

LA QUALITÉ DES MARGES DE RÉSECTION DES TUMEURS OSSEUSES AVEC LES INSTRUMENTS SPÉCIFIQUES AU PATIENT

Robin Evrard, Thomas Schubert, Pierre-Louis Docquier

Secteur des Sciences de la Santé, Institut de Recherche Expérimentale et Clinique, *Neuro Musculo Skeletal Lab* (NMSK), UCLouvain;
Service d'orthopédie et de traumatologie de l'appareil locomoteur, Clin. Univ. St-Luc, Bruxelles

En orthopédie oncologique, les chirurgies se doivent d'être curatives. Les résections «en bloc» des tumeurs osseuses sont souvent des interventions longues, délabrantes et risquées. L'un des risques est la récurrence tumorale si toute la tumeur n'a pas été enlevée. Cette complication est extrêmement grave et met en péril le pronostic vital du patient dans les cas de tumeurs osseuses malignes. Les instruments spécifiques au patient (*patient specific instrument*, PSI), ou guides de coupe sur mesure, sont des outils qui nous aident à réduire ces risques de récurrences tumorales pratiquement à zéro. En guidant la lame de la scie du chirurgien, ces guides de coupe assurent des marges de résections saines sur tous les plans de découpe osseuse. Créés à partir d'une planification minutieuse basée sur les imageries du patient et la collaboration entre des ingénieurs et des chirurgiens, ces PSI réduisent le temps opératoire et indirectement les complications inhérentes à ce phénomène (perte de sang, risque d'infection, etc.) et le taux de récurrence locale. Les PSI permettent de planifier des marges de résection plus petites permettant de préserver des structures anatomiques autrefois sacrifiées. Ils peuvent aussi servir à découper une allogreffe de reconstruction sur mesure et diminuent alors les complications osseuses (pseudarthroses).

INTRODUCTION

Les tumeurs osseuses se rencontrent à tous les âges et dans toutes les populations.

Les tumeurs bénignes représentent la majorité de l'incidence nationale de ces pathologies. Il existe beaucoup d'entités différentes. Dans la majorité des cas, ces tumeurs bénignes seront médicalement suivies et ne feront jamais l'objet de chirurgie. Dans de rares cas, la chirurgie peut s'avérer nécessaire.

La tumeur osseuse maligne la plus fréquente est sans aucun doute la métastase osseuse, on parle alors de tumeur osseuse secondaire.

Par contre, les tumeurs malignes primaires de l'os, que l'on appelle également sarcomes osseux, sont des entités plus rares, mais caractérisées par une agressivité locale importante ainsi qu'une capacité à métastaser mettant en danger le pronostic vital des patients. Les entités les plus fréquentes sont les chondrosarcomes, les ostéosarcomes ainsi que les sarcomes d'Ewing. Ces 3 sarcomes présentent chacun des caractéristiques bien particulières qui peuvent modifier significativement leur traitement (résistance aux chimiothérapies et radiothérapies pour certains, évolution rapide pour d'autres ou encore comportement destructeur).

Le traitement incontournable de ces tumeurs osseuses malignes primaires est l'exérèse chirurgicale. Cette

