



ARTICLE ORIGINAL / RESEARCH ARTICLE

Scintigraphie osseuse trois temps dans la caractérisation de l'ostéonécrose aseptique de la tête fémorale

Three-stage bone scintigraphy in the characterization of aseptic osteonecrosis of the femoral head.

KI Thierry Romuald^{1*}, DJIGO Salif², SOUGUE Charles³, ZOUNGRANA Mamounata¹, Adambounou KOKOU⁴, Mamadou MBODJ².

¹ Service de médecine nucléaire du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO de Ouagadougou, BURKINA FASO.

² Laboratoire de biophysique et de médecine nucléaire de l'université Cheikh Anta DIOP de Dakar, SENEGAL.

³ Centre Hospitalier Universitaire Sourou SANOU de Bobo Dioulasso, BURKINA FASO.

⁴ Faculté des sciences de la santé de l'université de Lomé, TOGO.

Mots-clés :

Ostéonécrose, tête fémorale, Scintigraphie osseuse, IRM.

Keywords :

osteonecrosis, femoral head, bone scan, MRI.

*Auteur

correspondant

Dr KI Thierry Romuald
Service de médecine nucléaire
du CHU YALGADO
OUEDRAOGO de
Ouagadougou.
06 BP : 10249 Ouaga 06
Email : boleki1983@yahoo.fr
00 226 57 06 08 53

Reçu le : 09/11/2021

Accepté le : 17/12/2023

RÉSUMÉ

Objectifs. Déterminer la place de la scintigraphie osseuse 3 temps dans le diagnostic de l'ostéonécrose avasculaire de la tête fémorale (OATF).

Matériels et Méthode. Nous avons colligé rétrospectivement 62 scintigraphies osseuses (SO+) mettant en évidence une OATF. Ces SO+ ont été réalisées au Service de Médecine Nucléaire du CHU YO de Ouagadougou, de 2017 à 2022. Un formulaire de recueil de données a permis de collecter les données générales et les résultats de la scintigraphie osseuse. L'étude descriptive consistait à calculer les fréquences pour les variables qualitatives et les moyennes pour les variables quantitatives. La SO en trois temps a été faite chez tous les patients après injection de 296 à 925 MBq d'un dérivé diphosphonate : l'hydroxy méthylène diphosphonate (HMDP) marqué au technétium 99 m (Tc99m).

Résultats. 62 patients ont présenté une SO+ à la recherche scintigraphique de l'OATF de 2016 à 2021. Leur âge moyen est de $35 \pm 14,18$ ans avec une nette prédominance féminine (75,8%). La principale étiologie retrouvée était la drépanocytose. La douleur coxale avec ou sans boiterie a indiqué la réalisation de la SO dans 41,66 % des cas. Les vingt-cinq patients (40,3%) qui avaient bénéficié d'une TDM de la hanche concernée ont été adressés pour confirmation du diagnostic (n=4), bilan pré opératoire (n=9), recherche d'autres foyers (n=12). Pour les onze patients atteints de pathologie cancéreuse, le diagnostic d'OATF était fortuit au décours d'une SO réalisée dans le cadre de leur bilan d'extension. Sur les images scintigraphiques tardives, les atteintes de type II de GOLLSHALK étaient majoritaires, suivies des atteintes de type III puis de type I. Il n'y avait pas d'atteinte de type IV.

Conclusion. La SO est efficace dans la caractérisation de l'OATF avant l'apparition de la symptomatologie clinique et de la traduction radiologique. Lorsque l'IRM est disponible et n'est pas contre indiquée, la SO est la modalité diagnostique à utiliser en deuxième intention.

ABSTRACT

Objective : Determine the role of three-step bone scintigraphy (BS) in the diagnosis of aseptic osteonecrosis of the femoral head (AOFH).

Materials and Method : Retrospectively we collected 62 positive bone scans (BS+) at aseptic osteonecrosis of the femoral (AOFH). These BS+ were carried out at the Nuclear Medicine Department of CHU YO, from 2017 to 2022. A data collection form has been prepared. It made it possible to collect general data and the results of the bone scintigraphy. The descriptive study



consisted of calculating the frequencies for the qualitative variables and the means for the quantitative variables. The three-step BS was performed in all patients after injection of 296 to 925 MBq of a diphosphonate derivative : hydroxy methylene diphosphonate (HMDP) labeled with technetium 99 m (Tc99m).

