

Nouveautés en radiologie interventionnelle des métastases osseuses

New Insights for Interventional Radiology in Bone Metastases

K Premat [1], E Cormier [1], E Shotar [1], M Drir [2], J Chiras [1], F Clarençon [1]

1. Sorbonne Université, AP-HP Hôpital de la Pitié-Salpêtrière - Charles Foix - Département de Neuroradiologie Interventionnelle 75013 Paris.

2. Sorbonne Université, AP-HP, Hôpital de la Pitié-Salpêtrière - Charles Foix - Département D'Anesthésie-Réanimation - 75013 Paris.

Résumé

Le traitement percutané des métastases osseuses s'est considérablement développé au cours des dernières années avec l'apparition de nouvelles techniques permettant d'obtenir un contrôle local de la progression tumorale, ainsi que des douleurs, tout en assurant la stabilisation osseuse. Les progrès dans le guidage des instruments permettent désormais l'accès à la quasi-totalité du squelette, avec un excellent niveau de sécurité. Ces nouvelles techniques mini-invasives sont toujours utilisées en combinaison avec les autres thérapeutiques anti-cancéreuses et dans le cadre d'un planning préétabli qui doit faire l'objet d'une discussion pluridisciplinaire.

Mots clés

- ◆ Métastase osseuse
- ◆ Traitement percutané
- ◆ Vertébroplastie
- ◆ Cimentoplastie
- ◆ Radiofréquence

Abstract

The percutaneous treatment of bone metastases has considerably expanded during the last years, with the development of new techniques that help to obtain a local control of the tumor disease as well as pain relief, while providing bone stabilization. The progress of guiding tools allow for the treatment by percutaneous means of the quasi-totality of bone metastases, in good safety conditions. These new mini-invasive techniques should be used in combination with the other anti-tumor treatments, through a therapeutic strategy established by a multidisciplinary meeting.

Keywords

- ◆ Bone metastasis
- ◆ Percutaneous treatment
- ◆ Vertebroplasty
- ◆ Cementoplasty
- ◆ Radiofrequency

Correspondance

Frédéric Clarençon

Hôpital de la Pitié-Salpêtrière - Charles Foix - Département de Neuroradiologie Interventionnelle 75013 Paris.

E-mail : fredclare5@gmail.com - Tel : 01 42 16 35 99

Abréviations

ARF : Ablation par Radiofréquence

MO : Métastases Osseuses

PMMA : PolyMethyMéthAcrylate

VP : Vertébroplastie percutanée

Chez les patients porteurs d'une atteinte néoplasique, l'os est un des sites les plus fréquents de métastases. Les métastases osseuses (MO) peuvent être responsables de douleurs, d'impotence fonctionnelle, voire même exposer à un risque neurologique (1). Elles posent également le problème du risque fracturaire par la fragilisation osseuse occasionnée par la MO dans les zones soumises à fortes contraintes (2).

Les techniques percutanées de traitement des MO, traitement focal s'intégrant dans la prise en charge globale de la pathologie tumorale, se sont développées ces dernières années, avec notamment l'émergence de la cimentoplastie. La cimentoplastie consiste en l'injection d'un ciment acrylique par voie percutanée dans une MO à visée antalgique, consolidatrice et de destruction tumorale.

Plus récemment, des techniques avancées ont été développées pour étendre les possibilités thérapeutiques percutanées sur les MO. Nous présenterons dans cet article les nouvelles techniques développées pour les lésions osseuses, en particulier dans les zones soumises à de fortes contraintes dans lesquelles il est parfois nécessaire d'ajouter des broches intra-osseuses

Disponible en ligne sur www.academie-chirurgie.fr/publications/les-e-memoires

1634-0647 © 2018 Académie Nationale de Chirurgie.

Tous droits réservés. DOI : 10.26299/wmb5-m583/emem.2018.2.016

pour renforcer le montage. Nous montrerons également l'apport des techniques de guidage pour la réalisation de gestes percutanés de balistique et d'accès difficiles. Nous présenterons enfin l'apport de l'ablation par radiofréquence percutanée pour la prise en charge des MO.

Vertebroplasties et cimentoplasties

Depuis sa première description en 1987, par P. Galibert et H. Deramond (3) pour le traitement des angiomes vertébraux agressifs, les indications de la vertébroplastie percutanée (VP) se sont élargies au traitement des lésions osseuses tumorales et en particulier aux MO (4). Ces traitements mini-invasifs sont particulièrement intéressants chez les malades en condition métastatique (5) souvent fragiles et porteurs de multiples comorbidités, car ils peuvent être réalisés sous sédation légère, ils ne nécessitent pas de larges abords cutanés et autorisent une reprise de l'appui dès 6h après l'intervention.

Initialement réservée aux MO rachidiennes thoraco-lombaires, la cimentoplastie vertébrale ou vertébroplastie (Figure 1.) s'est progressivement étendue au bassin ainsi qu'aux vertèbres cervicales. La vertébroplastie apporte un effet antalgique rapide et durable, permettant une baisse de la consommation des antalgiques, une reprise de l'appui et donc une amélioration de la qualité de vie globale (6). Cet effet antalgique est attribuable à la stabilisation de la pièce osseuse ainsi qu'à la destruction des fibres nerveuses responsables des stimuli nociceptifs. La stabilisation osseuse est aussi un paramètre primordial en pathologie métastatique puisqu'elle permet de prévenir une éventuelle fracture pathologique, ainsi que les complications neurologiques qui peuvent en découler. De plus, il a été décrit un effet de destruction tumorale (« carcinolytique ») consécutif à la chaleur (de l'ordre de 70-80°C) dégagée par la polymérisation du ciment PMMA, ce qui est corroboré par le faible taux de progression locale après les gestes de vertébroplastie (7).

