Nephrectomy. *AJR Am J Roentgenol.* 2019;213(3):626–31.
12. Monda SM, Weese JR, Anderson BG, Vetter JM, Venkatesh R, Du K, et al. Development and Validity of a Silicone Renal Tumor Model for Robotic Partial Nephrectomy Training. *Urology.* 2018 Apr;114:114–20.
13. Cacciamani GE, Okhunov Z, Meneses AD, Rodriguez-Socarras ME, Rivas JG, Porpiglia F, et al. Impact of Three-dimensional Printing in Urology: State of the Art and Future Perspectives. A Systematic Review by ESUT-YAUWP Group. *Eur Urol.* 2019 Aug;76(2):209–21.

Légende des figures – 3DPrint

Figure 1 : Exemple de cas de lésion rénale tumorale : 3 coupes de TDM avec le modèle imprimé en 3D correspondant, visualisé avec le même axe de coupe que l'image de scanner au-dessus.

Tirée de « Bernhard J-C, Isotani S, Matsugasumi T, et al (2016) Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. World J Urol 34:337–345. <https://doi.org/10.1007/s00345-015-1632-2>»

Figure 2 : Evolution des outils de la communication soignant-soigné avant Néphrectomie Partielle.

Figure 3 : a. Segmentation du rein à partir du scanner du patient ; b. Modélisation 3D de l'anatomie rénale du patient ; c. Moules d'injection ; d. inclusion des structures hilaires dans le moule d'injection ; e. simulateur de néphrectomie partielle ; f. simulation grandeur nature de la néphrectomie partielle, au bloc opératoire avec le robot chirurgical Da Vinci® (*Intuitive Surgical*)

Tirée de Melnyk R, Ezzat B, Belfast E, et al (2019) Mechanical and functional validation of a perfused, robot-assisted partial nephrectomy simulation platform using a combination of 3D printing and hydrogel casting. World J Urol. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-02989-z>