Results : 62 patients were positive (BS +) in the aseptic avascular osteonecrosis of the femoral head scintigraphic research from 2016 to 2021. Their average age is 35 ± 14.18 years with a clear female predominance (75.8%). The main etiology remains sickle cell anemia. Hip pain with or without lameness indicated the realization of SO in 41.66% of cases. The twenty-five patients (40.3%) who had undergone CT of the affected hip were referred for confirmation of the diagnosis (n=4), preoperative workup (n=9), search for other foci (n=12). For the eleven patients with cancerous pathology, the diagnosis of AOFH was fortuitous after an BS performed as part of their extension workup. On the late scintigraphic images, type II involvement of GOLLSHALK was predominant, followed by type III then type I. There was no type IV involvement.

Conclusion : BS is sensitive in the detection of aseptic avascular osteonecrosis of the femoral head before the onset of clinical symptoms and radiological translation. When MRI is available and not contraindicated, BS is the second-line modality.

1. Introduction

L'ostéonécrose aseptique de la tête fémorale (OATF) ou nécrose avasculaire est la mort cellulaire des différents composants de l'os [1].

Elle est l'aboutissement de diverses conditions pathologiques dont la plupart ont altéré la circulation sanguine au niveau de la tête fémorale. Les travées osseuses de l'os mort ne se renouvellent plus et finissent par s'effondrer.

La drépanocytose reste la cause la plus fréquente de cette affection en Afrique de l'Ouest. [2] Chez le drépanocytaire la fréquence de l'ONATF est de 9,2% au Sénégal [2]. Dans les autres pays africains la fréquence de l'OATF reste peu documentée. Par ailleurs, l'ONATF est une complication invalidante chez l'enfant drépanocytaire dont le diagnostic et le traitement posent des problèmes majeurs dans les pays sous-développés.

L'imagerie occupe une place centrale dans le diagnostic tant les manifestations cliniques peuvent être insidieuses et asymptomatiques à un stade précoce.

Les dernières évolutions de l'imagerie au Burkina Faso ont été marquées par l'arrivée d'une gamma caméra et de l'IRM avec l'installation prochaine de la SPECT CT.

Ce dispositif doit permettre un diagnostic précoce de cette pathologie tant redoutée. Les auteurs rapportent ici 62 cas d'OATF mis en évidence par la scintigraphie osseuse (SO) en précisant leurs caractéristiques scintigraphiques avec passage en revue de la littérature correspondante.

2. Matériels et Méthode

Patients

Nous avons réalisé une étude rétrospective monocentrique descriptive transversale sur la période du 1^{er} janvier 2017 au 31 Décembre 2022. Nous avons colligé 62 scintigraphies osseuses positives (SO). Un formulaire de recueil de données a été confectionné. Il a permis de collecter les données générales et les résultats de la SO.

Les données ont été enregistrées et analysées à l'aide du logiciel Epi Info version française.

Technique d'examen

La SO en trois temps a été faite chez tous les patients après injection de 296 à 925 MBq d'un dérivé diphosphonate : l'hydroxy méthylène diphosphonate (HMDP) marqué au technétium 99 m (Tc99m). L'examen a compris :

- ❖ Une étude dynamique (temps angioscintigraphique) immédiatement après l'injection en bolus du traceur, centrée sur la région d'intérêt ;
- ❖ Puis une étude précoce (temps tissulaire) 5 minutes après, avec incidences centrées sur la tête fémorale concernée ;
- ❖ Une étude tardive (temps osseux) 2 à 3 heures après l'injection, comprenant un balayage corps entier faces antérieure et postérieure complété par des images statiques.

3. Résultats

3.1. Description de la population d'étude

Le nombre de SO+ mettant en évidence une OATF était de 62 sur une période de 05 ans.

Caractères généraux

- ❖ **Age :** L'âge moyen est de $32 \pm 14,18$ ans avec des extrêmes de 11 et 66 ans. La tranche d'âge la plus touchée était celle de [30-40 ans].
- ❖ **Sexe :** le sexe ratio (F/M) est de 0,32 en faveur du sexe féminin.
- ❖ **Etiologies :** Plus de la moitié des patients était drépanocytaire (51,6%). **La figure 1** représente la répartition des patients en fonction de l'étiologie de l'OATF.

Les patients drépanocytaires (n=32) avaient un âge moyen de $16 \pm 6,7$. Les patients sous corticothérapie (n=12) avaient un âge moyen de $58 \pm 4,9$.