Les gestes de cimentoplastie peuvent également être pratiqués sur le bassin (sacrum, ilion, ischion, pubis et cotyle), préférentiellement en zones portantes, avec un effet antalgique et de consolidation osseuse désormais bien démontré (8). De la même manière, la cimentoplastie peut être réalisée sur des MO hyper-algiques atteignant des structures osseuses non-portantes, telles que les côtes, le sternum ou la clavicule (Figure 2.). En revanche, la cimentoplastie simple sur le squelette appendiculaire, et en particulier sur les os longs, montre une efficacité moindre en comparaison aux autres localisations osseuses, avec notamment un taux de fractures secondaires pouvant aller jusqu'à 9 % (9). En effet, l'étude des propriétés biomécaniques du ciment acrylique PMMA montre que ce dernier présente une excellente résistance aux contraintes en compression mais une mauvaise résistance lors des contraintes en traction et en torsion. Ainsi, pour les diaphyses et métaphyses des os longs, principalement soumises à ces types de forces, la cimentoplastie seule ne permet souvent pas d'obtenir une stabilité suffisante et peut conduire à des fractures secondaires.

Figure 1

Patient de 71 ans traité pour un adénocarcinome pulmonaire métastatique, présentant des dorsalgies intenses depuis plusieurs semaines. A) Scanner (Coupes axiales ; fenêtre osseuse) et IRM rachidiens (Séquence axiale T1 FAT-SAT après injection de produit de contraste. B) retrouvant une lésion lytique du corps de T6 (Astérisque) étendue au pédicule gauche, au mur postérieur et associée à une épidurite non-compressive. C) Contrôle fluoroscopique peropératoire (profil) : deux trocarts osseux 11G sont mis en place dans le corps vertébral de T6 par voie transpédiculaire (flèche noire). Les contrôles fluoroscopique (D) et scannographique (E) postopératoires immédiats montrent le remplissage satisfaisant de la vertèbre T6 ainsi que la pédiculoplastie gauche (flèches blanches), permettant un contrôle satisfaisant des douleurs et une reprise de la marche à J1.

Figure 2

Patient de 56 ans traité pour une néoplasie digestive avancée avec atteinte osseuse diffuse, ayant présenté spontanément deux semaines auparavant d'intenses scapuloalgies gauches. A) Le scanner sans injection (reconstructions obliques dans le grand axe de la clavicule ; fenêtre osseuse) met en évidence une fracture pathologique (tête de flèche blanche) du tiers moyen de la clavicule gauche sur une lésion tissulaire soufflante. Après discussion pluridisciplinaire, il est retenu une indication de cimentoplastie seule. Contrôles fluoroscopiques peropératoires de face (B) et oblique (C) : insertion du trocart principal dans le grand axe de la clavicule, perpendiculairement au foyer fracturaire (têtes de flèche noires), puis mise en place de deux trocarts supplémentaires au sein de lésions du tiers médial et latéral. Les contrôles fluoroscopiques (D) postopératoires immédiats ainsi que le scanner à six mois (E) montrent un bon remplissage de la lésion, de part et d'autre de la fracture, ce qui a permis une consolidation de la fracture à six mois sans récurrence locale, avec un soulagement complet des douleurs locales.

Cimentoplasties renforcées

Une MO située en zone soumise à de fortes contraintes mécaniques expose à un risque de fracture pathologique, qui, lorsqu'elle survient, a un impact lourd sur la recrudescence des douleurs et sur le pronostic fonctionnel (10,11). Le traitement de référence des fractures pathologiques reste la chirurgie ouverte, qui confère la meilleure stabilité au segment osseux atteint (12). Cependant, les techniques percutanées sont une alternative pertinente à la chirurgie lorsque ces MO ne sont encore qu'à l'état pré-fracturaire. Comme nous l'avons vu, les propriétés biomécaniques du ciment en zones exposées à de hautes contraintes (métaphyses et diaphyses des os longs principalement) ne sont pas adaptées et peuvent augmenter le risque de fracture secondaire (9). Pour pallier cette mauvaise résistance du ciment PMMA lors de contraintes en traction et en torsion, il est possible d'ajouter une armature métallique au sein de la masse de ciment afin de renforcer le montage et de s'approcher au mieux des caractéristiques biomécaniques de l'os natif. Ainsi, il a été démontré que la « cimentoplastie renforcée » pour les lésions instables du fémur était significativement plus efficace que la cimentoplastie seule sur la douleur (89 % des patients avaient une amélioration satisfaisante de leurs douleurs contre 57 % dans le groupe cimentoplastie seule). De même, le taux de fractures secondaires est significativement moindre avec la cimentoplastie renforcée (13). Plusieurs techniques de cimentoplastie renforcée ont été développées par différentes équipes d'orthopédie et de radiologie