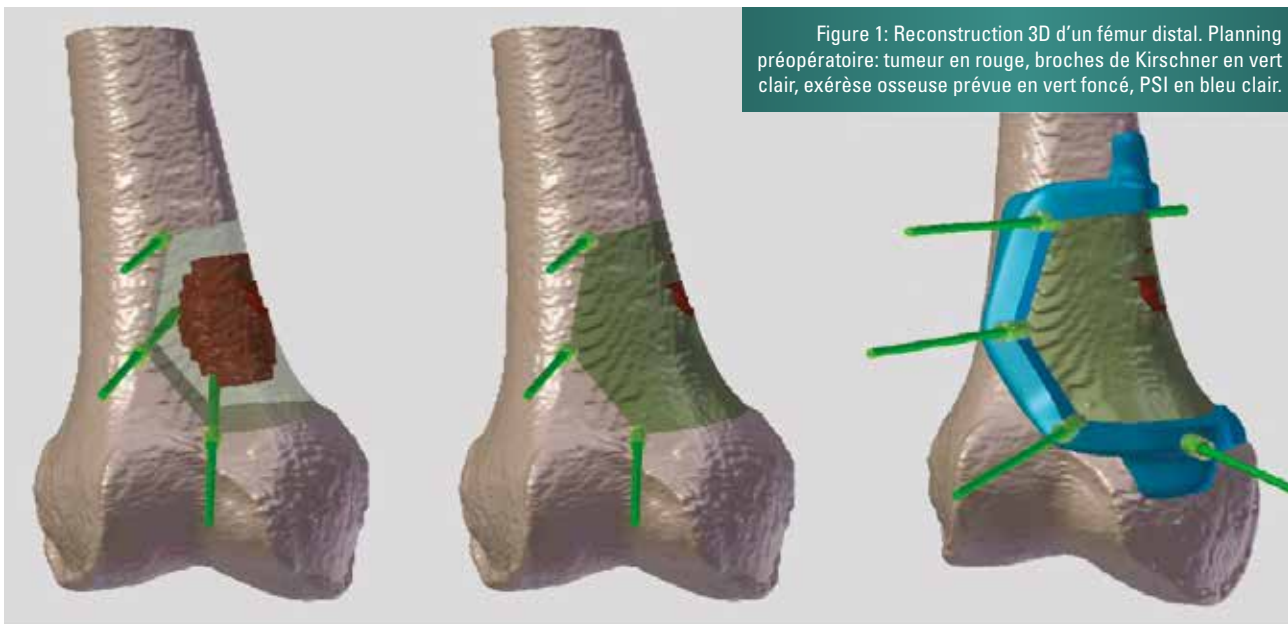


Figure 1: Reconstruction 3D d'un fémur distal. Planning préopératoire: tumeur en rouge, broches de Kirschner en vert clair, exérèse osseuse prévue en vert foncé, PSI en bleu clair.

méthode consiste à enlever la tumeur osseuse dans son entièreté, préférentiellement en un seul bloc. La pièce opératoire sera envoyée pour analyse anatomopathologique afin de vérifier que toute la tumeur a bien été enlevée. Ces opérations sont longues et difficiles, et nécessitent, en plus du temps de résection de la tumeur, un temps chirurgical de reconstruction du membre. De plus, ces chirurgies ne sont pas toujours épargnées de certaines complications post-opératoires. L'une d'entre elles, probablement la plus grave, est la récurrence tumorale.

La meilleure manière d'éviter ces récurrences tumorales est d'intervenir au bon moment et d'enlever l'entièreté de la tumeur avec une marge de tissu sain autour. Ces marges de résection sont évaluées microscopiquement par l'histologie dans les services d'anatomopathologie. Les différents plans de coupe osseuse sont examinés dans leur profondeur, et la distance entre le plan de coupe et le début de la tumeur est mesurée. Cette distance minimale définit la qualité des marges de résection, notée de la façon suivante:

- R0: résection saine;
- R1: résection marginale (moins d'1mm);
- R2: résection intra-lésionnelle.

R2 dénote donc que le plan de coupe passe à travers la tumeur, ce qui donne le plus mauvais pronostic, avec récurrence tumorale assurée: il faut réintervenir. R1 dénote un plan de coupe rasant la limite de la tumeur; c'est une marge problématique car non sécurisée. R0 dénote un plan de coupe dans des tissus sains, à distance de la tumeur.

HISTORIQUE

Par le passé, le chirurgien réalisait ses plans de coupe à main levée en examinant les imageries des patients (CT-scanner

Figure 2: Délimitation tumorale sur des images d'IRM d'un humérus proximal.



ou imagerie par résonance magnétique [IRM]). Il mesurait les marges de résection chirurgicales acceptables sur ces dernières et souvent prenait des marges de 5 à 7cm de peur de passer dans la tumeur. Malgré ceci, la planification préopératoire donnait des mesures grossières et relativement imprécises. Les marges en R1 ou R2 n'étaient pas rares. Le choix de l'amputation était fait beaucoup plus souvent.

