Stratégies diagnostique et thérapeutique des fractures de fatigue : à propos de trois observations et mini revue de la littérature

C. Lebleu[a], A. Buzens[a], E. Montaigu[b], E. Fontaine[a], N. Hourt[c], R. Kedzierewicz[a]

a Antenne médicale de Barby/13e BCA, Quartier Roc Noir, route de Barby, BP 01 – 73235 Saint-Alban-Leysse.
b HIA Desgenettes, 108 boulevard Pinel – 69275 Lyon Cedex 03.
c Antenne médicale de Cran Gevrier, 27e BCA, quartier Tom Morel, BP 27 – 74962 Cran Gevrier Cedex.

Résumé

La fracture de fatigue reste une pathologie fréquente en milieu sportif et militaire. Si son incidence semble diminuer ces dernières années au sein des armées, probablement du fait d'une meilleure progressivité de la formation initiale, elle augmente en pratique civile. Au travers de trois observations cliniques, nous mettons en évidence une disparité des pratiques médicales avec un retard manifeste au diagnostic et à la mise en place du traitement. Le but de ce travail est donc d'harmoniser cette prise en charge en proposant des stratégies diagnostique et thérapeutique. L'échographie pourrait être proposée en première intention pour les os superficiels. La radiographie est associée à un retard diagnostique, notamment quand elle est réalisée précocement. En dehors de certaines localisations pour lesquelles la scintigraphie osseuse reste préférée, l'imagerie par résonnance magnétique est devenue l'examen paraclinique de choix. Ces deux examens permettent en outre d'établir le grade de sévérité de ces fractures, lequel est corrélé au temps de repos nécessaire avant la reprise des activités sportives. La topographie des lésions permet, quant à elle, de préciser le risque des complications dont va dépendre le traitement. Celui-ci est le plus souvent fonctionnel : repos voire décharge, antalgiques et kinésithérapie dont les indications et les techniques restent à préciser. Le traitement chirurgical d'emblée ou secondaire est exceptionnel.

Mots-clés : Classification. Fracture de fatigue. Imagerie par résonnance magnétique. IRM.

Abstract

STRESS FRACTURES DIAGNOSES AND THERAPEUTIC STRATEGIES: A PRESENTATION OF 3 REMARKABLE CASES AND A MINI-REVIEW.

Stress fractures remain a frequent pathology among both athletes and servicemen and women. While in recent years, they appear to have decreased among the Armed Force (probably the result of a more gradual initial training), they have increased among the civilian population. This paper reports on three clinical observations; a disparity of medical practices with a clear delay in diagnosis and treatment are highlighted. The purpose of this work is to harmonize medical support by providing diagnoses and therapeutic strategies. Ultrasounds may be proposed for superficial bones. Radiography is associated with a delay in diagnosis, especially when performed early. Apart from certain locations where scintigraphy remains the best option, magnetic resonance imaging (MRI) has become the test of choice. The severity of the fractures, correlated to the return-to-sport time, can be assessed. The topography of the lesions helps clarify the risk of complications, which determines the choice of treatment. The latter is mostly functional: rest even discharge, painkillers and physiotherapy; the indications and techniques remain to be clarified. Surgical treatment immediately or later is exceptional.

Keywords: Classification. Magnetic resonance imaging. Stress fracture.

C. LEBLEU, médecin en chef, praticien confirmé. A. BUZENS, médecin principal. E. MONTAIGU, interne des hôpitaux des armées. E. FONTAINE, médecin. N. HOURT, médecin principal. R. KEDZIEREWICZ, médecin principal.
Correspondance : Monsieur le médecin en chef C. LEBLEU, Antenne médicale de Barby/13e BCA, Quartier Roc Noir, route de Barby, BP 01 – 73235 Saint-Alban-Leysse.
E-mail : christophe1.lebleu@intradef.gouv.fr

Introduction

Définition

Les fractures de contraintes ou « *stress fracture* » pour les Anglo-Saxons (1) regroupent deux entités distinctes

dans la littérature francophone : les fractures de fatigue et les fractures par insuffisance osseuse.