interventionnelle. Grâce notamment à l'utilisation de vis canulées et perforées, qui peuvent être insérées de façon coaxiale sur des aiguilles-guides, il est possible de compléter le vissage par une injection de ciment et donc d'apporter (14,15) une bonne stabilité osseuse. Cependant, cela nécessite l'utilisation de vis de gros calibre, ce qui peut exposer à des complications péri-opératoires spécifiques, notamment des complications hémorragiques sur l'abord. Une autre technique consiste à mettre en place, sous contrôle radioscopique, des trocarts standards de cimentoplastie, afin d'insérer des broches de plus petit calibre au sein de la lésion lytique tout en les ancrant dans l'os sain. Finalement, le montage est renforcé par une injection de ciment PMMA par les trocarts ayant servi au positionnement des broches (Figure 3.). L'avantage de cette dernière technique est de pouvoir placer un plus grand nombre de broches de plus petit calibre dans des directions variées pour résister au mieux aux contraintes locales ; le tout en limitant le nombre d'abords transcorticaux (16). Néanmoins, cette technique présente comme principale limite de conférer une stabilité moindre étant donné que, contrairement au vissage percutané, les broches sont de plus petit calibre et s'ancrent moins solidement dans l'os sain.

Les MO du bassin à risque fracturaire, c'est-à-dire situées en régions portantes (ailerons sacrés, cotyles), du fait de leur accès difficile en chirurgie, peuvent aussi être de bonnes indications de cimentoplasties renforcées. Il est de plus possible de traiter des fractures pathologiques peu déplacées par cette technique (17)

Bien que cette technique soit mini-invasive, un certain nombre de complications peuvent survenir ; la plus redoutée étant la fracture secondaire, qui peut être observée jusque dans 5.7 % des cas pour les cimentoplasties renforcées du bassin (17). Cette complication sérieuse dégrade considérablement le pronostic ; elle est source de douleurs et de handicap supplémentaire. La seule alternative possible après ce genre de complication est la chirurgie, techniquement plus difficile du fait de la présence du matériel de cimentoplastie renforcée. Les autres complications par ordre de fréquence sont : la persistance de douleurs locales, les hématomes du site opératoire, la mobilisation du matériel, l'infection et l'essaimage tumoral sur le trajet du (des) trocart(s).

Figure 3

Patiente de 66 ans présentant une récurrence métastatique d'un adénocarcinome mammaire. A) Scanner du bassin sans injection ; reconstructions axiales obliques ; fenêtre osseuse, montrant une lésion instable de l'aileron sacré gauche compliquée d'une fracture pathologique (tête de flèche blanche). Il est retenu de manière collégiale l'indication d'une cimentoplastie renforcée de l'aileron sacré gauche. B) Cliché peropératoire de fluoroscopie : trois broches osseuses (flèche noire) sont placées transversalement à travers la lésion de manière à s'ancrer de part et d'autre dans l'os sain, via deux trocarts trans-sacro-iliaques gauches (flèche blanche) ; un troisième trocart (astérisque) est placé dans le long axe de l'aileron sacré afin de compléter par une cimentoplastie de la lésion. Les contrôles fluoroscopique (C) et scannographique (D) postopératoires immédiats montrent un bon remplissage de la lésion et une bonne position des broches.

Techniques de guidage et accès difficiles

Les progrès en termes de guidage du matériel percutané permettent désormais d'accéder à la quasi-totalité des localisations osseuses métastatiques et d'obtenir un niveau de sécurité et d'efficacité satisfaisant. Ainsi, le traitement de localisations autrefois considérées comme inaccessibles par voie percutanée, telles que les vertèbres cervicales, est maintenant devenu courant (18). Il est possible d'aborder les vertèbres cervicales de C2 à C7 sous anesthésie générale, par voie antéro-latérale droite, en réclinant manuellement le paquet vasculaire jugulo-carotidien. Les masses latérales de C1 ainsi que les condyles occipitaux C0 peuvent aussi être traités en réalisant une cimentoplastie par voie transorale (19) (Figure 4.), avec un excellent degré d'efficacité et de sécurité. Seules les lésions osseuses de la base du crâne et de la face restent encore peu accessibles à la cimentoplastie, du fait d'une efficacité moindre et de risques plus importants.

Lorsque la lésion est particulièrement difficile d'accès ou qu'elle se situe dans une structure osseuse dont la conformation anatomique complexe rend difficile le placement de trocarts sous scopie seule ou même sous scanner ; il existe des outils de navigation qui permettent d'améliorer la précision de la balistique pour la mise en place du matériel. Le dispositif IMACTIS-CT® (20) fait partie de ces dispositifs d'aide à la navigation. C'est un système de navigation électromagnétique pour les interventions percutanées guidées par scanner. Le dispositif permet de repérer la position ainsi que l'angulation de l'aiguille sur le scanner de référence grâce à un boîtier spécifique placé sur le patient pendant le scanner de repérage et tout au long de la procédure. Ainsi, il est possible de positionner les aiguilles sans nécessiter de contrôles itératifs et donc de diminuer à la fois les temps procéduraux et les expositions aux rayons X. Ceci est donc particulièrement utile pour les lésions d'accès difficile ou bien situées dans des régions à proximité de structures nobles. De même, lorsque le geste est plus complexe, comme par exemple dans les cas de cimentoplasties renforcées, ce dispositif permet d'améliorer la précision du placement des vis ou des broches (21).

