Exploration et traitement d'une métatarsalgie sur ostéonécrose avasculaire d'un sésamoïde

Bouyaara I (1), Ferrara MA (2), Grailet F (1), Kaux JF (1)

Résumé : La maladie de Renander ou ostéonécrose avasculaire d'un ou des sésamoïdes du premier métatarsien est une pathologie rare et peu étudiée. Elle fait partie des diagnostics différentiels des métatarsalgies, une plainte plus fréquemment rencontrée en pratique clinique. Nous rapportons le cas d'un patient de 14 ans présentant une douleur au niveau de la face plantaire du premier métatarsien gauche, majorée lors de sa pratique d'escrime. L'examen clinique et l'IRM évoquent une ostéonécrose avasculaire du sésamoïde médial pour laquelle un traitement conservateur a permis la résolution des plaintes. La présentation de ce cas est l'occasion de présenter une revue à propos des approches diagnostiques et thérapeutiques de cette pathologie.

Mots-clés : ***Ostéonécrose avasculaire - Métatarsalgie - Traitement conservateur - Jeune sportif***

Investigation and treatment of metatarsalgia due to avascular osteonecrosis of a sesamoid

Summary : The Renander disease or avascular osteonecrosis of one (or two) sesamoid of the first metatarsal is a rare and poorly studied pathological entity. It is part of the differential diagnosis of metatarsalgia, a more common complaint in clinical practice. We report the case of a 14-year-old patient presenting with pain on the plantar area of the left first metatarsal, aggravated while fencing. Clinical examination and MRI suggested avascular osteonecrosis of the medial sesamoid, for which conservative treatment resolved the complaints. The presentation of this clinical case gives the opportunity to present a review of the diagnostic and therapeutic approaches of this pathology.

Keywords : ***Avascular osteonecrosis - Metatarsalgia - Conservative treatment - Young athlete***

Introduction

L'ostéonécrose avasculaire (ONA) est une pathologie dont l'incidence exacte n'est pas établie du fait de son caractère parfois asymptomatique (1). Elle est souvent bilatérale et peut toucher diverses localisations épiphysaires du squelette humain (1). La tête fémorale reste cependant le site privilégié, avec une incidence annuelle représentant plus de 75 % des cas d'ONA (1). La population touchée est généralement jeune, avec un âge compris entre 20 et 50 ans (1). Nous discutons ici du cas d'un jeune patient pratiquant l'escrime, chez qui un diagnostic d'ONA du sésamoïde médial du premier métatarsien gauche a été posé.

Histoire clinique

Un jeune escrimeur de 14 ans, s'est présenté pour des douleurs au niveau de la face plantaire de la tête du premier métatarsien gauche, apparues à la suite d'une compétition. Ces douleurs disparaissaient au repos et étaient favorisées par l'activité physique intensive. Il rapportait également l'apparition d'un hématome à ce niveau.

Cliniquement, il présentait une supination de l'avant-pied gauche ainsi qu'une douleur à la palpation de la tête du premier métatarsien gauche. Une raideur à la flexion dorsale des deux chevilles, prédominant à gauche, a, également, été objectivée. Un diagnostic d'ostéonécrose avasculaire du sésamoïde médial du premier métatarsien gauche était alors suspecté, puis confirmé à l'IRM.

Le patient avait alors pu bénéficier d'une prise en charge en kinésithérapie dans un premier temps. Face à la persistance des douleurs lors de la pratique d'une activité physique, une éviction de celle-ci a été préconisée pour une durée de six semaines, ainsi que le port de semelles orthopédiques adaptées incluant un évidement sous-capital du premier rayon gauche.

Après ces six semaines, le patient ne rapportait plus de douleurs. Il a donc pu reprendre son activité sportive avec ses semelles orthopédiques. Dans le contexte de sa pratique d'escrime, il lui a également été conseillé de travailler sur sa technique afin de limiter la charge au niveau de la tête du premier métatarsien.

(1) Service de Médecine physique et réadaptation, CHU Liège, Belgique.
(2) Service d'Imagerie médicale, CHU Liège, Belgique.

