



La radiologie interventionnelle minimise les risques chirurgicaux

Les actes interventionnels contrôlés par imagerie sont en pleine expansion. Cette augmentation est intimement liée aux progrès technologiques dans des champs disciplinaires allant des systèmes d'imagerie et du traitement d'images aux dispositifs d'intervention, tels que les cathéters et les robots.

© BELMONTE/BSIP

Les auteurs

Fabrice Bing^{1,2}
et Jonathan Vappou²

¹ Centre hospitalier d'Annecy,
Annecy

² Laboratoire ICube,
CNRS, Université de Strasbourg,
Illkirch-Graffenstaden

La radiologie interventionnelle a pour finalité le traitement de diverses pathologies (tumeurs, lésions vasculaires) par des techniques dites « minimalement invasives » guidées par l'imagerie, en y accédant par les vaisseaux ou par la peau. Ses débuts sont attribués à Charles Dotter qui, à la tête du département de radiologie vasculaire et interventionnelle de l'Université d'Oregon, eut l'idée de franchir le cap de la fonction purement exploratrice de l'imagerie invasive. Dès 1963, en effet, il proposa d'emprunter la voie vasculaire, déjà utilisée pour l'imagerie diagnostique invasive par insertion de cathéters, pour traiter des lésions vasculaires.

Le développement de l'imagerie médicale (imagerie par rayons X, échographie et IRM) ouvrit, dès les années 1980, la porte à de nombreux champs d'applications thérapeutiques. Les procédures minimalement invasives connaissent un succès grandissant depuis la fin des années 1990 puisqu'elles s'accompagnent d'une réduction de la durée d'hospitalisation tout en permettant de traiter des patients pour lesquels la chirurgie est contre-indiquée, avec, en corolaire, une diminution de la morbidité. Certaines de ces procédures, à l'image

de la cryoablation de tumeur rénale ou l'embolisation d'anévrisme, constituent, en effet, une alternative à la chirurgie. D'autres sont un complément thérapeutique d'un traitement médical parfois inefficace, la consolidation d'une vertèbre tassée hyperalgique par cimentoplastie par exemple. Enfin, certaines se présentent comme la seule thérapie envisageable, comme la thrombectomie mécanique dans le traitement de l'accident vasculaire cérébral (AVC) ou encore l'embolisation d'hémostase.

RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE VASCULAIRE : L'EXEMPLE DE L'AVC

La radiologie interventionnelle vasculaire utilise les vaisseaux sanguins pour faire cheminer du matériel d'un point de ponction cutané – le plus souvent fémoral – vers une cible accessible par lesdits vaisseaux. Ce chemin naturel permet de déposer du matériel dans un vaisseau endommagé (prothèse dans une sténose, *coils*^{*1} dans un anévrisme), de réaliser une chimiothérapie ciblée (chimio-embolisation hépatique), mais aussi de désobstruer une artère occluse.

La thrombectomie mécanique a récemment été validée dans la prise

en charge de l'AVC ischémique (1,2). La privation d'oxygène des neurones consécutive à l'occlusion brutale d'une artère peut engendrer la nécrose d'une partie du cerveau en quelques minutes. Par opposition à cette nécrose irréversible, les neurones peuvent rester dans un état de sidération réversible grâce à la restauration du flux. C'est là qu'intervient le radiologue, qui va retirer le thrombus dans l'artère le plus tôt possible, idéalement dans les 4 à 5 heures suivant l'AVC. La technique consiste à déployer un stent dans le thrombus qui, en s'agrippant à ses mailles, va pouvoir être retiré dans le cathéter, en même temps que le stent. Plusieurs études randomisées ont montré que la restauration du flux s'accompagne d'une meilleure récupération neurologique comparativement à l'injection seule, en intraveineux, d'un agent thrombolytique (3).

RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE PERCUTANÉE : L'EXEMPLE DE L'ABLATION THERMIQUE

Les interventions percutanées concernent à la fois les gestes diagnostiques – prélèvement d'une lésion pour en établir les causes –

*1 Spires métalliques utilisées comme matériel d'embolisation (occlusion vasculaire)

*2 Exposition à une température donnée pendant un temps donné

- (1) Smith WS et al. (2008) *Stroke* 39, 1205-12
- (2) Jovin TG et al. (2015) *N Engl J Med* 372, 2296-306
- (3) Saver JL et al. (2015) *N Engl J Med* 372, 2285-95
- (4) Sapareto SA, Dewey WC (1984) *Int J Radiat Oncol* 10, 787-800
- (5) McGahan JP et al. (1990) *Invest Radiol* 25, 267-70
- (6) Dupuy DE (2009) *Radiology* 251, 617-8
- (7) Nikfarjam M, Christophi C (2003) *Br J Surg* 90, 1033-47
- (8) Buy X et al. (2013) *Am J Roentgenol* 201, 1353-61
- (9) Goldberg SN et al. (2005) *Radiology* 235, 728-39
- (10) Hesley GK et al. (2013) *Cardiovasc Intervent Radiol* 36, 5-13
- (11) Souchoin R et al. (2003) *Ultrasound Med Biol* 29, 1007-15
- (12) Sundaram KM et al. (2017) *Semin Interv Radiol* 34, 187-200
- (13) Woodrum DA et al. (2016) *Abdom Radiol NY* 41, 877-88

et thérapeutiques, avec des champs d'application très variés : infiltrations de corticoïdes, sclérothérapie d'une malformation vasculaire, destructions thermiques d'une lésion...

Les ablations thermiques visent à détruire un tissu cible – une tumeur, par exemple – par hyper ou hypothermie, en induisant une nécrose et/ou une apoptose cellulaire. La grandeur « dose thermique »*2 a été proposée dans les années 1980 en tant que métrique permettant de quantifier cette mort cellulaire. Par exemple, sur la majorité des tissus, une exposition de plusieurs dizaines de minutes à 43 °C divise par 10 le nombre de cellules vivantes. Cette relation est fortement non linéaire puisqu'il ne suffit que de quelques minutes à 60 °C pour obtenir le même effet (4). En radiologie interventionnelle, l'ablation est réalisée à l'aide d'un applicateur, une aiguille intégrant le dispositif permettant d'élever ou d'abaisser la température du tissu. Cela permet donc de réaliser des ablations ciblées, potentiellement sur toute partie du corps, de manière minimalement invasive. Parmi les techniques d'ablation thermique les plus courantes, citons :

- **l'ablation par radiofréquences** : l'une des plus courantes et des plus anciennes, elle repose sur l'échauffement du tissu résultant du passage d'un courant généré par des électrodes (5). La taille des lésions thermiques est typiquement de 2 à 4 cm³. Les lésions tumorales focalisées du foie ou du poumon sont de bonnes indications ;
- **l'ablation par micro-ondes** : plus récente, cette technique repose sur l'absorption par les tissus de l'énergie électromagnétique générée par l'applicateur émettant des micro-ondes entre 900 mégahertz et 2,5 gigahertz (6). Une zone assez volumineuse peut être chauffée (≥ 5 cm³). Les indications sont sensiblement identiques à celles de la radiofréquence ;
- **l'ablation par laser** : l'applicateur se présente sous la forme d'une fibre optique insérée au centre de l'aiguille creuse permettant sa mise en place (7). La puissance utilisée est de l'ordre de quelques watts pendant 1 à 20 minutes. Une application courante est l'ablation de lésions osseuses de petit volume, comme l'ostéome ostéoïde, lésion tumorale bénigne parfois très douloureuse ;
- **la cryothérapie** : c'est, ici, le froid,

dont l'effet destructeur est connu depuis le XIX^e siècle, qui est utilisé localement dans la zone à traiter. Les traitements modernes par cryothérapie reposent sur la détente d'un gaz comprimé (argon), qui, passant à pression atmosphérique, se refroidit par effet Joule-Thomson (8). Une aiguille de cryoablation est composée de plusieurs chambres permettant la détente du gaz. Plusieurs aiguilles peuvent être utilisées simultanément pour couvrir des volumes de plusieurs dizaines de cm³, avec l'avantage de bien maîtriser visuellement les limites de la congélation au scanner ou à l'IRM. Les indications sont principalement les tumeurs du rein, du poumon et certaines lésions rares des tissus mous (tumeurs desmoïdes).