Figure 4

Patient de 59 ans pris en charge pour des MO de C0 et C1 (A : scanner cervical, coupes axiales ; et B : scanner cervical, reconstructions coronales ; astérisque), d'un adénocarcinome bronchique, responsables de cervicalgies réfractaires. La procédure est réalisée sous anesthésie générale, un ouvre-bouche de Boyle-Davis est mis en place pour exposer la paroi postérieure du pharynx. C) Cliché fluoroscopique peropératoire de profil : dans un premier temps, on navigue par voie endovasculaire un ballon de protection jusqu'à la portion V3 de l'artère vertébrale droite (flèche blanche). Puis, on positionne un trocart osseux (flèche noire) au sein de la lésion de la masse latérale droite de C1, par voie transorale. Enfin, on réalise l'injection de ciment sous contrôle fluoroscopique biplan. D) Cliché fluoroscopique peropératoire de profil : de la même manière, un trocart osseux (flèche noire) est mis en place dans un second temps au sein de la lésion lytique de C0 droit pour réaliser la cimentoplastie. E) Scanner de contrôle post-opératoire (reconstructions sagittales) : les contrôles en fin de procédure mettent en évidence un remplissage satisfaisant des différentes lésions traitées, permettant un amendement complet des douleurs.

Ablation par radiofréquence percutanée

L'ablation par radiofréquence (ARF) est une technique utilisée depuis de nombreuses années dans le traitement percutané de lésions tumorales viscérales et des parties molles (22). Progressivement, les indications se sont étendues au traitement des lésions tumorales osseuses, notamment des MO (23). L'ARF consiste en l'induction d'un courant électrique via une électrode spécifique introduite dans la lésion sous guidage radiologique. Le courant est induit localement par une onde RF d'environ 400 à 500kHz, ce qui va provoquer un échauffement au contact de l'électrode qui se distribuera ensuite aux alentours par diffusion. L'échauffement local de la cible varie entre 55 et 100°C. C'est au-delà de 55°C que surviennent les dommages cellulaires irréversibles (nécrose de coagulation). En revanche, au-delà de 100°C, la carbonisation des tissus engendre un effet isolant par baisse d'impédance, qui limite l'efficacité de l'ARF. Dans le cadre des MO, l'origine de la douleur est souvent plurifactorielle : liée à la destruction osseuse par la lésion, à la déstabilisation osseuse entraînant de nouvelles contraintes sur l'os et le périoste, à la libération de cytokines pro inflammatoires, ainsi qu'à l'envahissement des structures péri-osseuses (périoste, muscles, tendons, cavités articulaires) richement innervées. L'ARF permet d'obtenir un effet antalgique par destruction tumorale directe, mais également par la destruction des fibres nerveuses nociceptives, responsables pour partie de la symptomatologie douloureuse dans les MO. Bien qu'elle ne permette pas d'obtenir une stabilisation osseuse, il est tout à fait possible d'associer l'ARF à la cimentoplastie dans le même temps thérapeutique.

En pathologie osseuse métastatique, les indications préférentielles de l'ARF sont les MO uniques ou prévalentes, ainsi que les MO présentant une extension importante aux parties molles adjacentes. D'après les données de la littérature, l'ARF permet à elle seule une bonne efficacité antalgique dans 50 et 100 % des cas (24-26). Cela se traduit par une amélioration fonctionnelle, avec environ 74 % d'amélioration à la marche (24). Les principales complications de l'ARF sont une lésion thermique d'une structure nerveuse (24), occasionnant un déficit neurologique le plus souvent régressif pouvant aussi évoluer vers la séquelle définitive ; ou des brûlures cutanées. Une récurrence douloureuse doit en revanche faire redouter une progression ou une récurrence locale. Ainsi, les principales contre-indications de l'ARF sont la proximité (< 1 cm) avec les structures nerveuses (moelle épinière et racine nerveuse) ou avec la peau. De même, la présence d'un pacemaker chez le patient ou bien de matériel chirurgical métallique à proximité immédiate de la zone de traitement sont aussi des contre-indications absolues à cette technique. Afin de limiter les risques de complication thermique, il est désormais possible d'utiliser des thermocouples permettant de prévenir l'atteinte des structures sensibles (27) (Figure 5).

Figure 5

Patient de 66 ans pris en charge pour une lésion secondaire unique d'une néoplasie ORL. L'IRM rachidienne (A : séquence axiales T1 FAT-SAT après injection de produit de contraste) montre la lésion du corps de T12, à distance du cône terminal, et avec envahissement des parties molles prévertébrales. B) Mise en place sous contrôle radioscopique par voie transpédiculaire gauche d'un trocart osseux 10G (tête de flèche blanche), puis avancée de l'électrode RF (tête de flèche noire) jusqu'à la lésion. C) Contrôle scannographique de la bonne position de l'électrode (tête de flèche noire), puis réalisation de deux séances successives de RF de respectivement 7 et 3 minutes. On complète par une injection de ciment PMMA au sein de la lésion via le même trocart. D) Contrôle scannographique post-opératoire immédiat (coupe axiale, fenêtre osseuse) montrant un remplissage satisfaisant de la lésion.