Rappel anatomique

De part et d'autre de la face plantaire du premier métatarsien et intégrés aux tendons médial et latéral du court fléchisseur de l'hallux, se retrouvent les deux os sésamoïdes (2). Les os sésamoïdes sont les analogues anatomiques de la patella. Ils agissent comme des bras de levier pour les tendons, favorisant ainsi l'action du fléchisseur de l'hallux. Leur localisation permet également une protection des tendons. En outre, ils participent à la stabilisation de l'articulation métatarso-phalangienne lors de la propulsion pendant la phase de démarrage de la marche. Enfin, ils permettent, du fait de l'élévation du premier rayon, la répartition des charges appliquées vers la face latérale de l'avant-pied. D'ailleurs, comparativement à l'os sésamoïde latéral, le médial supporte une charge plus importante, ce qui le rend plus vulnérable aux traumatismes (2).

La vascularisation des sésamoïdes dépend de la première artère métatarsienne plantaire qui prend naissance au niveau de la branche plantaire profonde de l'artère dorsale du pied.

Physiopathologie de l'ONA

L'ONA se manifeste par une mort cellulaire au niveau des composants de l'os, favorisée par un déséquilibre dans le processus de résorption et de formation osseuse (3). Elle se caractérise par une nécrose des cellules hématopoïétiques et adipocytaires dans un premier temps, suivie de l'apparition d'un œdème interstitiel au niveau de la moelle osseuse (3). Un processus de réparation est permis par une hyperhémie réactive avec revascularisation capillaire au pourtour de la zone nécrotique (3). Se manifestera alors au niveau osseux une résorption combinée à une formation cellulaire, avec une asymétrie en faveur de la destruction. Si le processus se poursuit, l'élimination osseuse aboutira à une fracture sous-chondrale avec perte de la congruence articulaire (3).

Concernant l'étiologie de cette ONA, elle peut être clairement identifiée en cas de lésion directe de la vascularisation ou des composants osseux. Mais chez de nombreux patients, les mécanismes à l'origine de ce trouble ne sont pas entièrement compris (4). La prévalence exacte de l'ONA est inconnue et le sexe ratio varie en fonction des comorbidités qui l'accompagnent (4). De nombreuses conditions ont été proposées comme facteurs prédisposants de l'ONA, notamment les traumatismes, les hémoglobinopathies telles que la drépanocytose, la prise de corticostéroïdes, la maladie de Cushing, l'alcoolisme, le tabagisme, la maladie de Gaucher, l'infection par le VIH, l'accident de décompression ou encore la radiothérapie (4, 5) La répétition de microtraumatismes peut également aboutir à une ischémie résultant en une nécrose avasculaire (6).

Comme mentionné plus haut (1), l'ONA peut toucher divers sites anatomiques. Au niveau du pied, la maladie de Freiberg atteint la tête du deuxième métatarsien et la maladie de Panner celle du troisième métatarsien, tandis que dans la maladie de Dias, l'ONA se manifeste au niveau du talus (1, 7). Enfin, la maladie de Kohler Mouchet se présente au niveau de l'os naviculaire (7).

L'ostéonécrose d'un ou des sésamoïdes du premier métatarsien doit son nom à Axel Renander qui l'a décrite pour la première fois en 1924 (8). La maladie de Renander s'accompagne rarement d'une notion franche de traumatisme (8). Il faudra cependant y penser, notamment chez un(e) athlète pratiquant un sport imposant des microtraumatismes répétés au niveau des sésamoïdes (8). Ces derniers sont, en effet, pourvus d'une circulation fragile, sensible à ces microtraumatismes chroniques, résultant alors en une raréfaction de l'oxygène et donc en l'ischémie cellulaire (8). L'ONA des sésamoïdes se manifestera d'autant plus en présence d'un trouble de l'alignement de l'arrière-pied, comme le pied valgus ou le pied creux, du fait de l'hyper-appui médial et antérieur, respectivement (8).