Depuis une trentaine d'années, la technologie des guides de coupe sur mesure est de plus en plus utilisée en orthopédie. En chirurgie tumorale, la chirurgie assistée par ordinateur s'est développée depuis 20 ans et les PSI pour la résection tumorale depuis les années 2010. En fusionnant les images de scanner et d'IRM des patients, nous sommes capables de délimiter les tumeurs de manière très précise, et cela en 3 dimensions. Cette avancée, combinée à l'avènement des imprimantes 3D, nous a apporté la précision des guides de coupe sur mesure (PSI). Cet outil guide la

lame de la scie du chirurgien en se basant sur les imageries du patient (IRM et CT-scan) (**Figure 1**). Ce faisant, nous sommes capables de conserver le membre fonctionnel du patient tout en assurant un traitement curatif définitif. Ces interventions lourdes, que l'on tente jour après jour d'améliorer, rentrent dans le champ de la discipline appelée le *limb salvage surgery*, qui est la recherche du traitement curatif par excellence en conservant le membre du patient.

PROCÉDURE ACTUELLE

Aujourd'hui, le chirurgien utilise un logiciel d'imagerie pour délimiter précisément la tumeur sur toutes les images de scanner et d'IRM du patient (**Figure 2**).

Le document informatique anonymisé du patient est ensuite envoyé à une équipe d'ingénieurs qui créent virtuellement un guide de coupe unique épousant l'anatomie osseuse du patient à la perfection (**Figures 3 et 4**). La collaboration ingénieur-chirurgien est déterminante à cet instant car il faut combiner précision de l'outil, ergonomie et facilité d'utilisation pour le chirurgien.

Lorsque le modèle informatique est validé, il est imprimé par une imprimante 3D selon la technique SLS (*Selective Laser Sintering*). Dans la majorité des cas, c'est un laser qui viendra coaguler de la poudre de polyamide pour

créer les guides de coupe de forme et volume demandés en suivant le modèle informatique. Une fois imprimé, ce PSI est emballé et stérilisé et envoyé en salle d'opération. Après avoir réalisé l'abord chirurgical et la dissection, le chirurgien place alors le guide de coupe sur l'os du patient. Le guide est spécifique d'un seul endroit sur tout le relief osseux du patient (**Figure 5**). Il est stabilisé par des broches de Kirschner. Une fois fixé, une rainure ou une encoche permet d'accueillir et de guider la lame de scie afin de contrôler la découpe (l'épaisseur de la lame de scie est également prise en compte lors de la conception du PSI). Depuis la délimitation tumorale par le chirurgien jusqu'à la réception du PSI en salle d'opération, la procédure peut prendre entre 2 et 4 semaines en fonction de la complexité de l'intervention et de l'urgence de la situation.

PREUVES SCIENTIFIQUES

Aujourd'hui, nous avons le recul nécessaire pour affirmer que ces guides de coupe améliorent grandement l'efficacité du geste chirurgical sur beaucoup d'aspects cruciaux.

Premièrement, la précision chirurgicale de ces PSI a été largement étudiée dans la littérature. Il est clairement démontré que les PSI apportent une bien meilleure précision (1-7). Le temps de découpe est également réduit, ce qui fait gagner du temps en salle d'opération et ce qui signifie

Figure 3: Dimension tridimensionnelle de la tumeur et définition des marges de résection.