Conclusion

Les traitements mini-invasifs des métastases osseuses se sont considérablement développés au cours des dernières années, et occupent aujourd'hui une place de premier plan dans la prise en charge locale des MO. Ils permettent à la fois un contrôle local de la maladie ainsi qu'un soulagement des douleurs et présentent l'avantage de pouvoir être combinés entre eux ainsi qu'avec les autres modalités thérapeutiques. Cependant, ces différentes techniques ne se conçoivent qu'en association avec les autres thérapeutiques anti-cancéreuses et il est primordial de les intégrer dans une prise en charge globale de la maladie tumorale, ce qui nécessite une discussion pluridisciplinaire d'amont.

Financements

Aucun.

Conflits d'intérêts

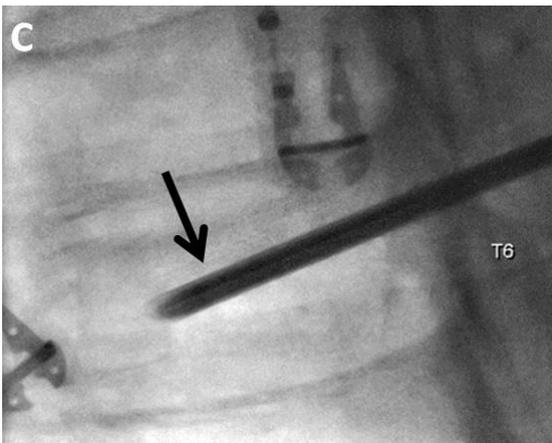
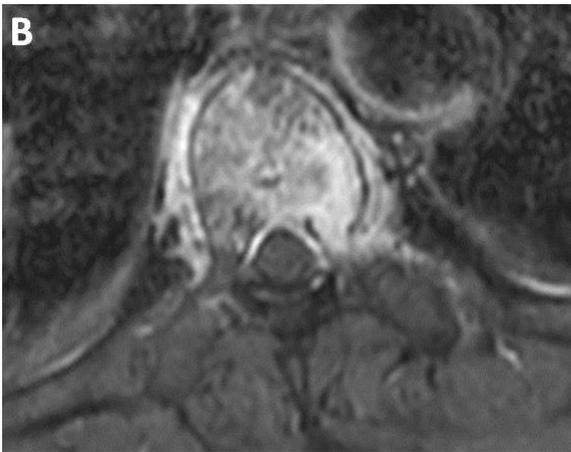
Aucun.

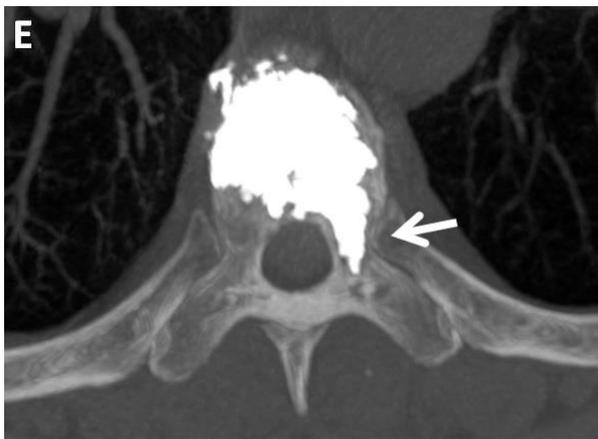
Références

1. Virk MS, Lieberman JR. Tumor metastasis to bone. *Arthritis Res Ther.* 2007;9(Suppl 1):S5. doi:10.1186/ar2169
2. Mirels H. Metastatic disease in long bones. A proposed scoring system for diagnosing impending pathologic fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(249):256-264.
3. Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D. [Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty]. *Neurochirurgie.* 1987;33(2):166-168.
4. Weill A, Chiras J, Simon JM, Rose M, Sola-Martinez T, Enkaoua E. Spinal metastases: indications for and results of percutaneous injection of acrylic surgical cement. *Radiology.* April 1996. doi:10.1148/radiology.199.1.8633152
5. Clarençon F, Fahed R, Gabrieli J, et al. Safety and Clinical Effectiveness of Percutaneous Vertebroplasty in the Elderly (≥80 years). *Eur Radiol.* 2016;26(7):2352-2358. doi:10.1007/s00330-015-4035-2