Les fractures de fatigue sont dues à une défaillance d'adaptation de l'os à une surcharge fonctionnelle. Elles sont la conséquence de contraintes mécaniques sous maximales répétées (intensité inférieure au seuil fracturaire classique) sur un os ayant une résistance élastique normale (1-4). À l'inverse, les fractures par insuffisance osseuse sont liées à des contraintes habituelles de la vie quotidienne sur un os aux propriétés mécaniques altérées (1).

Historique

En 1855, Breithaup décrit des œdèmes douloureux du dos du pied après une longue marche de soldats prussiens (2, 5, 6). En 1887, toujours sur des militaires, Pauzat diagnostique des « périostites ostéoplasiques des métatarsiens après une longue marche » (7), mais il faut attendre 1897 pour qu'un lien soit établi entre les symptômes rapportés et des fractures de métatarsiens visualisées en radiologie. En 1976, Gelsen montre l'intérêt diagnostique de la scintigraphie osseuse dès l'apparition des symptômes cliniques.

Physiopathologie

L'os normal a la capacité de s'adapter à des contraintes mécaniques grâce à un remodelage osseux permanent : la résorption osseuse témoigne d'une réaction ostéoclastique alors que la reconstruction osseuse est liée à l'activité ostéoblastique. Pour des contraintes peu importantes, des fissures très localisées se forment et sont immédiatement réparées. L'équilibre entre destruction et reconstruction est respecté et aucune lésion n'apparaît (1, 8, 9). En revanche, lors de contraintes mécaniques inhabituelles, on observe un hyper-remodelage osseux (5). Lorsque le stress est trop important, l'activité ostéoclastique surpasse même celle des ostéoblastes. Sur le plan histologique, les fissures microscopiques ne vont plus être comblées suffisamment rapidement et vont se propager ; en l'absence de mise au repos, celles-ci vont se rejoindre et conduire à la fracture (1, 3, 5, 6). Chronologiquement, la réponse ostéoclastique débute en premier, cinq jours après une contrainte excessive, avec un pic d'activité à trois semaines. La réaction ostéoblastique est plus tardive. Ainsi la période de fragilité osseuse maximale, durant laquelle la fracture de fatigue peut survenir, se situe autour du 30e jour après le début de l'accroissement des contraintes. C'est à cette période que va se produire la fracture de fatigue en cas de poursuite des contraintes et d'un remodelage osseux par conséquent dépassé (5, 6, 10). Ceci explique l'existence d'un délai entre le début des contraintes mécaniques inhabituelles et la survenue de la symptomatologie clinique évocatrice (cinq semaines en moyenne dans l'étude de Comas, et al. (11)). Ce délai doit être pris en compte dans l'orientation diagnostique.

Sur un plan purement mécanique, les contraintes exercées sur l'os peuvent être dues à différents types de forces :

– celles exercées par le poids du corps, sur les os porteurs des membres inférieurs par exemple ;

– celles liées à l'action des muscles au niveau des os non porteurs, du fait d'une adaptation plus rapide du muscle à l'accroissement des contraintes.

La longueur de l'os et ses propriétés structurelles vont intervenir dans sa capacité de résilience (3, 6). En fonction de la direction des contraintes exercées, on distingue des fractures par distraction en général au niveau des corticales convexes (corticale antérieure du tibia, corticale supérieure de col fémoral), à haut risque de complication, et des fractures par compression au niveau des corticales concaves (corticale postérieure du tibia, os spongieux du col fémoral, métaphyse tibiale, ou os courts (calcanéum)) de meilleur pronostic ; l'os subit également des forces de torsion et vibration. Ainsi, le siège de la fracture va dépendre du type de force exercée donc du type d'activité physique ; ces considérations vont expliquer les différences d'incidence et de localisation en fonction du sport pratiqué.

Épidémiologie

Même si le taux d'incidence varie selon les études, les fractures de fatigue représenteraient jusqu'à 10 % de l'ensemble des pathologies liées à la pratique du sport (3, 5), voire jusqu'à 31 % en course à pied (2), notamment chez les sportifs de haut niveau. Il semble exister une tendance à l'augmentation de l'incidence de ces fractures, surtout au niveau des membres inférieurs, chez les pratiquants de course à pied pour le loisir (12).