- ❖ **Origine** : Six patients ont été adressés par des structures sanitaires de la sous-région. Ils étaient ainsi originaires du Mali (n=3), du Niger : (n=2), du Bénin : (n=1).

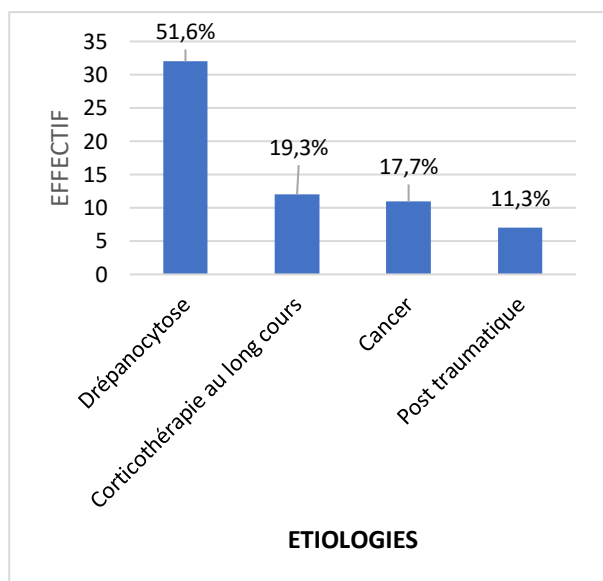


Figure 1 : Répartition des patients selon l'étiologie

Indications

Vingt-six patients (42,9%) ont été adressés sur la base de la symptomatologie faite de douleur coxale et/ou de boiterie.

Vingt-cinq autres patients (40,32%) avaient bénéficié d'une TDM de la hanche concernée. Ils ont été adressés pour confirmation du diagnostic (n=4), bilan pré opératoire (n=9), recherche d'autres foyers (n=12).

Pour les onze patients atteints de pathologie cancéreuse le diagnostic d'OATF était fortuit, au décours d'une SO réalisée dans le cadre d'un bilan d'extension.

3.2. Résultats de la scintigraphie osseuse 3 phases

- ❖ En phase dynamique, 11 patients avaient un flux précoce et une asymétrie en faveur de la zone atteinte. Les images dynamiques des 51 autres patients (82,25%) étaient normales.
- ❖ Sur les images précoces, 21 patients avaient une hyperhémie de la zone étudiée. Les 41 autres patients (66,1%) avaient une image précoce normale.
- ❖ Sur les images tardives : les atteintes de type II de GOLLSHALK étaient majoritaires (57,14%), suivies des atteintes de type III (35,71%) puis des

atteintes de type I (7,14%). Il n'y avait pas d'atteintes de type IV.

- ❖ Le fémur gauche était le plus touché (50%) suivi du fémur droit (33,3%). Les atteintes bilatérales représentaient 16,6% (n=2).
- ❖ Tous les 5 patients antérieurement positifs à la TDM furent SO+.
- ❖ Les atteintes les plus fréquemment associées sont la poly arthropathie dégénérative.

Les figures 2, 3, 4 représentent respectivement :

- des images statiques tardives centrées sur le bassin et mettant en évidence une ostéonécrose de la tête fémorale droite type III de GOLLSHACK ;
- des images dynamiques en phase vasculaire et des images précoces en phase tissulaire chez le même patient ;
- des images tardives du corps entier en faces antérieure et postérieure.

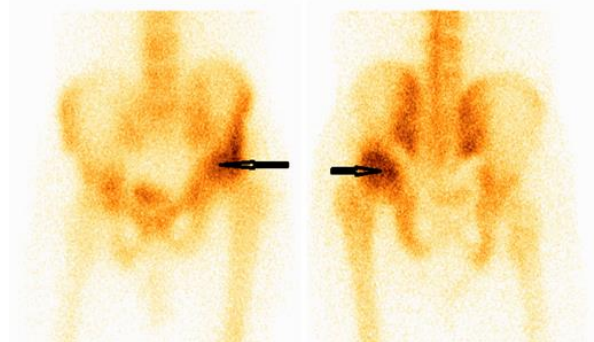


Figure 2 (Gauche : Face postérieure, Droite : Face antérieure). Images statiques tardives centrées sur le bassin mettant en évidence une ostéonécrose de la tête fémorale droite type III de GOTTSCHALK. *Late static images centered on the pelvis highlighting osteonecrosis of the right femoral head type of GOTTSCHALK.*