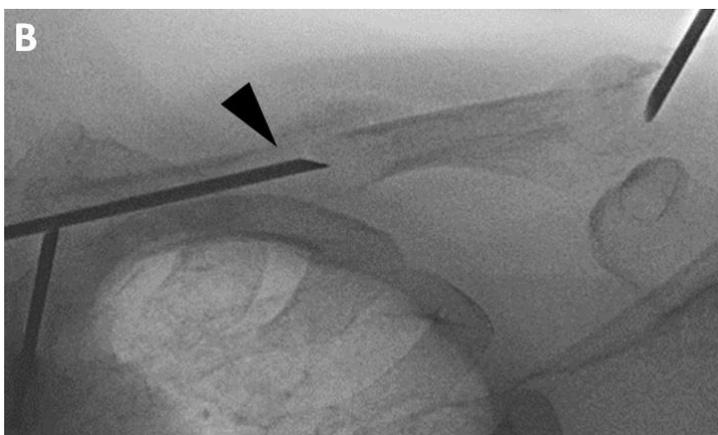
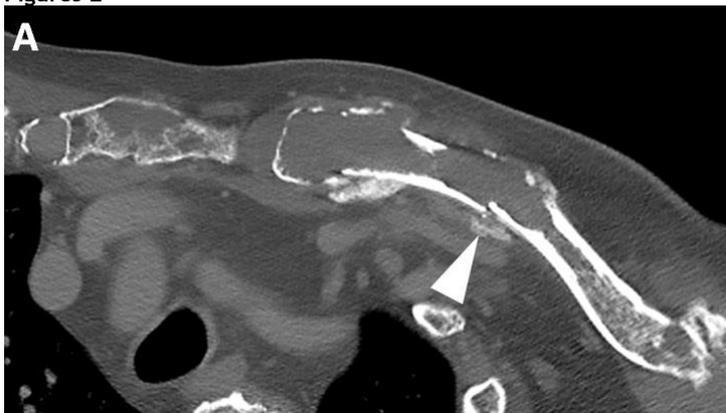
6. Alvarez L, Pérez-Higueras A, Quiñones D, Calvo E, Rossi RE. Vertebroplasty in the treatment of vertebral tumors: postprocedural outcome and quality of life. *Eur Spine J.* 2003;12(4):356-360. doi:10.1007/s00586-003-0525-z
7. Roedel B, Clarençon F, Touraine S, et al. Has the percutaneous vertebroplasty a role to prevent progression or local recurrence in spinal metastases of breast cancer? *J Neuroradiol.* 2015;42(4):222-228. doi:10.1016/j.neurad.2014.02.004
8. Moser TP, Onate M, Achour K, Freire V. Cementoplasty of pelvic bone metastases: systematic assessment of lesion filling and other factors that could affect the clinical outcomes. *Skeletal Radiol.* 2019;48(9):1345-1355. doi:10.1007/s00256-019-3156-0
9. Cazzato RL, Buy X, Eker O, Fabre T, Palussiere J. Percutaneous long bone cementoplasty of the limbs: experience with fifty-one non-surgical patients. *Eur Radiol.* 2014;24(12):3059-3068. doi:10.1007/s00330-014-3357-9
10. Nathan SS, Healey JH, Mellano D, et al. Survival in patients operated on for pathologic fracture: implications for end-of-life orthopedic care. *J Clin Oncol.* 2005;23(25):6072-6082. doi:10.1200/JCO.2005.08.104
11. Popken F, Schmidt J, Oegur H, et al. [Treatment outcome after surgical management of osseous breast carcinoma metastases. Preventive stabilization vs. management after pathological fracture]. *Unfallchirurg.* 2002;105(4):338-343.
12. Swanson KC, Pritchard DJ, Sim FH. Surgical treatment of metastatic disease of the femur. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000;8(1):56-65.
13. Tian Q-H, He C-J, Wu C-G, et al. Comparison of Percutaneous Cementoplasty with and Without Interventional Internal Fixation for Impending Malignant Pathological Fracture of the Proximal Femur. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2015;39(1):81-89. doi:10.1007/s00270-015-1133-0
14. Deschamps F, Farouil G, Hakime A, Teriitehau C, Barah A, Baere T de. Percutaneous Stabilization of Impending Pathological Fracture of the Proximal Femur. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2011;35(6):1428-1432. doi:10.1007/s00270-011-0330-8
15. Lin PP, Kang HG, Kim Y, Kim JH, Kim HS. Minimally invasive surgery for femoral neck fractures using bone cement infusible hollow-perforated screw in high-risk patients with advanced cancer. *Surg Oncol.* 2015;24(3):226-231. doi:10.1016/j.suronc.2015.05.003
16. Premat K, Clarençon F, Bonaccorsi R, Degos V, Cormier É, Chiras J. Reinforced cementoplasty using dedicated spindles in the management of unstable malignant lesions of the cervicotrochanteric region. *Eur Radiol.* 2017;27(9):3973-3982. doi:10.1007/s00330-017-4774-3
17. Deschamps F, de Baere T, Hakime A, et al. Percutaneous osteosynthesis in the pelvis in cancer patients. *Eur Radiol.* 2016;26(6):1631-1639. doi:10.1007/s00330-015-3971-1
18. Bao L, Jia P, Li J, et al. Percutaneous Vertebroplasty Relieves Pain in Cervical Spine Metastases. *Pain Res Manag.* 2017;2017:3926318. doi:10.1155/2017/3926318
19. Clarençon F, Cormier E, Pascal-Moussellard H, et al. Transoral approach for percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteolytic tumor lesions of the lateral mass of the atlas: feasibility and initial experience in 2 patients. *Spine.* 2013;38(3):E193-197. doi:10.1097/BRS.0b013e31827d41c7
20. Durand P, Moreau-Gaudry A, Silvent A-S, et al. Computer assisted electromagnetic navigation improves accuracy in computed tomography guided interventions: A prospective randomized clinical trial. *PLoS ONE.* 2017;12(3):e0173751. doi:10.1371/journal.pone.0173751
21. Moulin B, Tselikas L, De Baere T, et al. CT guidance assisted by electromagnetic navigation system for percutaneous fixation by internal cemented screws (FICS). *Eur Radiol.* September 2019. doi:10.1007/s00330-019-06408-0
22. Dupuy DE. Radiofrequency ablation: an outpatient percutaneous treatment. *Med Health R I.* 1999;82(6):213-216.
23. Simon CJ, Dupuy DE. Percutaneous minimally invasive therapies in the treatment of bone tumors: thermal ablation. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2006;10(2):137-144. doi:10.1055/s-2006-939031
24. Hoffmann RT, Jakobs TF, Trumm C, Weber C, Helmberger TK, Reiser MF. Radiofrequency ablation in combination with osteoplasty in the treatment of painful metastatic bone disease. *J Vasc Interv Radiol.* 2008;19(3):419-425. doi:10.1016/j.jvir.2007.09.016
25. van der Linden E, Kroft LJM, Dijkstra PDS. Treatment of vertebral tumor with posterior wall defect using image-guided radiofrequency ablation combined with vertebroplasty: preliminary results in 12 patients. *J Vasc Interv Radiol.* 2007;18(6):741-747. doi:10.1016/j.jvir.2007.02.018
26. Clarençon F, Jean B, Pham H-P, et al. Value of percutaneous radiofrequency ablation with or without percutaneous vertebroplasty for pain relief and functional recovery in painful bone metastases. *Skeletal Radiol.* 2013;42(1):25-36. doi:10.1007/s00256-011-1294-0
27. Klass D, Marshall T, Toms A. CT-guided radiofrequency ablation of spinal osteoid osteomas with concomitant perineural and epidural irrigation for neuroprotection. *Eur Radiol.* 2009;19(9):2238-2243. doi:10.1007/s00330-009-1404-8

