

L'apport de l'intelligence artificielle dans la chirurgie oncologique

Gilles Dolivet MD PhD, Neyla Berrada, Sophie Cortese, MD MSc, Romina Mastronicola MD, PhD, Emilie Beulque MD, MSc et Léa Leufflen MD, MSc

Département de Chirurgie Oncologique et du Parcours des tumeurs de la tête et du Cou
HDR CNRS-UMR 7039 CRAN
Université de Lorraine

Introduction

Les chirurgiens, et les chirurgiens oncologues en particulier, ont vu apparaître progressivement dans leur environnement professionnel de multiples instruments et pratiques liés à l'intelligence artificielle.

Si on considère les publications scientifiques indexées répondant aux termes « *oncologic surgery AND artificial intelligence* », leur nombre est de l'ordre de 1200 et se répartissent dans de multiples sujets, démontrant ainsi le foisonnement de la recherche dans la discipline. Deux domaines en particulier ont rapidement évolué, concernant d'une part les matériels utilisés au bloc opératoire, et d'autre part les outils prédictifs concernant les résultats des actes chirurgicaux, tant en termes d'opérabilité, de succès carcinologique que de risque de complications. Dans le cas du matériel utilisable en peropératoire, l'intelligence artificielle est liée à des systèmes de détection le plus souvent par imagerie et à l'interprétation du signal par un algorithme proposant des solutions techniques à l'opérateur. Dans le cas des outils prédictifs, ceux-ci sont basés sur l'analyse de grandes séries de cas de patients (*deep learning*) prenant en compte une multitude de facteurs et aboutissant à encore à des algorithmes interprétatifs pouvant prédire les chances de succès d'une intervention.

Instrumentation

Si l'on considère l'instrumentation utilisée en peropératoire, plusieurs étapes ont conduit progressivement les chirurgiens à utiliser du matériel de plus en plus sophistiqué, passant de l'ère des instruments chirurgicaux traditionnels à l'instrumentation assistée par ordinateur, puis à celle de la réalité augmentée, et enfin à celle de l'intelligence artificielle.

Dans la plupart des cas, mais non exclusivement, il s'agit d'imagerie peropératoire permettant progressivement de discerner les tissus sains des tissus tumoraux ou grâce à des systèmes de navigation, de pouvoir opérer avec des instruments navigués dans des zones anatomiques complexes (neuronavigation) par des voies mini-invasives au sein d'organes nobles à épargner, le tout en temps réel [1, 2].

Des évolutions récentes ont permis de mettre en évidence des différences significatives de fluorescence entre les zones tumorales et la muqueuse saine dans les carcinomes épidermoïdes des voies aérodigestives supérieures [3,4]. Si on considère cet exemple, il s'agit là de réalité augmentée, le passage à l'intelligence artificielle étant d'obtenir en temps réel une interprétation du sens de ces images grâce à un algorithme ; l'accumulation de multiples cas dans une banque de données permettra de rendre fiable cette interprétation et de réaliser le geste de façon sûre, voire de l'automatiser.

Actuellement, les biologistes spécialisés dans le domaine de la détection des cellules tumorales sont capables en laboratoire d'identifier des cellules fluorescentes sous forme d'un amas de 50 μm jusqu'à une profondeur d'une dizaine de millimètres [5], ce qui laisse à penser qu'une chirurgie de plus en plus précise pourra, dans les années à venir, avoir cet ordre de précision ou plus, si l'on considère des évolutions techniques comme le cytophone, instrument permettant la détection et l'élimination par laser de cellules circulantes en temps réel [6]. Actuellement, les systèmes de visualisation comprennent des écrans de plus en plus sophistiqués, avec éventuellement la vision en 3D déjà utilisée dans les robots chirurgicaux, l'objectif affiché de plusieurs équipes de recherche étant de passer rapidement aux lunettes de visualisation en réalité augmentée comme cela a déjà été tenté par plusieurs équipes [7,8].