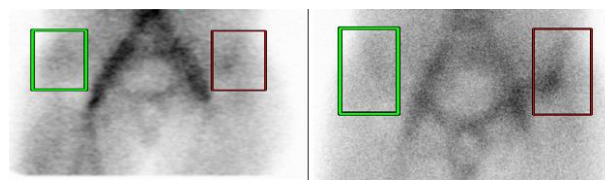


Figure 3a. Image dynamique en phase vasculaire. Pas de différence significative entre la perfusion de la hanche de référence (rectangle vert) et celle du côté examiné (rectangle rouge). *Dynamic image in the vascular phase: No significant difference between the infusion of the reference hip (green rectangle) and that of the examined side (red rectangle).* **Figure 3b.** Image précoce en phase tissulaire. Hyperhémie franche de la hanche examinée (rectangle rouge) comparativement à la hanche saine (rectangle vert). *Early tissue phase image: Frank hip hyperemia examined (red rectangle) compared to healthy hip (green rectangle).*

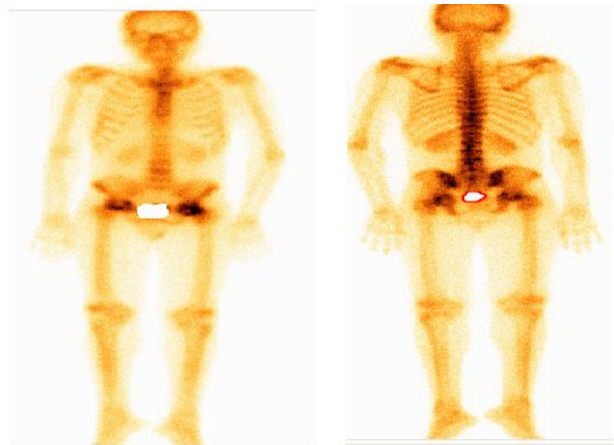


Figure 4 : Images tardives du corps entier (de G à D : Faces antérieure et postérieure). Ostéonécroses bilatérales type III (atteinte de la tête entière du fémur) à gauche et type II à droite (hyperfixation entourant une plage d'hypofixation punctiforme). *Late images of the whole body (from left to right: Anterior and posterior faces): Bilateral osteonecroses type III (involvement of the entire head of the femur) on the left and type II on the right (hyperfixation surrounding a punctiform hypofixation range).*

4. Discussion

L'Ostéonécrose est la mort osseuse par ischémie. Elle peut être secondaire à une cause systémique ou à une cause mécanique. Lorsque l'ostéonécrose siège en dehors de l'épiphyse on parle d'infarctus osseux. L'OATF est la modalité que nous rapportons dans notre étude.

La petite taille de notre série en fait sa principale limite. Cependant nous pensons que cette étude préliminaire peut ouvrir la voie à des études plus larges incluant des modalités d'imagerie nouvellement accessibles dans notre contexte à savoir l'IRM. Ces études pourraient être faites à une échelle locale ou sous régionale.

4.1. Caractères généraux et facteurs de risques de l'ONATF

Les 62 cas que nous rapportons étaient âgés de $35 \pm 14,18$ ans. Les patients drépanocytaires étaient les plus jeunes et les plus nombreux. Par ailleurs les patients prenant une corticothérapie au long cours étaient plus âgés. Les autres étiologies étaient le cancer et la pathologie post traumatique.

La pathologie drépanocytaire vient en première position dans le diagnostic étiologie de l'OATF en Afrique si bien que la plupart des études se sont intéressées à décrire l'OATF chez le drépanocytaire [1,2,3,4]. Ainsi dans la série de DIOP et al. au Sénégal, l'OATF est retrouvée chez 9,1% d'une cohorte de 108 drépanocytaires âgés de 20 à 51 ans [2]. Coulibaly et al au Mali [1] ont colligé quant à eux 32 cas d'OATF sur 4377 patients drépanocytaires

ayant un âge moyen de 31 ans et un sexe ratio de 1,7 (F/M). Dans la série de Gamedzi et al au TOGO, 14 enfants (12 garçons et deux filles), âgés en moyenne de 14 ans, étaient hospitalisés et traités pour une ONATF.[3] Le tableau étiologique est différent dans les pays développés avec une nette prédominance (plus de 80% des cas) de l'alcoolisme et de la corticothérapie au long cours dans la survenue de l'OATF [5].