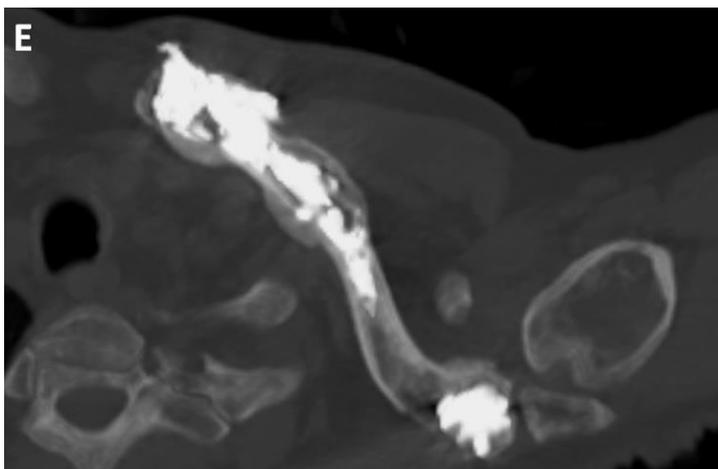
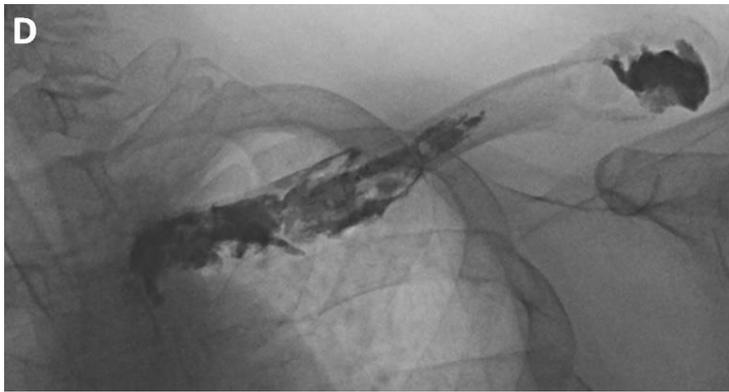
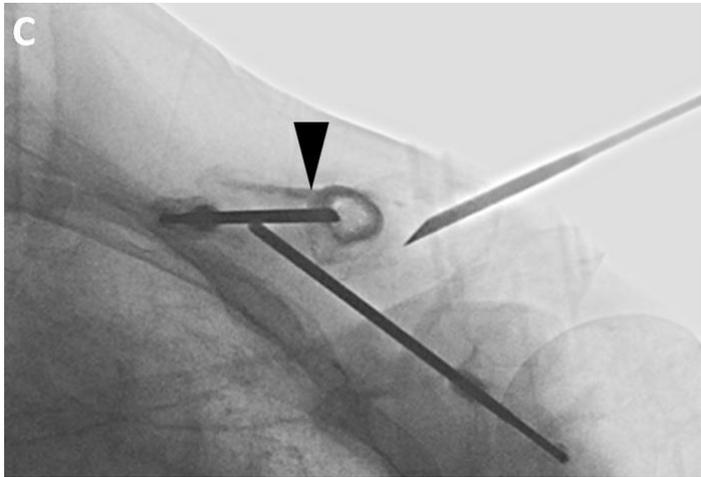
Figures 1