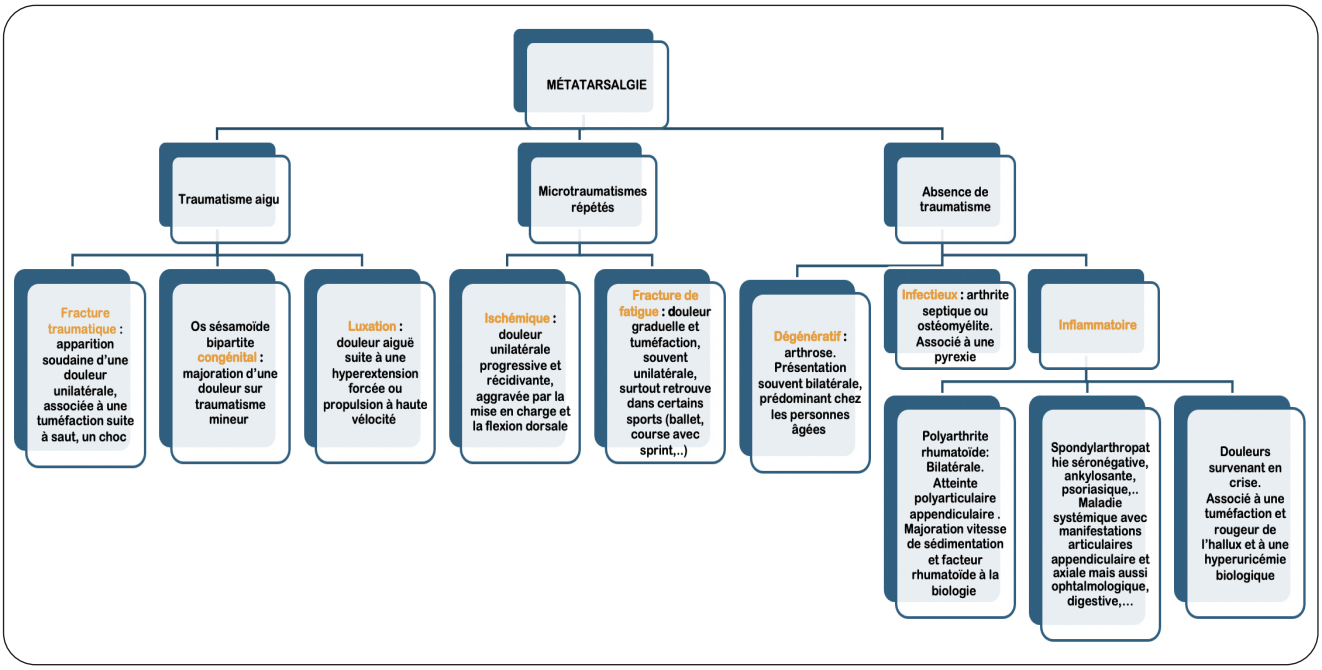
Notons que, chez l'adulte, la maladie de Renander est fréquemment d'origine iatrogène par une atteinte de la vascularisation, dans le cadre d'une ostéotomie de la tête du premier métatarsien ou ostéotomie de Mitchell visant à corriger un hallux valgus (9). Chez l'adolescent, la maladie de Renander est rare et son traitement est difficile (5). En effet, l'ONA se résout généralement spontanément, sauf lorsqu'elle affecte les sésamoïdes, du fait de la charge importante qui leur est imposée (10).

Diagnostic différentiel

L'étiologie d'une métatarsalgie peut être (Figure 1) (2) :

- *Congénitale* : la variation congénitale la plus fréquente est l'os sésamoïde bipartite. Elle est retrouvée bilatéralement dans 50 à 85 % des cas, avec une atteinte prédominant au niveau de l'os sésamoïde médial.

Figure 1. Diagnostic différentiel d'une métatarsalgie. D'après (2)



- *Traumatique ou microtraumatique* : cette catégorie comprend la fracture de fatigue, la fracture aiguë ou encore la luxation. Notons que la fracture de fatigue est favorisée par des exercices de propulsion avec le premier rayon en dorsiflexion, mouvement notamment observé en danse classique ou lors des sprints.
- *Inflammatoire* : pathologies rhumatologiques, à savoir la polyarthrite rhumatoïde, les spondylarthropathies séronégatives ou la goutte.
- *Dégénérative* : l'arthrose, souvent associée à un hallux valgus.
- *Infectieuse* : arthrite septique ou ostéomyélite. Notamment dans la population diabétique.
- *Vasculaire* : à savoir l'ONA.