Au sein de l'armée, les jeunes recrues sont particulièrement exposées. Selon les études, durant la période de formation initiale de huit semaines de l'*US Army*, le taux d'incidence varie de 0,9 à 5,2 % chez les hommes et de 3,4 à 21 % chez les femmes (13). Au sein des *Marines*, le taux d'incidence sur les douze semaines de formation initiale varie de 0,8 à 4 % chez les hommes et de 3 à 5,7 % chez les femmes (13). L'incidence semble toutefois diminuer avec l'adoption de programmes d'entraînement adaptés au cours de la période d'instruction (13, 14). Dans l'armée française, les données sont équivalentes (11) et la mise en place des centres de formation initiale des militaires du rang de l'armée de Terre a probablement permis d'améliorer la progressivité des activités physiques.

Toutes pratiques sportives confondues, 95 % des lésions se situent au niveau des membres inférieurs avec une nette prédominance pour le tibia (de 23,6 % à 49,1 % des cas), puis l'os naviculaire (17,6 %), le métatarse (16,2 %), la fibula (15,5 %), le fémur (6,6 %), le pelvis (1,6 %) et la colonne vertébrale (0,6 %) (3, 4, 12, 13, 15, 16). Le calcanéum est également une localisation fréquente, certaines études la plaçant en deuxième position derrière l'atteinte tibiale (6).

À cause des différences de forces exercées, la topographie des fractures varie en fonction du sport pratiqué (4). Si, en volume, la course à pied est la plus pourvoyeuse de fracture de fatigue (3), au prorata du nombre de pratiquants, certaines disciplines sont plus à risque. Une étude japonaise, portant sur 196 sportifs de bon niveau atteints d'une fracture de fatigue, a permis

d'établir des liens entre proportion ou topographie des fractures et les sports pratiqués (tab. I et II) (17). Les sportifs pratiquant l'athlétisme ou la course à pied ont un risque plus important d'atteinte des tibias, du métatarse, du tarse, et du pelvis. Pour le tibia, le tiers intermédiaire et le tiers distal de la diaphyse sont le plus souvent atteints chez les coureurs de longue distance, le tiers proximal plutôt chez les enfants et les coureurs de courte distance (1). Au sein de la population militaire, dont l'entraînement physique comporte beaucoup de course à pied ou marche forcée avec sac lourd, passage d'obstacles avec saut, on retrouve des données équivalentes, avec des localisations fémorales et calcanéennes plus fréquentes (11, 13, 18) (tab. III et IV). Même si d'autres études donnent des chiffres quelque peu différents (4, 6), on peut toutefois établir que la symptomatologie présentée par le patient mise en balance avec le type de sport pratiqué, peuvent être un élément d'aide à l'orientation diagnostique.

Facteurs de risque

Même si les études sont parfois contradictoires, un certain nombre de facteurs de risque de fracture de fatigue ont été répertoriés, parmi lesquels le sexe féminin (3, 5, 12, 13, 19), le fait d'être caucasien (13), une densité osseuse inférieure à la normale (notamment au niveau des membres inférieurs et du bassin), un faible contenu minéral osseux (11, 13), certains facteurs anatomiques comme une inégalité de longueur des membres inférieurs (2, 3, 12, 13) ou des troubles statiques du pied (2, 12), la consommation de tabac ou d'alcool (16, 20), des carences nutritionnelles en calcium ou en vitamine D (2, 14, 20, 21), des perturbations hormonales liées à un retard pubertaire ou une aménorrhée (2, 3, 8, 9, 13, 14). Cette dernière, lorsqu'elle est associée à des troubles du comportement alimentaire et à une diminution de la densité osseuse constitue la « triade de l'athlète féminine ». Des facteurs extrinsèques sont

Tableau I. Proportion des fractures de fatigue par activité sportive (17).

Sport pratiqué	Nombre de fracture de fatigue	Pourcentage de fracture de fatigue
Basket ball	44	3,8
Base ball	24	1,7
Athlétisme	20	6,0
Aviron	17	9,2
Gymnastique	13	12,3
Football	11	2,1
Danse classique	9	11,8
Volleyball	6	2,7
Rugby	5	1,7
Tennis	5	1,4

Tableau III. Distribution des 184 fractures de fatigue diagnostiquées chez 91 recrues militaires d'après l'étude de Milgrom, et al. (18).