La littérature internationale reconnaît comme facteurs de risques de l'OATF :

- ❖ La prise de corticostéroïdes : dans une série de 3000 cas d'OATF non traumatiques, les corticoïdes étaient en cause dans 30 % des cas, suivis de l'alcool dans 20 % des cas [6]. Dans une méta-analyse de cinquante-sept études incluant 23 561 patients, Mont et al. ont trouvé que l'incidence de l'OATF était de 6,7 % si le traitement par corticostéroïdes dépassait 2 g d'équivalent prednisone avec une augmentation de 3,6% pour chaque augmentation de 10 mg/j. [5]

- ❖ L'alcoolisme : la surconsommation d'alcool a été associée à environ 20-30% des patients qui ont développé une ostéonécrose de la hanche. [7].

- ❖ La maladie de Gaucher : elle est due à une carence de l'enzyme lysosomale -gluco cérébrosidase, qui conduit à l'accumulation de gluco-cérébroside dans les lysosomes de phagocytes mononucléés, principalement dans le foie, la rate, et la moelle osseuse. Les manifestations ostéoarticulaires sont souvent inaugurales et contribuent de manière significative à la morbidité et au handicap associé [8].

- ❖ Le lupus érythémateux disséminé : l'OATF du lupus a été rapportée dans 3 à 30 % des ONATF dans les pays industrialisés [9].

- ❖ La transplantation d'organes et la maladie rénale chronique : la prévalence de l'OATF dans la transplantation d'organes a été estimée entre 3 et 41 %. [10].

- ❖ L'OATF post traumatique : l'OATF peut survenir après une fracture (6 à 24 mois), après une luxation, ou après un traumatisme indirect. [5]

- ❖ Les troubles hématologiques :

La Drépanocytose : L'OATF est fréquente dans ce contexte en raison de l'obstruction intravasculaire liée à la forme des globules rouges. Le contexte clinique aide généralement au diagnostic.

Leucémie et lymphome : Dans la leucémie aiguë lymphoblastique, la leucémie myéloïde chronique et le lymphome myéloïde aigu, il existe un risque accru d'ostéonécrose. Les stéroïdes semblent être le principal facteur de risque [11].

- ❖ Autres facteurs de risques : le diabète, la maladie de Cushing, la pancréatite, la coagulation

intravasculaire, l'hyperuricémie/goutte,
l'infection à VIH, l'hémochromatose,
l'hyperlipidémie.

4.2. Place de l'imagerie dans le diagnostic de l'OATF.

Les six patients adressés par des confrères de pays voisins sont une illustration de la nécessité d'accroître l'offre médicale en terme d'imagerie en Afrique de l'Ouest. Cette offre devant particulièrement se renforcer par l'IRM et la SPECT/CT.

En règle générale, les principales modalités d'imagerie usitées sont : la radiologie conventionnelle et la TDM, la SO, l'IRM qui est l'examen de référence.

❖ La Radiologie conventionnelle et la TDM :

La TDM a mis en évidence l'OATF chez 25 patients (40,32%) dans notre série contre 62% en Côte d'Ivoire [4]. En règle générale les clichés radiographiques sont le plus souvent normaux au début et peuvent le rester longtemps. Ils peuvent montrer une hypodensité relative, une condensation irrégulière due à la revascularisation de l'os nécrosé, une déformation et un tassement de l'épiphyse nécrosée.

Ils peuvent mettre en évidence des plages d'ostéolyse cerclée d'un liseré calcifié pathognomonique, bien limité.[12]

La classification de Ficat et Arlet évalue les signes radiologiques de l'ostéonécrose avasculaire en 4 stades évolutifs [13] :

- Au stade 1, il n'existe pas d'anomalie radiologique.
- Au stade 2, on observe des anomalies de transparence ou une condensation en bandes.
- Au stade 3, on observe une dissection sous-chondrale en coquille d'œuf et une perte de la sphéricité de l'épiphyse par enfoncement du foyer de nécrose. L'interligne articulaire est respectée.
- Au stade 4, on observe un effondrement de l'épiphyse et une arthrose secondaire.

Cette classification a une faible reproductivité intra et inter observateurs.