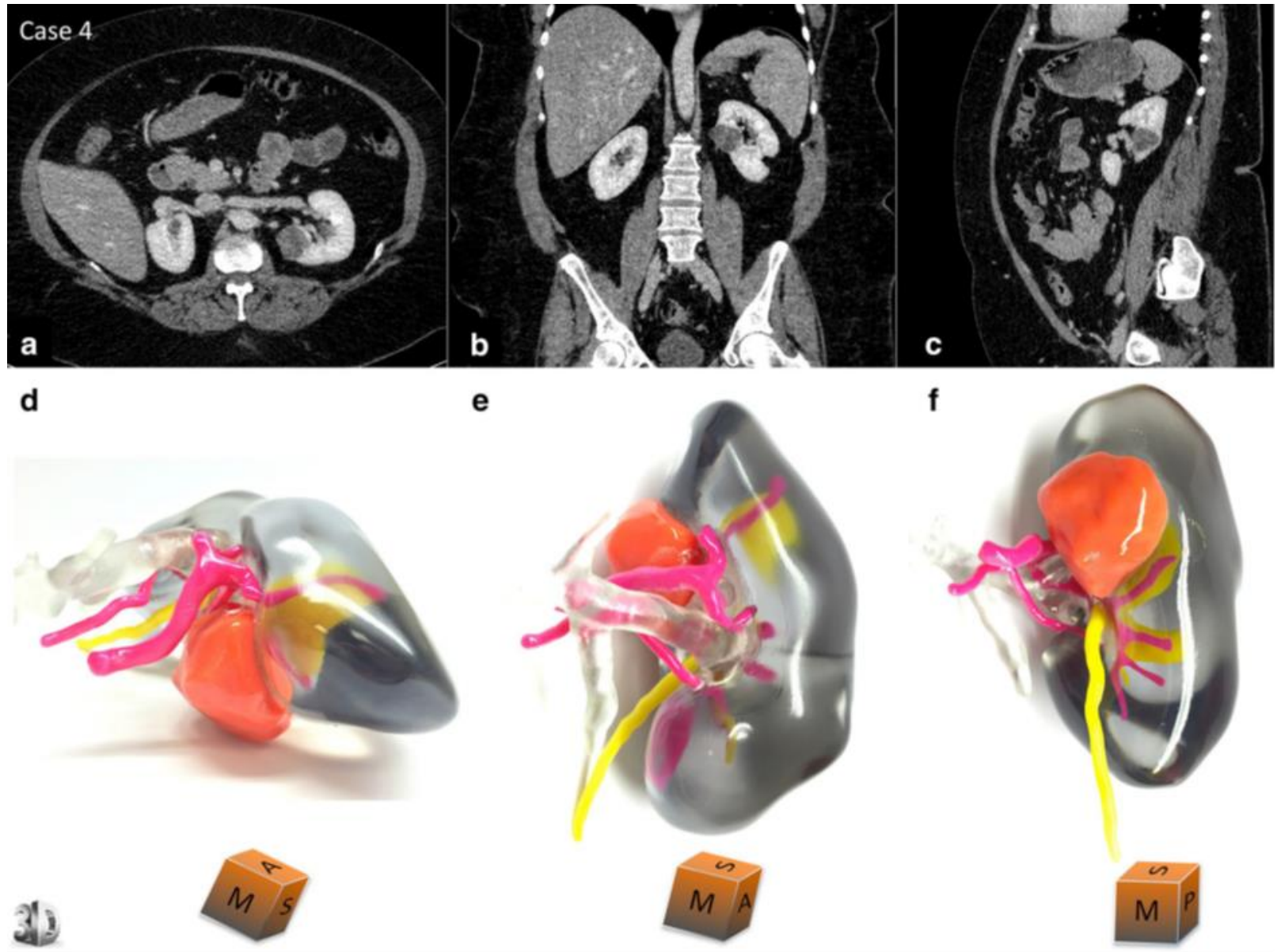


Figure 1

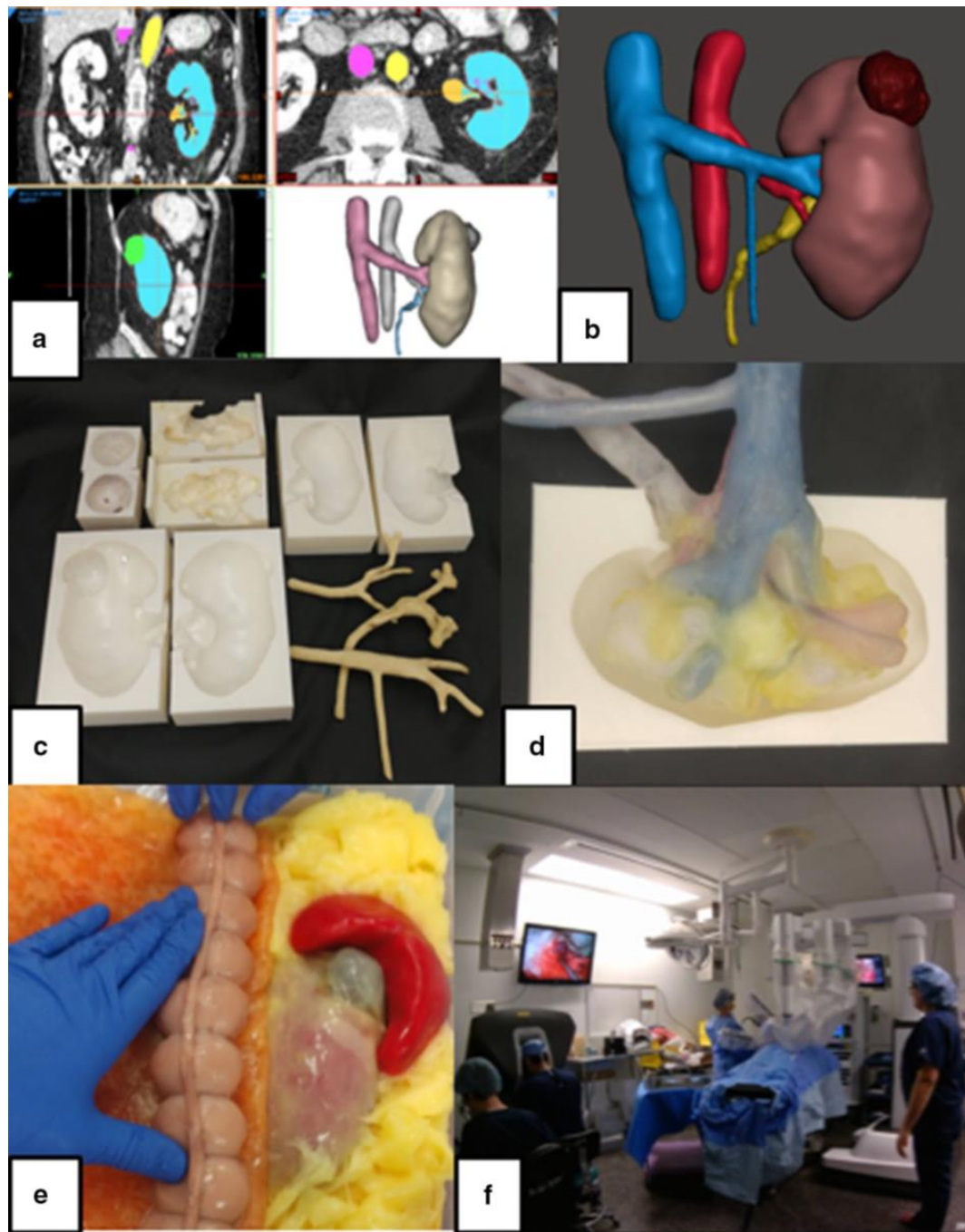