D'autres instruments, moins sophistiqués, sont déjà utilisés chirurgicalement comme la coagulation pilotée par ordinateur, les neurodétecteurs, les caméras de fluorescence dont les pré réglages optimisent la visualisation des tissus fluorescents. Une liste exhaustive de l'ensemble de ces matériels utilisés en chirurgie oncologique est difficile à établir dans la mesure où de nouvelles technologies apparaissent tous les jours, ayant toujours le même objectif : l'aide à la décision en augmentant l'information fournie au chirurgien pour la réalisation de son acte d'exérèse carcinologique la moins traumatisante possible.

Deep learning

Parallèlement à l'utilisation de la réalité augmentée combinée à l'intelligence artificielle en peropératoire, des algorithmes de décision basés sur l'accumulation de données de milliers de patients permettent d'offrir des instruments prédictifs préopératoires [9,10], voire peropératoires quant aux probabilités de succès ou de risques de complications du geste envisagé [11-14]. À ces données prédictives préopératoires viendront par la suite s'agréger des données en temps réel interprétées sur la base de capteurs, spécifiques ou non, mis en place comme il en existe déjà dans la chirurgie actuelle (pression artérielle, pression d'oxygène, activité cérébrale, température corporelle, glycémie, hématoците) ou à venir (détection de cellules tumorales circulantes) [14]. Ces données en temps réel pourraient permettre une prise de décision du type association d'un traitement médical en peropératoire [15,16].

Implication quant à la conception des blocs opératoires de chirurgie oncologique.

Ces quelques exemples illustrant l'évolution de l'utilisation de l'intelligence artificielle en chirurgie oncologique ne sont pas sans conséquences quant à

l'avenir des blocs opératoires spécialisés en chirurgie oncologique.

Ainsi, par-delà l'ensemble des contraintes liées à l'organisation du parcours des patients dans la prise en charge chirurgicale, ces évolutions nous obligent à revoir complètement la conception technique de ces blocs en y intégrant dès le départ des moyens informatiques très puissants permettant l'utilisation simultanée de l'ensemble des moyens mis en œuvre.

La philosophie à la base de la chirurgie oncologique assistée par l'intelligence artificielle n'est bien sûr pas l'usage d'un instrument unique, mais la combinaison de l'ensemble des moyens évoqués plus haut [17]. Cela implique aussi, et c'est un point de très grande importance, l'acceptation de l'arrivée de nouveaux métiers dans ce type de bloc opératoire.

Au total, le grand défi de l'arrivée de l'intelligence artificielle dans la chirurgie oncologique est celui de la vision globale de ce nouveau champ de connaissance dans la conception de l'outil très complexe que sera à terme un bloc opératoire de chirurgie oncologique.

Définitions

Chirurgie assistée par ordinateur : utilisation de l'outil informatique dans le but d'aider le chirurgien à planifier à réaliser un geste chirurgical.

Réalité augmentée : cela consiste à superposer une image de synthèse à une image réelle. Les images de synthèse sont obtenues par des techniques d'imagerie traditionnelle puis traitées par des logiciels. Dans le domaine médical, la réalité augmentée est utilisée dans un but soit d'apprentissage (par exemple de l'anatomie), soit d'entraînement à des techniques médicales, soit en pré- ou en peropératoire. En chirurgie, elle permet d'aider le chirurgien dans son diagnostic et de planifier le futur geste chirurgical, de l'aider au choix de la stratégie opératoire et d'optimiser le cheminement des outils durant l'intervention. Elle est une aide à la réalisation du geste chirurgical. A cela s'ajoute la possibilité de réaliser des interventions à distance, notamment avec le développement de la chirurgie robotique [8].