Diagnostic

Clinique

Le diagnostic repose d'abord sur l'anamnèse et l'examen clinique. Le patient présente une douleur associée à une raideur au niveau de la face plantaire de l'articulation métatarso-phalangienne du premier rayon, avec une perte moyenne d'amplitude variant de 17 à 28° (5). Cette douleur se manifeste notamment à la marche, lors du démarrage (8). Elle est absente lors de la phase initiale de la pathologie et se développera au cours du temps, jusqu'à parfois devenir invalidante (8). Une réduction douloureuse de l'espace articulaire peut survenir même dans les cas légers, ainsi que la présence d'un épanchement articulaire et d'une tuméfaction associée à une sensibilité ponctuelle à la palpation des sésamoïdes du premier métatarsien, aggravée à la dorsiflexion forcée (5, 8). La douleur ressentie par le patient s'explique par la nécrose et la fragmentation au niveau des sésamoïdes (10).

Imagerie

Comme précisé plus haut, l'ONA peut survenir dans différentes parties du squelette, avec cependant des caractéristiques similaires à l'imagerie quel que soit le site d'atteinte (4).

La place de l'imagerie est très importante car la qualité de la prise en charge dépend fortement du stade radiologique. En effet, un retard diagnostique peut être à l'origine d'une morbidité considérable, avec souvent une évolution vers une arthrose secondaire, pouvant nécessiter un traitement chirurgical (4). Au niveau du site d'ostéonécrose, les cellules adipeuses ischémiques se transforment en fibroblastes et les cellules inflammatoires se transforment en ostéocytes (10). L'hyperhémie et l'invasion des

cellules inflammatoires provoquent une ostéoporose locale, tandis que les zones infarcies restent plus denses (10).

Radiographie

À la radiographie, l'ONA se présentera typiquement par des zones hypodenses et hyperdenses (10), avec une sclérose des bords de l'os sous-chondral associée à une ostéolyse en forme de croissant (5). Elle sera à rechercher à l'aide de l'incidence de Guntz ou Chevrot qui étudie les différents appuis des têtes métatarsiennes du pied en charge, en appui antérieur. Elle peut l'être également avec l'incidence de Walter-Müller qui permet l'étude des sésamoïdes et de l'interligne sésamoïdo-capitométatarsien avec les deux pieds en charge, afin de comparer le pied pathologique et le pied sain (11, 12). Au niveau du choix de l'examen, la scintigraphie osseuse et l'IRM présentent une meilleure sensibilité pour l'ONA que la simple radiographie (5, 13).

Résonance magnétique nucléaire (IRM)

Bien que l'IRM soit l'examen de référence pour le diagnostic précoce de l'ONA de la tête fémorale, il faudra attendre un stade assez avancé pour poser un diagnostic d'ONA des os sésamoïdes. L'image sera caractérisée par une diminution de l'intensité du signal T1 associée à une diminution du contenu de l'os spongieux et une augmentation de l'intensité du signal T2 hétérogène due à l'hyperhémie et à l'œdème (10). Il sera également possible d'observer des signes de fibrose sur les séquences T1, reflétant le remplacement du tissu graisseux et hématopoïétique (8). Chez notre patient, un hyposignal en séquences T1 et DP (images pondérées en densité de protons) de l'os sésamoide médial comparativement au latéral est observable (Figures 2 A-B).