Localisation	Nombre	Pourcentage	Total pourcentage
Bassin	3	1,6	1,6
Fémur : proximal	21	11,4	29,8
moyen	17	9,2	
distal	17	9,2	
condyle médial	7	3,8	
Tibia : plateau proximal	9	4,9	56
moyen	15	8,2	
distal	75	40,8	
	4	2,2	
Tarse	2	1,1	8,7
Métatarse	14	7,6	

Tableau II. Proportions des fractures de fatigue selon leur topographie et le sport pratiqué (17).

Sport pratiqué	Diaphyse tibiale	Côte	Métatarse	Olécrane	Pubis	Malléole tibiale	Sésamoïde 1er orteil	Autres
Basket ball	47,7	2,3	18,2	2,3	0	15,9	9,1	4,5
Base ball	16,7	25,0	0	58,3	0	0	0	0
Athlétisme	25,0	0	10,0	0	35,0	0	0	30,0
Aviron	0	88,2	5,9	0	0	0	0	5,9
Gymnastique	84,6	7,7	7,7	0	0	0	0	0
Football	36,4	9,1	9,1	0	18,2	0	9,1	18,1
Danse classique	88,9	0	0	0	0	0	0	11,1
Volleyball	50,0	0	0	0	0	16,7	16,7	16,6
Rugby	40,0	0	0	0	20,0	0	0	40,0
Tennis	80,0	20,0	0	0	0	0	0	0

Tableau IV. Distribution des 83 fractures de fatigue chez 42 jeunes recrues militaires d'après l'étude de Comas, et al. (11).

Localisation	Nombre	Pourcentage
Fémur	11	13
Tibia	41	49,5
Scaphoïde tarsien	5	6
Métatarse	10	12
Calcanéus	16	19,5

également incriminés comme une pratique sportive à basse intensité et à répétition élevée comme la course à pied, l'utilisation de chaussures inadaptées au type de pratique, et surtout une intensification de la charge de travail à l'entraînement (13).

Observations cliniques

Nous rapportons trois observations médicales mettant en exergue une disparité des pratiques quant aux moyens diagnostiques et thérapeutiques de cette pathologie.

La radiographie d'abord ?

Un militaire, âgé de 19 ans, sans antécédent se plaint quatre mois après son engagement d'une talalgie gauche progressivement croissante. Le diagnostic de talonnade est posé sans exploration complémentaire. Deux mois plus tard, il présente une récidive douloureuse lors de la course à pied conduisant à un arrêt de sport pendant douze jours. Le patient présente une rechute à la reprise progressive des activités préconisées devant l'amélioration clinique. Orienté alors par son médecin civil auprès d'un orthopédiste, une radiographie de l'arrière pied est prescrite, montrant une condensation de la grosse tubérosité calcanéenne faisant évoquer une fracture de fatigue, confirmée par une scintigraphie osseuse. Celle-ci met en évidence une hyperfixation calcanéenne d'intensité modérée, évoquant, pour le radiologue, une lésion presque consolidée. Un repos sportif de trois mois et la confection d'orthèses plantaires permettent une reprise du sport sans récidive.

Plusieurs années plus tard et 9 mois après une fracture rachidienne traumatique traitée par un corset pendant 4 mois, survient une talalgie bilatérale progressivement croissante sur une semaine au décours de marches, sans orthèses plantaires, et d'un piétinement intensif la veille en boîte de nuit. Cliniquement, la palpation des deux calcanéums est douloureuse et une ecchymose de la voûte plantaire droite est visible. Les radiographies sont normales. Une Imagerie par résonnance magnétique (IRM) plutôt qu'une scintigraphie est prescrite. Celle-ci retrouve un hyposignal en T1 des deux calcanéums, évoquant une fracture de fatigue bilatérale. Aucune gradation de la sévérité n'est établie. Un traitement fonctionnel par repos relatif est préconisé durant trois mois avec une remise en charge prudente et progressive en balnéothérapie, sans séquelle ou rechute à ce jour.

Et pourquoi pas l'échographie ?