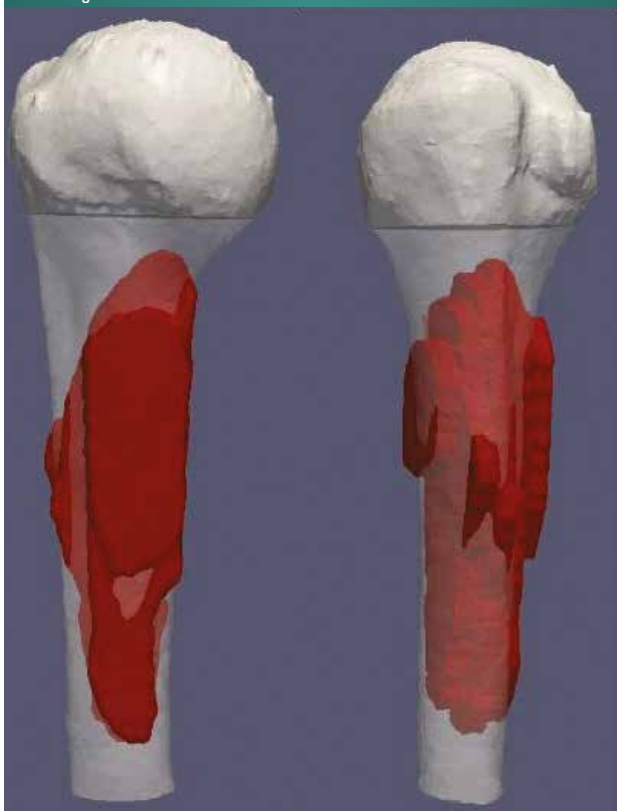
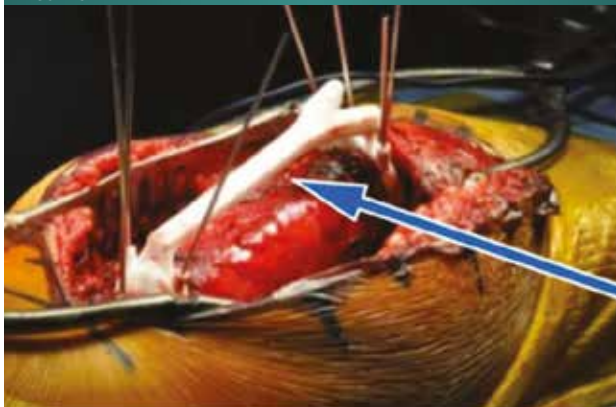


Figure 4 : Conception virtuelle du PSI respectant les marges demandées.



Figure 5 : PSI en place sur l'os du patient, fixé par des broches de Kirschner.



moins de complications générales car le temps opératoire est corrélé au temps de réhabilitation et aux complications post-opératoires (durée d'anesthésie réduite, pertes sanguines moindres, réduction du risque d'infection...).

Ensuite, des études de cohorte rétrospectives démontrent l'impact de ces guides de coupe sur la récurrence tumorale post-opératoire. Cette dernière étant la complication ciblée lorsqu'on utilise ces PSI, beaucoup d'équipes ont évalué la qualité histologique des marges de résection tumorales. Ces études se concentrent dès lors non pas sur l'amélioration du geste chirurgical, mais bien sur l'amélioration anatomopathologique et histologique des marges de résection oncologiques. Les conclusions sont, elles aussi, unanimes et démontrent une large supériorité des PSI (8-13), avec dans certains cas un taux de résection R2 à 0% ainsi qu'un taux de R0 à 100%. Ces guides de coupe sont donc bien supérieurs à la technique de l'exérèse «à main levée».

D'autres études ont démontré la fidélité de ces guides de coupe en comparant les marges de résection désirées établies lors de la planification et les marges de résection effectivement obtenues sur la pièce opératoire. Les premières sont mesurées par le chirurgien sur les imageries préopératoires du patient, les secondes sont mesurées sur les imageries de la pièce opératoire directement acquises après exérèse (12, 14, 15). Les résultats nous permettent d'augmenter notre confiance en la fiabilité de ces guides. En effet, des marges de résection qui par le passé étaient planifiées à 5cm, voire 7cm, peuvent aujourd'hui être réduites jusqu'à 5mm sans prendre le risque de résection insuffisante (R1 ou R2) tout en préservant un plus grand capital osseux.

Enfin, les PSI améliorent également la qualité de la reconstruction lors de l'utilisation d'une allogreffe osseuse (8, 16). Un PSI peut également être créé pour réaliser une découpe de l'allogreffe correspondant à l'os réséqué. On obtient alors une allogreffe parfaitement intégrée dans l'os hôte.