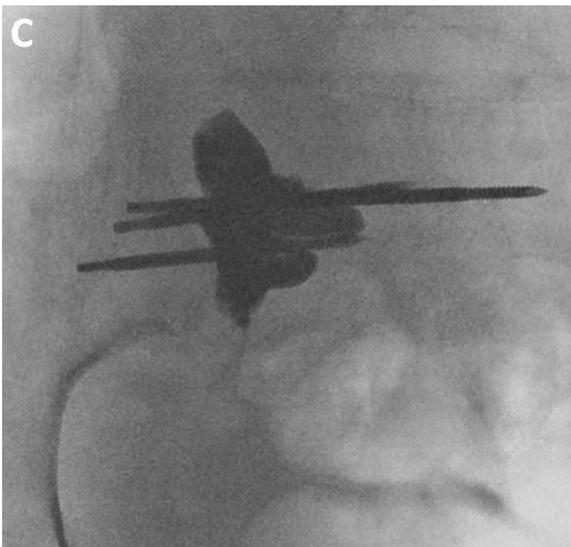
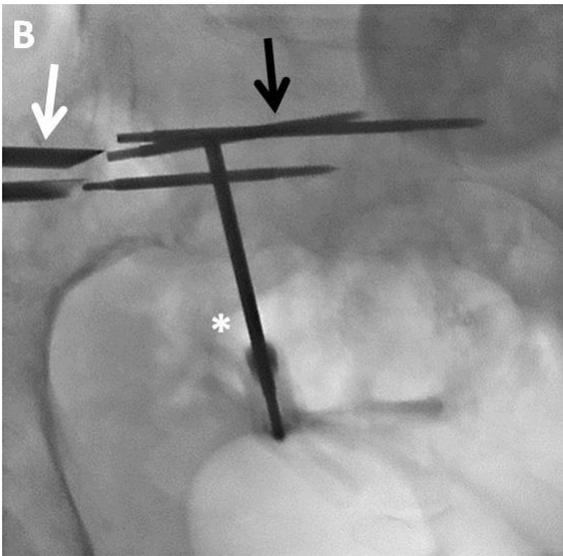


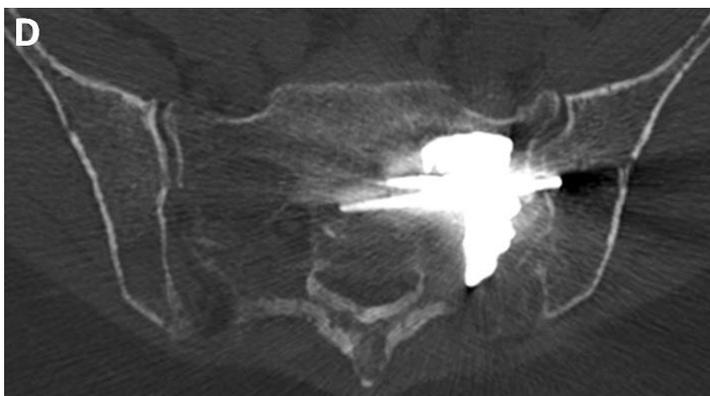
Figures 2



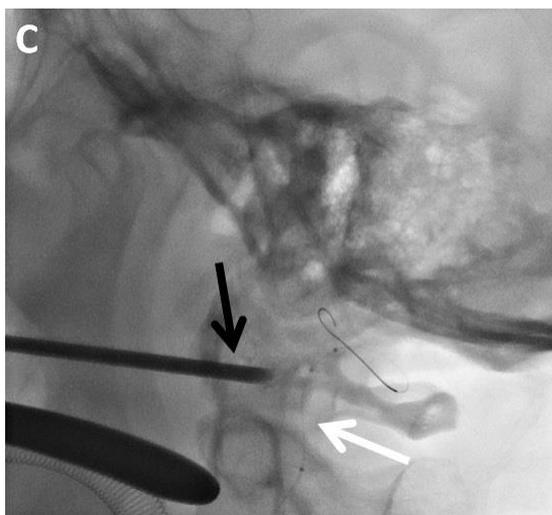


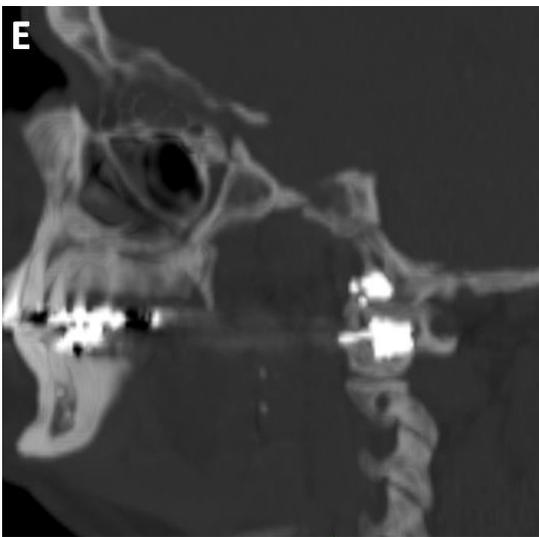
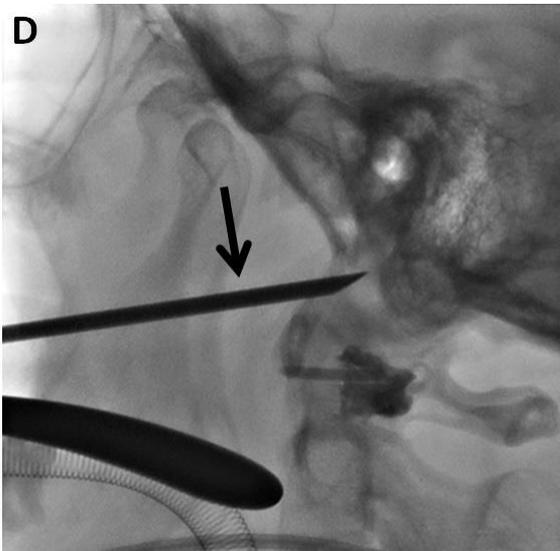
Figures 3





Figures 4





Figures 5