Un militaire, âgé de 22 ans, aux antécédents de fractures traumatiques multiples présente un mois après son incorporation une douleur progressivement croissante du tiers supérieur du tibia gauche simulant une gonalgie médiale. L'examen clinique est normal. Après une période de repos préconisée sans exploration complémentaire, le patient consulte à nouveau un mois plus tard du fait de la persistance de douleurs. Une échographie, pratiquée dans ce contexte de gonalgie basse, montre une irrégularité de la corticale avec un aspect soufflé et bourgeonnant étagé sur 4 cm ; les parties molles en regard sont hypoéchogènes du fait d'un œdème, sans collection. L'IRM permet de diagnostiquer une fracture de fatigue de la corticale postérieure du tibia (images en bandes traversant le tibia en hyposignal T1 et hypersignal T2 en faveur d'un œdème médullaire associé à un épaississement de la corticale postérieure et à un œdème des parties molles adjacentes). Aucun score de sévérité n'est établi. De manière empirique, une décharge complète de quatre semaines est préconisée avant une remise en charge sur quinze jours puis une reprise très progressive des activités physiques. Le patient est revu un mois après suite à une rechute douloureuse tibiale associée à une douleur du calcanéum gauche et de la crête tibiale droite. Une scintigraphie osseuse réalisée plutôt qu'une IRM retrouve la même fracture de la diaphyse tibiale gauche associée à une autre du calcanéum gauche et à une périostite tibiale bilatérale. Le patient est alors mis au repos pour plusieurs mois et sa reprise se fait sans encombre jusqu'à la survenue, huit mois plus tard, d'une récidive des périostites tibiales bilatérales.

Ah, la radiographie ! Si j'avais vu…

Une militaire, âgée de 21 ans, sans antécédent notable présente, un mois et demi après son incorporation, des coxalgies bilatérales prédominantes à gauche lors de la course à pied, croissantes sur 15 jours. Se décidant à consulter, l'examen clinique retrouve une boiterie et une douleur provoquée lors du *testing* des tendons fléchisseurs et adducteurs des cuisses. Les radiographies du bassin et de la hanche sont normales. Le diagnostic d'enthésopathie est posé et un arrêt du sport de deux semaines avec décharge partielle est prescrit. Devant la rechute douloureuse à la reprise des activités, de nouveaux clichés radiologiques sont réalisés dix jours plus tard, interprétés comme normaux. Une IRM, réalisée trois mois après le début des douleurs, montre au niveau du col fémoral gauche sur les séquences en T1 une zone en hyposignal, persistant en saturation de graisse, rehaussé après injection de gadolinium, et sur les séquences en T2, une zone en hyposignal au milieu de l'hypersignal. Une Tomodensitométrie osseuse (TDM), préconisée par le radiologue pour étayer le diagnostic de fracture de fatigue, montre une zone d'ostéo-condensation hyperdense à gauche, avec en son sein une petite image linéaire hypodense et des petites irrégularités de la corticale, évoquant une fracture de fatigue. Il est également découvert

une petite plage d'ostéo-condensation du col fémoral droit, moins marquée qu'à gauche, centrée par une petite image hypodense linéaire, correspondant pour le radiologue à une lésion similaire à minima. *A posteriori,* en réinterprétant les examens, on visualise sur les radiographies une zone de condensation osseuse à la base du col fémoral gauche et en IRM sur les séquences en T2 saturation de graisse, un hypersignal du col fémoral droit moins prononcé qu'à gauche. Un repos sportif de plusieurs mois est préconisé mais avec une observance limitée conduisant à un retard de consolidation. Ainsi, l'interruption sportive, de la course à pied en particulier, durera quinze mois avec des contrôles en TDM itératifs jusqu'à ce que l'évolution soit favorable.

Ces observations soulèvent plusieurs questions :

– quelle est la stratégie la plus efficace pour conduire rapidement au diagnostic et débuter le traitement optimal ?

– quelle thérapeutique adopter et en particulier quelle durée de repos préconiser avant la reprise des activités sportives ?

– peut-on et doit-on prendre en compte les éléments de gravité ?

– pour le suivi de la consolidation, existe-t-il un intérêt à prescrire des examens paracliniques périodiques ?

Ce travail s'est donné pour objectif de répondre à ces questions et de proposer une démarche standardisée.