La surface de contact osseuse est augmentée, ce qui améliore le taux de consolidation et diminue le taux de pseudarthrose à long terme.

CONCLUSION

Les guides de coupe, ou PSI, améliorent grandement la qualité des chirurgies orthopédiques oncologiques. Les marges de résection acquises grâce aux PSI sont nettement meilleures qu'auparavant. Leur utilisation demande cependant une excellente planification. D'autres aides à la chirurgie peuvent également avoir des résultats similaires, comme la navigation.

Références

1. Bosma SE, Wong KC, Paul L, Gerbers JG, Jutte PC. A cadaveric comparative study on the surgical accuracy of freehand, computer navigation, and patient-specific instruments in joint-preserving bone tumor resections. *Sarcoma* 2018;e4065846.
2. Wong K-C, Sze K-Y, Wong I O-L, Wong C-M, Kumta S-M. Patient-specific instrument can achieve same accuracy with less resection time than navigation assistance in periacetabular pelvic tumor surgery: a cadaveric study. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2016;11:307-16.
3. Khan FA, Lipman JD, Pearle AD, Boland PJ, Healey JH. Surgical technique: computer-generated custom jigs improve accuracy of wide resection of bone tumors. *Clin Orthop* 2013;471:2007-16.
4. Jentzsch T, Vlachopoulos L, Fürnstahl P, Müller DA, Fuchs B. Tumor resection at the pelvis using three-dimensional planning and patient-specific instruments: a case series. *World J Surg Oncol* 2016;14:249.
5. Cartiaux O, Paul L, Docquier P-L, Raucant B, Dombre E, Banse X. Computer-assisted and robot-assisted technologies to improve bone-cutting accuracy when integrated with a freehand process using an oscillating saw. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92:2076-82.
6. Cartiaux O, Paul L, Francq BG, Banse X, Docquier P-L. Improved accuracy with 3D planning and patient-specific instruments during simulated pelvic bone tumor surgery. *Ann Biomed Eng* 2014;42:205-13.
7. Mustahsan VM, Helguero CG, He G, et al. 3D-printed guides in bone tumor resection: studying their error and determining a safety margin for surgery. *Orthopedics* 2022;45:169-73.
8. Bellanova L, Paul L, Docquier P-L. Surgical guides (patient-specific instruments) for pediatric tibial bone sarcoma resection and allograft reconstruction. *Sarcoma* 2013;787653.
9. Evrard R, Schubert T, Paul L, Docquier P-L. Resection margins obtained with patient-specific instruments for resecting primary pelvic bone sarcomas: a case-control study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2019;105:781-7.
10. Gouin F, Paul L, Odri GA, Cartiaux O. Computer-assisted planning and patient-specific instruments for bone tumor resection within the pelvis: a series of 11 patients. *Sarcoma* 2014;842709.
11. Malherbe C, Crutzen B, Schrooyen J, et al. Assessment of resection margins in bone tumor surgery. *Sarcoma* 2020;5289547.
12. Park JW, Kang HG, Lim KM, Park DW, Kim JH, Kim HS. Bone tumor resection guide using three-dimensional printing for limb salvage surgery. *J Surg Oncol* 2018;118:898-905.
13. Kawaguchi N, Matsumoto S, Manabe J. New method of evaluating the surgical margin and safety margin for musculoskeletal sarcoma, analysed on the basis of 457 surgical cases. *J Cancer Res Clin Oncol* 1995;121:555-63.
14. Evrard R, Schubert T, Paul L, Docquier P-L. Quality of resection margin with patient specific instrument for bone tumor resection. *J Bone Oncol* 2022;34:100434.
15. Müller DA, Stutz Y, Vlachopoulos L, Farshad M, Fürnstahl P. The accuracy of three-dimensional planned bone tumor resection using patient-specific instrument. *Cancer Manag Res* 2020;12:6533-40.
16. Qiu L, Zhang Y, Zhang Q, Xu L, Niu X, Zhang L. Allograft selection for distal femur through cutting contour registration. *Cell Tissue Bank* 2016;17:699-711.