Bibliographie :

1. Gangloff P, Mastronicola R, Cortese S, Phulpin B, Sergeant C, Guillemin F, et al. Navigation in head and neck oncological surgery: an emerging concept. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)*. 2011;132(4-5):203-7.
2. Goyal H, Mann R, Gandhi Z, Perisetti A, Ali A, Aman Ali K, et al. Scope of Artificial Intelligence in Screening and Diagnosis of Colorectal Cancer. *J Clin Med*. 2020;9(10) 9(10):3313.
3. Cortese S, Kerrien E, Yakavets I, Meilender R, Mastronicola R, Renard S, et al. ICG-induced NIR fluorescence mapping in patients with head & neck tumors after the previous radiotherapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. sept 2020;31:101838.
4. Egloff-Juras C, Bezdetsnaya L, Dolivet G, Lassalle H-P. NIR fluorescence-guided tumor surgery: new strategies for the use of indocyanine green. *Int J Nanomedicine*. 2019;14:7823-38.
5. Leufflen L, Francois A, Salleron J, Barlier C, Dolivet G, Marchal F, et al. Photodynamic diagnosis with methyl-5-aminolevulinate in squamous intraepithelial lesions of the vulva: Experimental research. *PLoS One*. 2018;13(5):e0196753.
6. In vivo liquid biopsy using Cytophone platform for photoacoustic detection of circulating tumor cells in patients with melanoma | *Science Translational Medicine* [Internet]. [cité 20 janv 2021]. Disponible sur: <https://stm.sciencemag.org/content/11/496/eaat5857.short>
7. Andras I, Mazzone E, van Leeuwen FWB, De Naeyer G, van Oosterom MN, Beato S, et al. Artificial intelligence and robotics: a combination that is changing the operating room. *World J Urol*. 2020;38(10):2359-66.
8. Chen L, Zhang F, Zhan W, Gan M, Sun L. Optimization of virtual and real registration technology based on augmented reality in a surgical navigation system. *Biomed Eng Online*. 2020;19(1):1.
9. Tighe D, Lewis-Morris T, Freitas A. Machine learning methods applied to audit of surgical outcomes after treatment for cancer of the head and neck. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2019;57(8):771-7.

10. Watson MD, Lyman WB, Passeri MJ, Murphy KJ, Sarantou JP, Iannitti DA, et al. Use of artificial intelligence deep learning to determine the malignant potential of pancreatic cystic neoplasms with preoperative computed tomography imaging. *Am Surg.* 2020;3134820953779.
11. Hyer JM, White S, Cloyd J, Dillhoff M, Tsung A, Pawlik TM, et al. Can we improve prediction of adverse surgical outcomes? Development of a surgical complexity score using a novel machine learning technique. *J Am Coll Surg.* 2020;230(1):43-52.e1.
12. Optical biopsy of head and neck cancer using hyperspectral imaging and convolutional neural networks [Internet]. [cité 20 janv 2021]. Disponible sur: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-biomedical-optics/volume-24/issue-03/036007/Optical-biopsy-of-head-and-neck-cancer-using-hyperspectral-imaging/10.1117/1.JBO.24.3.036007.full?SSO=1>
13. Melstrom LG, Rodin AS, Rossi LA, Fu P, Fong Y, Sun V. Patient generated health data and electronic health record integration in oncologic surgery: A call for artificial intelligence and machine learning. *J Surg Oncol.* 2021;123(1):52-60.
14. Laios A, Gryparis A, DeJong D, Hutson R, Theophilou G, Leach C. Predicting complete cytoreduction for advanced ovarian cancer patients using nearest-neighbor models. *J Ovarian Res.* 2020;13(1):117.
15. Mastronicola R, Berteau C, Tu Q, Cortese S, Guillet J, Phulpin B, et al. Detection of disseminated tumor cells in aspirative drains after neck dissection. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2016;273(2):465-9.
16. Shkolyar E, Jia X, Chang TC, Trivedi D, Mach KE, Meng MQ, et al. Augmented bladder tumor detection using deep learning. *Eur Urol.* 2019;76(6):714-8.
17. Maubert A, Birtwisle L, Bernard JL, Benizri E, Bereder JM. Can machine learning predict resectability of a peritoneal carcinomatosis? *Surg Oncol.* 2019;29:120-5.
18. Chinnery T, Arifin A, Tay KY, Leung A, Nichols AC, Palma DA, et al. Utilizing artificial intelligence for head and neck cancer outcomes prediction from imaging. *Can Assoc Radiol J.* 2021;72(1):73-85.