Quelle que soit la technique utilisée, l'imagerie médicale est essentielle pour s'assurer du succès de la thérapie. Les procédures d'ablation thermique guidées par imagerie ont été standardisées et sont découpées en plusieurs étapes clés. En premier lieu, la planification, dont l'objectif est de repérer le nombre et la localisation des cibles, d'anticiper le nombre d'applicateurs nécessaires et de déterminer la meilleure balistique. Ensuite, le ciblage, consistant à amener chaque applicateur vers la zone désirée en utilisant l'imagerie en temps réel. Enfin, le *monitoring* en temps réel pendant l'ablation, dont l'objectif est de s'assurer qu'aucun dommage imprévu ne vient toucher les tissus environnants, tout en contrôlant qu'une dose thermique suffisante et nécessaire soit appliquée à la lésion.

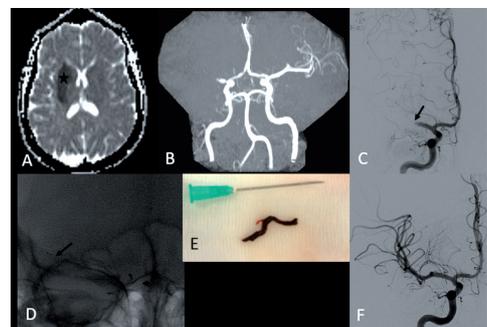
VERS UNE THÉRAPIE NON INVASIVE ?

Une nouvelle technique d'ablation, qui diffère des autres dans la mesure où elle est absolument non invasive, illustre une piste de développement de la radiologie interventionnelle dans le domaine de l'oncologie. La thérapie par ultrasons focalisés de haute intensité (HIFU : *High Intensity Focused Ultrasound*) repose sur l'émission de faisceaux ultrasonores focalisés sur la zone à traiter et sur les effets mécaniques et/ou thermiques des ultrasons sur les tissus. Cela permet, par exemple, d'élever la température localement autour d'un foyer afin d'y induire une lésion thermique. Cette thérapie est déjà utilisée depuis plusieurs années pour le traitement des fibromes utérins ou

du cancer de la prostate (9-13). La communauté de la radiologie interventionnelle est en passe d'adopter cette technique prometteuse, présentée par certains comme de la « chirurgie non invasive ». L'analogie se fait rapidement avec la radiothérapie stéréotaxique, version également non invasive, plus ancienne et ionisante de destruction tumorale, qui partage la phase de planification avec l'imagerie interventionnelle.

Les défis de la radiologie interventionnelle sont donc à la fois technologiques, économiques et scientifiques. La radiologie interventionnelle est, en effet, intime-

ment liée aux progrès technologiques, aussi bien ceux de l'imagerie médicale que ceux du matériel thérapeutique. Son adoption par la plupart des spécialités médicales et chirurgicales, l'intégration et la mutualisation des salles d'imagerie dans les blocs opératoires montrent qu'elle fait partie intégrante des nouvelles modalités thérapeutiques. Comme toute technologie innovante, son développement – coûteux – passe par une évaluation clinique rigoureuse, ce qui a, par exemple, été réalisé pour le traitement de l'AVC ou encore celui des tassements vertébraux. ■



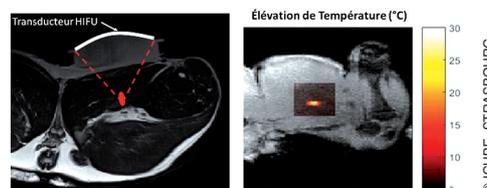
Thrombectomie mécanique d'un AVC sylvien droit

IRM (A. séquence diffusion ; B. séquence *Time of Flight*) montrant une souffrance ischémique dans le territoire sylvien profond droit (étoile) et une occlusion de la naissance de l'artère sylvienne droite. C. Artériographie cérébrale montrant l'occlusion sylvienne droite (flèche). D. Déploiement d'un stent dans la thrombose (flèche) avancé dans un microcathéter (flèche en pointillés). Le thrombus est retiré (E) et le contrôle montre une ouverture complète de l'artère sylvienne (F).



Cryoablation réalisée sous IRM

Procédure réalisée dans le service de radiologie interventionnelle des Hôpitaux universitaires de Strasbourg. Ces procédures nécessitent une expertise pointue au sein même de la communauté de la radiologie interventionnelle, un matériel adapté compatible avec l'IRM, et des séquences IRM dites « interventionnelles », particulièrement rapides et interactives.



Thérapie par HIFU

La thérapie par HIFU permet de cibler une zone directement en profondeur, de manière non invasive. Le contrôle par IRM permet notamment d'évaluer la thérapie via une mesure de température en temps réel.