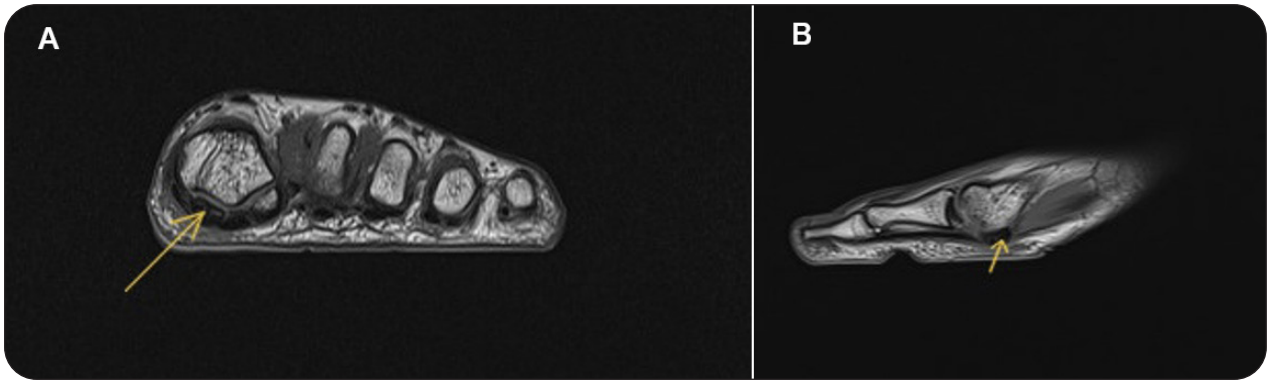
Scintigraphie osseuse

En médecine nucléaire, la scintigraphie osseuse (6) permet d'évaluer la perfusion sanguine locale et le métabolisme minéral via l'évaluation de l'absorption d'un traceur radioactif (14), mettant ainsi en évidence une ONA de la tête fémorale de manière précoce, potentiellement dans les 24 heures (15) mais aussi une éventuelle guérison ultérieure (6). Lors d'une étude prospective menée par Meyers et coll. incluant 145 patients porteurs d'une fracture du col fémoral et 50 patients porteurs d'une ONA de la tête fémorale idiopathique, on observe une sensibilité de l'ordre de 95 % pour évaluer l'état vasculaire de la tête fémorale (15). En ce qui concerne l'ONA de la tête du deuxième métatarsien ou maladie de Freiberg, une scintigraphie pourra mettre en évidence, dans les premières semaines, une zone photopénique entourée d'un collier revascularisé très actif. Dans les stades plus tardifs, les images montreront une hyperactivité diffuse secondaire à la revascularisation et à la réparation (6). Il n'y a malheureusement pas de mention de la place de la scintigraphie dans le diagnostic de la maladie de Renander dans la littérature.

Tomoscintigraphie par émission mono-photonique couplée au scanner (SPECT/CT)

Le SPECT/CT permet une vision multiplanaire et fournit une localisation exacte ainsi qu'une évaluation précise de la lésion (14, 15). Cet examen a une excellente sensibilité de

Figure 2 A-B. A. Image en coupe coronale de l'avant-pied gauche : hyposignal en séquence DP au niveau du sésamoide médial
B. Coupe sagittale avant-pied : hyposignal en séquence T1 au niveau du sésamoide médial



94 % pour le site fémoral, mais une spécificité de seulement 75 % du fait qu'elle dépend d'une analyse subjective par l'examinateur (14). Des indicateurs ont, cependant, été étudiés, tels que l'évaluation du défaut photonique, c'est-à-dire un déficit localisé de fixation du traceur scintigraphique, représentant alors un métabolisme osseux anormalement bas. Il a été établi que chez un patient porteur d'une ONA de la tête fémorale suite à une fracture du col du fémur, un défaut photonique supérieur à 15 % au niveau de la tête fémorale en pré-interventionnel, orienterait la prise en charge vers l'arthroplastie de hanche. En cas de valeurs inférieures à 15 %, une ostéosynthèse à l'aide d'un fixateur interne sera alors envisagée (14).

Échographie

L'échographie, quant à elle, permet d'objectiver une éventuelle synovite, voire un épanchement articulaire. Ceux-ci restent néanmoins des éléments peu spécifiques à l'ONA (16). La modalité Doppler permet une évaluation du flux sanguin au niveau du site d'ONA suspecté. Cet examen reste, néanmoins, très opérateur-dépendant et n'est donc pas à privilégier (16).

Autres techniques d'imagerie

D'autres techniques d'imagerie, encore une fois surtout étudiées pour l'ONA de la tête fémorale, sont disponibles. Nous pouvons citer l'angiographie super-sélective, l'IRM dynamique, la mesure hémodynamique Doppler-Laser ou encore la mesure de pression d'oxygène intra-osseuse (14).

Traitement

L'objectif du traitement de l'ONA est de prévenir la progression de la maladie, d'empêcher le collapsus, de soulager la douleur et de préserver la mobilité de l'articulation.