❖ L'IRM :

L'IRM est l'examen de référence. [14] Elle n'a pas été utilisée dans notre série. Elle n'a pas été non plus utilisée dans les séries ivoirienne, sénégalaise et malienne [4,2,1]. Pourtant, l'IRM reste l'examen le plus sensible si bien qu'elle demeure « l'étalon or » pour le diagnostic de l'ONATF toutes étiologies confondues.

Elle montre l'atteinte controlatérale éventuelle et permet le diagnostic différentiel. Elle met en évidence plusieurs signes en faveur de l'ostéonécrose avasculaire. Le liseré de démarcation peut apparaître en " double ligne ", avec hypersignal T2 plus interne (ou plus postérieur), doublé

d'un hypersignal T2 externe (ou antérieur) selon le plan de coupe.

Ce liseré de démarcation est concave vers l'articulation. Le contenu du territoire nécrotique est variable. On peut observer :

- un aspect normal (graisse), hétérogène en cas de collapsus avec des plages de nécrose en hypersignal T1 et T2 ;
- des plages de granulation vascularisée en hypersignal intermédiaire T2 ;
- des stries de fractures en hypersignal T1 et T2 ;
- et des zones de dissection sous-chondrale ou de géodes de type liquidien.

Le territoire nécrotique a souvent une forme grossièrement triangulaire.

❖ La Scintigraphie osseuse :

La scintigraphie osseuse trois temps est un examen très sensible. Elle permet de dépister les atteintes silencieuses et les formes multifocales.

Elle est réalisée en trois temps [16] :

- Le temps dynamique, correspondant au passage du traceur dans les artères nutritives, les capillaires ostéoniques et à sa diffusion dans les espaces liquidien péri vasculaires. Elle étudie l'invasion vasculaire ou angioscintigraphique.

- Le temps précoce, correspondant au passage du traceur à travers la barrière ostéoblastique et à son entrée dans les espaces liquidien intra-osseux. Elle étudie la distribution vasculo-tissulaire ou pool sanguin.

- Le temps tardif étudie la captation des diphosphonates par le tissu osseux qui croît progressivement dans le temps de façon exponentielle pour atteindre un plateau vers la fin de la première heure : c'est la phase osseuse.

GOTTSCHALK décrit 4 types d'atteintes scintigraphiques évolutifs :

- Le type I est précoce (moins d'un 1 mois).

On peut observer une hypoperfusion de la zone pathologique au temps vasculaire, associée à une hypofixation centrale de la tête fémorale au temps osseux, par interruption de l'apport sanguin. Cette présentation scintigraphique est très évocatrice de l'ostéonécrose (sensibilité 85-90%), mais elle est rarement rencontrée. A ce stade, la radiologie est normale.

- Le type II (généralement entre 1 et 4 mois) reflète la revascularisation précoce. Il apparait, au temps osseux, un anneau d'hyperfixation qui entoure la zone d'hypofixation centrale, puis rapidement l'hyperfixation augmente vers la zone de nécrose au fur et à mesure que l'os se répare. Ce tableau, appelé " signe de la cocarde " (cold-in-hot) est l'image la plus caractéristique.

A ce stade, les clichés radiographiques montrent une augmentation de la densité de la tête fémorale.

- Le type III montre une hyperfixation de l'épiphyse pathologique, prédominant dans les régions de contraintes

maximales (pôle supéro-externe de la tête fémorale). Secondairement, cette hyperfixation s'étend vers le col fémoral et la région inter-trochantérienne.

- Le type IV représente un retour à la normale avec guérison complète.

Lorsque l'ostéonécrose n'est plus évolutive, la fixation scintigraphique diminue, puis se normalise.

Notre série était caractérisée par une prépondérance des atteintes Gottschalk II, suivies des types III et I.

La SO reste plus sensible que la TDM et la radiologie standard. Ceci a été confirmé dans une étude ivoirienne dans laquelle la sensibilité de la SO était de 100 % contre 62 % pour la TDM [4].

Cependant la sensibilité et la spécificité de l'IRM dans le diagnostic de l'ONATF sont meilleures que celles de la scintigraphie osseuse planaire [16].

❖ La TEMP/TDM ou SPECT CT [16]

Elle n'est pas encore disponible dans notre contexte.

Elle montre l'hyper et/ou l'hypofixation épiphysaire et la localise en regard des anomalies morphologiques classiques de l'ostéonécrose avasculaire mises en évidence sur les images TDM.

En début d'évolution, l'hypofixation ou l'hyperfixation épiphysaire est isolée, sans anomalies TDM.