Figure 3

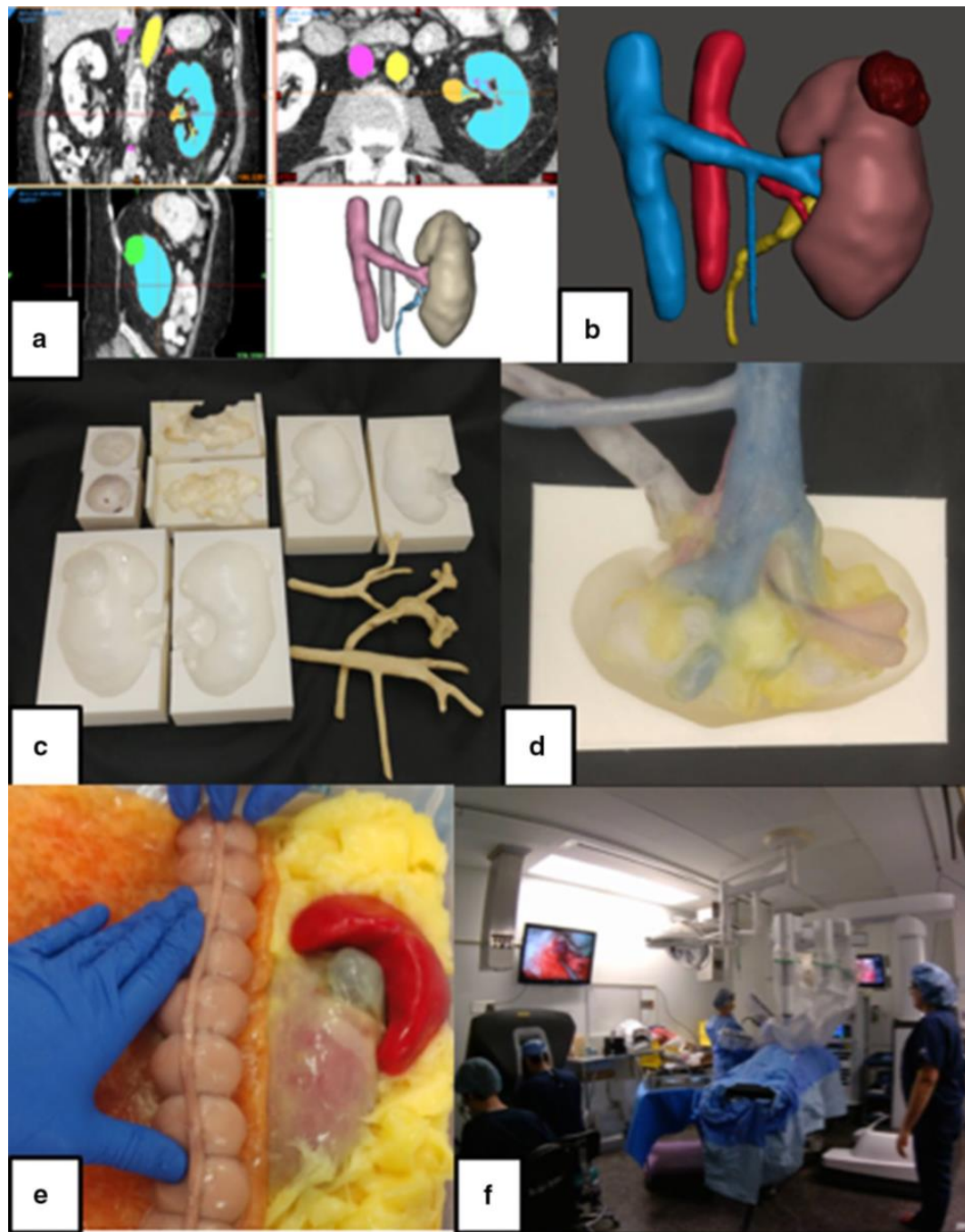


Figure 3