Traitement conservateur

En première ligne, il convient d'avoir recours au traitement non opératoire ou conservateur, quelle que soit la gravité de la maladie au moment de la présentation (5).

Dans un premier temps, il faudra respecter une restriction de la mise en charge, notamment à l'aide d'orthèses ou semelles plantaires munies d'une barre rétrocapitale et d'un évidement-capitonnage en regard des sésamoïdes, ou de chaussures orthopédiques adaptées si nécessaire (5, 7, 13). Les chaussures orthopédiques les plus adaptées sont les chaussures de Barouk (Figure 3) qui permettent la décharge de l'avant-pied.

Dans le même raisonnement, la mise en place de règles hygiéno-diététiques visant à perdre du poids sera parfois nécessaire (9). En cas de douleur plus intense, une période d'immobilisation et/ou de décharge complète pendant six semaines peut être bénéfique (5). Le ou la patient(e) devra également adapter son activité sportive, en évitant les activités à fort impact, voire l'arrêter totalement dans un premier temps, si celle-ci est en cause (5, 8). Une réadaptation fonctionnelle à l'aide de «taping» ou de manipulations aura également un rôle antalgique (8).

Des techniques alternatives telles que l'oxygénothérapie hyperbare, l'utilisation de champs électromagnétiques pulsés ou la thérapie par ondes de choc extracorporelles, développée plus loin, ont également montré un intérêt dans la prise en charge de l'ONA (13, 14).

Traitement pharmacologique

En l'absence d'amélioration, un traitement pharmacologique pourra être proposé (13). Le traitement sera d'abord antalgique, avec un recours au paracétamol et aux anti-inflammatoires non stéroïdiens (8, 9).

Un traitement pharmacologique visant à ralentir la progression de la maladie pourrait également être suggéré. À savoir (13, 17) :

- *Biphosphonates* : leur rôle est de rééquilibrer le taux de résorption et de formation de l'os sous-chondral afin d'en préserver l'intégrité mécanique, minimisant ainsi le risque

Figure 3. Chaussure de Barouk permettant une décharge des métatarses

de fracture et d'incongruence articulaire (3). Des résultats satisfaisants ont été obtenus pour le pamidronate par voie intraveineuse à raison d'1,5 mg/kg ou l'acide zolendronique à raison de maximum 2 mg/kg sur une durée moyenne de 20 mois de traitement dans le cadre de l'ONA de la tête fémorale (18).

- *Traitement hypolipémiant* : rôle notamment de la lovastatine dans la prévention de la différenciation des cellules souches mésenchymateuses vers la lignée adipocytaire, en empêchant celle-ci (17).
- *Anticoagulant*s : intérêt de l'énoxaparine, à raison de 60 mg par jour pendant douze semaines, en cas de troubles de type thrombophilie ou hypofibrinolyse, en prévention de l'ostéonécrose (17).
- *Vasodilatateurs* tels que la prostacycline ou l'iloprost par voie parentérale, grâce auxquels une diminution de l'œdème au niveau de la moelle osseuse a été observée (19).

Cependant, l'utilisation de ces molécules dans la pratique n'est pas appuyée par des données probantes dans la littérature scientifique et reste empirique.

Ondes de choc extracorporelles

La thérapie extracorporelle par ondes de choc (TOCE) constitue une autre approche conservatrice (20). Le mécanisme d'action est peu clair mais d'une manière générale, la TOCE favorise les capacités d'autoguérison des tissus, notamment en stimulant la libération de facteurs de croissance, le recrutement de cellules souches, l'angiogenèse et la néovascularisation par la sécrétion du facteur de croissance de l'endothélium vasculaire (8, 20). Au niveau osseux, un effet stimulant sur la lignée ostéoblastique et ce, à différents stades de la différenciation cellulaire, a été observé (13, 20). Cette thérapie permet également la réduction de l'activité des ostéoclastes par l'inhibition des facteurs ostéoclastogéniques (13, 20).