Dans les ostéonécroses anciennes, non évolutives, il n'existe plus d'hyperfixation tomoscintigraphique significative, mais les images TDM montrent des remaniements morphologiques séquellaires de l'ostéonécrose ou une arthrose épiphysaire secondaire à l'ostéonécrose.

Conclusion

L'OATF peut se voir à tout âge. Une prise en charge adéquate et précoce peut permettre de sauver la hanche atteinte. L'imagerie joue un rôle majeur dans la prise en charge de l'OATF. La SO est sensible dans la détection de l'OATF avant l'apparition de la symptomatologie clinique. Ce qui la rend particulièrement indiquée dans notre contexte. Lorsque l'IRM est disponible et n'est pas contre indiquée, la SO est la modalité diagnostique à utiliser en deuxième intention. Son déficit de spécificité est largement compensé par le rattachement du tableau scintigraphique au contexte clinique.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

Références

1. Coulibaly Y et al. Ostéonécrose aseptique de la tête fémorale chez les drépanocytaires : aspects épidémiologiques et thérapeutiques dans le service de chirurgie orthopédique et traumatologique du CHU Gabriel TOURE de Bamako, MALI. *Mali médical* 2009 ; tome xxiv : n°4.
2. Diop S, Mokono SO, Ndiaye M et al. Homozygous sickle cell disease in patients above 20 years of follow-up of 108 patients in Dakar. *Rev Med Interne*, 2003 ; 24(11) :711-5.
3. Gamedzi Komlatsè Akakpo-Numado et al. Les ostéonécroses aseptiques de la tête fémorale chez l'enfant drépanocytaire. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*. 2008 ;18(4) :231-233. Doi :10.1684/san.2008.0126.
4. Kouamé-Koutouan et al. Nouvelle stratégie dans le diagnostic, la prévention et le suivi de l'ostéonécrose drépanocytaire en Côte d'Ivoire à partir de la scintigraphie osseuse. *Médecine Nucléaire* 33 (2009) 604–608. Elsevier Masson.
5. Mont MA, Salem HS, Piuze NS, Goodman SB, Jones LC. Non traumatic osteonecrosis of the femoral head: where do we stand today? : A 5-year update. *J Bone Joint Surg Am* 2020 ;102 :1084-99.
6. Chang C, Greenspan A, Gershwin ME. The pathogenesis, diagnosis and clinical manifestations of steroid-induced osteonecrosis. *J Autoimmun* 2020 ;110 :102460.
7. Hong G, Han X, He W, Xu J, Sun P, Shen Y, et al. Analysis of circulating microRNAs aberrantly expressed in alcohol-induced osteonecrosis of femoral head. *Sci Rep* 2019 ;9 :18926.
8. Guggenbuhl P, Grosbois B, Chalès G. Gaucher disease. *Joint Bone Spine* 2008 ;75 :116-24.
9. Lespasio MJ, Sodhi N, Mont MA. Osteonecrosis of the hip : a primer. *Perm J* 2019 ;23 :18-00.
10. Marston SB, Gillingham K, Bailey RF, Cheng EY. Osteonecrosis of the femoral head after solid organ transplantation: a prospective study. *J Bone Joint Surg Am* 2002 ;84 :2145-51.
11. Kunstreich M, Kummer S, Laws HJ, Borkhardt A, Kuhlen M. Osteonecrosis in children with acute lymphoblastic leukemia. *Haematologica* 2016 ;101 :1295-305.
12. Steinberg ME. Diagnostic imaging and the role of stage and lesion size in determining outcome in osteonecrosis of the femoral head. *Techn Orthop* 2001 ; 16 : 6–15.
13. Mont MA, Marulanda GA, Jones LC et al. Systematic analysis of classification systems for osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am* 2006 ; 88 (Suppl 3) : 16–26.
14. Stevens K, Tao C, Lee SU et al. Subchondral fractures in osteonecrosis of the femoral head : comparison of radiography, CT, and MR imaging. *Am J Roentgenol* 2003 ; 180 : 363–368.
15. Paycha F, Richard B. Exploration scintigraphique du squelette. *Encycl Méd Chir, Radiodiagnostic. Squelette normal* 2001 ; 30-480-A-10 : 37 p.
16. Pierce TP, Jauregui JJ, Cherian JJ et al. Imaging evaluation of patients with osteonecrosis of the femoral head. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2015 ; 8 :221–227.