Au niveau des sésamoïdes, seules les ondes de choc radiales ont été évaluées. En effet, lors d'un cas rapporté par Thompson et coll., une TOCE a été proposée à un sportif porteur d'une ONA du sésamoïde latéral, comme alternative à la chirurgie (8). Après huit séances, il rapportait une gêne minime, voire l'absence totale de douleur, ce qui lui a permis de reprendre son activité sportive (8). Lors d'une autre étude évaluant l'ONA du lunatum (20), la TOCE a permis une amélioration de la douleur et de l'amplitude des mouvements après 60 jours, avec une réduction de l'œdème au niveau de la moelle osseuse, caractéristique de l'ONA, à l'IRM (20). La TOCE apporte donc des résultats satisfaisants en ce qui concerne non seulement l'amélioration de la symptomatologie douloureuse, mais aussi de la fonction, que ce soit à court ou à long terme (13).

En comparaison à la chirurgie, la TOCE offre donc plusieurs avantages du fait de ses effets secondaires minimes comparés à ceux de la chirurgie, mais aussi du fait d'un coût inférieur, en permettant, le cas échéant, un taux de réussite comparable (20).

En ce qui concerne le traitement pharmacologique, il n'existe pas beaucoup d'essais comparant directement les biphosphonates à la TOCE (20). Il est néanmoins intéressant de noter que les biphosphonates associés à la TOCE n'ont pas montré davantage de résultats que la TOCE seule (13). Précisons cependant que des études randomisées de haute qualité, avec une homogénéité distincte entre les modèles d'étude, sont nécessaires pour renforcer les preuves existantes en faveur de la TOCE avant de la proposer comme option thérapeutique fiable (13, 20).

Traitement chirurgical

En cas de persistance de la symptomatologie au-delà de six mois malgré un traitement conservateur bien conduit, c'est-à-dire dans les cas réfractaires, un traitement chirurgical pourra être envisagé (8, 9). Il faudra néanmoins insister sur le fait que ce type de situation est exceptionnelle. L'indication d'un traitement chirurgical se pose donc très rarement.

Diverses techniques chirurgicales sont possibles et seront à proposer au cas par cas et selon l'évolution de la lésion. Ces techniques comprennent l'ostéotomie, les procédures de décompression et les greffes osseuses, vascularisées ou non (5, 9, 14). Le remplacement de l'articulation ou arthroplastie reste une alternative toutefois plus couramment utilisée dans la gestion des sites typiques de l'ONA, au niveau de la tête fémorale notamment (8), ce qui n'est pas le cas pour les sésamoïdes du pied.

En cas d'atteinte des sésamoïdes seuls, une excision partielle ou totale avec ablation de la zone nécrosée sera proposée (8), avec un taux de complications de 5,7 % et un temps de retour à l'activité sportive évalué à environ onze semaines en cas de sésamoïdectomie (21). Les complications liées à cette technique comprennent des douleurs post-interventionnelles au niveau du sésamoïde controlatéral (sain) ou encore l'apparition d'un hallux valgus ou hallux varus selon le sésamoïde concerné par la chirurgie (8). Actuellement, il n'existe pas de consensus sur l'option thérapeutique optimale (5).

Conclusion

La maladie de Renander ou ostéonécrose avasculaire d'un ou des sésamoïdes du premier métatarsien est une pathologie rare et peu étudiée. Elle se présente habituellement chez l'adulte dans un contexte iatrogène, mais comme toute ONA, elle peut apparaitre chez divers patients avec des profils particuliers.

La métatarsalgie est un motif de consultation pouvant faire évoquer de nombreux diagnostics. Chez un jeune patient pratiquant une activité mettant en contrainte le premier métatarsien, il sera important de mettre ce dernier en décharge, au risque d'une évolution de la pathologie au stade chirurgical.

En ce qui concerne le bilan iconographique, la réalisation d'une simple radiographie peut être faussement rassurante si les incidences de Guntz ou de Walter-Müller ne sont pas spécifiquement demandées. Il faudra être attentif à la plainte et au profil du patient, l'anamnèse et la clinique ayant une place primordiale dans le diagnostic.

Un simple traitement conservateur est dans la grande majorité des cas suffisant et évitera au patient une sanction chirurgicale non dénuée de complications.

Bibliographie

1. Pijnenburg L, Felten R, Javier RM. Ostéonécroses aseptiques, une revue générale des ostéonécroses de la hanche, et au-delà. *Rev Med Interne* 2020;**41**:27-36.
2. Taylor JA, Sartoris DJ, Huang GS, Resnick DL. Painful conditions affecting the first metatarsal sesamoid bones. *Radiographics* 1993;**13**:817-30.
3. Shah KN, Racine J, Jones LC, Aaron RK. Pathophysiology and risk factors for osteonecrosis. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2015;**8**:201-9.
4. Enge Junior DJ, Fonseca EK, Castro AD, et al. Avascular necrosis: radiological findings and main sites of involvement - pictorial essay. *Radiol Bras* 2019;**52**:187-92.
5. Luppi V, Corradin M, Schiavon R, et al. Avascular necrosis of the first metatarsal head in adolescence: a case report. *Pediatr Med Chir* 2022;**44**(Suppl1).
6. Mandell GA, Harcke HT. Scintigraphic manifestations of infraction of the second metatarsal (Freiberg's disease). *J Nucl Med* 1987;**28**:249-51.
7. J.F. Kaux, J.M. Crielaard. Cheville et pied douloureux de l'enfant sportif. *Journal de Traumatologie du Sport* 2009;**26**:12-7.
8. Thompson D, Malliaropoulos N, Padhiar N. Sesamoid osteonecrosis treated with radial extracorporeal shock wave therapy. *BMJ Case Rep* 2017;**2017**:bcr2017219191.
9. Siu RW, Liu JH, Man GC, et al. Avascular necrosis of the first metatarsal head in a young female adult: a case report and review of literature. *World J Clin Cases* 2021;**9**:7445-52.
10. García Mata S. Avascular necrosis of the proximal epiphysis of the first metatarsal bone in childhood. Long-term outcome. *An Sist Sanit Navar* 2023;**46**:e1030.
11. L'obervatoire du mouvement. Lettre d'information. 2011. Disponible sur: https://apimed-pl.org/contenu/uploads/2019/12/L_avant-pied-douloureux.-Lettre-Observatoire-du-mouvement.2011.pdf
12. Thelen Ph. Imageire du pied. Disponible sur : https://urml-m.org/wp-content/uploads/2016/theses-rhumato/Imagerie%20du%20pied%20simplifi%C3%A9.pdf
13. Sconza C, Anzà M, Di Matteo B, et al. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of osteonecrosis and bone vascular diseases: a systematic review of randomized controlled trials. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2022;**26**:2949-59.
14. Hu Y, Yang Q, Zhang J, et al. Methods to predict osteonecrosis of femoral head after femoral neck fracture: a systematic review of the literature. *J Orthop Surg Res* 2023;**18**:377.
15. Yoon JY, Lee SJ, Yoon KS, Yoon PW. The diagnostic value of SPECT/CT in predicting the occurrence of osteonecrosis following femoral neck fracture: a prospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord* 2020;**21**:517.
16. Murphey MD, Foreman KL, Klassen-Fischer MK, et al. From the radiologic pathology archives imaging of osteonecrosis: radiologic-pathologic correlation. *Radiographics* 2014;**34**:1003-28.
17. Sen RK. Management of avascular necrosis of femoral head at pre-collapse stage. *Indian J Orthop* 2009;**43**:6-16.
18. Ramachandran M, Ward K, Brown RR, et al. Intravenous bisphosphonate therapy for traumatic osteonecrosis of the femoral head in adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 2007;**89**:1727-34.
19. Meizer R, Radda C, Stolz G, et al. MRI-controlled analysis of 104 patients with painful bone marrow edema in different joint localizations treated with the prostacyclin analogue iloprost. *Wien Klin Wochenschr* 2005;**117**:278-86.
20. Häußer J, Wieber J, Catalá-Lehnen P. The use of extracorporeal shock wave therapy for the treatment of bone marrow oedema - a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res* 2021;**16**:369.
21. Saxena A, Fournier M, Patel P, Maffulli N. Sesamoidectomy in athletes: outcomes from 2-centers. *J Foot Ankle Surg* 2022;**61**:139-42.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Dr Bouyaara I, service de Médecine physique et réadaptation, CHU Liège, Belgique.

Email : imane.bouyaara@student.uliege.be