Diagnostic

Clinique

La douleur mécanique, maître symptôme de la fracture de fatigue, est d'abord insidieuse, diffuse, d'intensité progressivement croissante, survenant initialement au cours de l'effort et réduite au repos. Elle va s'intensifier au fur et à mesure, possiblement se localiser et persister au repos. L'interrogatoire permet de rechercher l'absence de cause macro-traumatique mais l'existence de facteurs favorisants comme la modification d'un entraînement, de la surface de course à pied, du type de chaussage, ou l'intensification de l'entraînement depuis quelques semaines chez une personne plus ou moins sportive (1, 3, 6, 11, 15, 22). Comas, et al. ont montré que le délai moyen entre le début d'une formation initiale militaire et la survenue des premiers symptômes était de cinq semaines (11). D'autres études ont montré qu'au sein de la population militaire, les fractures de fatigue survenaient dans les premières semaines des formations initiales (2) et plus précisément entre la deuxième et la quatrième semaine incluse (18). Comme on l'a vu précédemment, ce délai correspond à la période de fragilité osseuse consécutive aux contraintes mécaniques. La recherche des facteurs de risque et d'un antécédent de fracture de fatigue est également utile, comme le démontrent nos cas cliniques. La zone incriminée peut aussi être mise en balance avec les atteintes les plus fréquentes selon le type de sport pratiqué.

L'examen clinique est assez pauvre. Au niveau des os superficiels, il faut rechercher une douleur exquise à la palpation avec tuméfaction des parties molles en regard (1, 6). Pour les atteintes profondes, l'examen est difficile et le risque d'erreur diagnostique s'accroît, conduisant souvent à un retard à la prise en charge et au risque de complications, en particulier au niveau fémoral (3, 23). Certains tests cliniques ont été décrits : le test du levier ou *fulcrum test* pour le fémur (fig. 1) (2, 8, 22, 24) ; le *faber test* au niveau sacré (fig. 2) (2). Le *hop test* (douleur exquise provoquée en sautant sur la jambe suspecte), de bonne sensibilité, est utilisé pour les fractures des membres inférieurs mais manque de spécificité et se voit dans plus de 45 % des périostites tibiales médiales. L'épreuve du diapason ou *tuning fork test* (douleur localisée induite par l'application d'un diapason sur la zone suspecte) manque de sensibilité et spécificité (valeur prédictive positive de 77 % et valeur prédictive négative de 63 % pour les fractures tibiales) (15).

Diagnostic positif par imagerie

Les radiographies

De faible coût et d'accès facile, des radiographies peuvent être réalisées, comprenant au moins deux



Figure 1. *Fulcrum test* utilisé pour le diagnostic des fractures du col fémoral. La décoaptation de la tête fémorale en plaçant l'avant bras sous le tiers supérieur de la cuisse et en appuyant sur la jambe homolatérale occasionne la douleur habituelle du patient.



Figure 2. ***Faber test*** **utilisé pour le diagnostic des fractures du sacrum. Hanche correspondante en flexion-abduction–rotation externe, pied posé sur le genou controlatéral, l'application d'une pression sur le genou homolatéral entraîne la même douleur élective ressentie par le patient.**

incidences bien perpendiculaires, voire obliques ou des clichés comparatifs pour mieux visualiser les premiers signes (6). Il est ainsi important de bien préciser au radiologue ce que l'on recherche. Au stade initial, leur sensibilité est faible, autour de 10 %, mais elle augmente entre 30 et 70 % après trois semaines d'évolution (15).

Les aspects radiographiques vont dépendre du délai, de la topographie, du type d'os (cortical ou spongieux), et de la mise au repos précoce ou non. Les premiers signes vont apparaître dix à quinze jours après la douleur. Au niveau de l'os cortical, on va visualiser un aspect flou avec diminution de la densité au niveau du bord cortical (stade de la résorption osseuse), puis une fine lamelle dense parallèle à celui-ci. La fissure corticale est très inconstante et visible à un stade plus avancé (« cheveu sur de la porcelaine »). Si le repos est observé, l'apposition périostée va former un véritable cal dense et la réaction endostée va être visible sous la forme d'une condensation. À l'inverse, quand l'hypersollicitation se poursuit, soit la fissure corticale peut aboutir à une fracture complète, soit la réaction périostée peut ne pas aboutir à un cal mais prendre un aspect multi lamellaire ou spiculé qui peut masquer le trait et orienter vers d'autres diagnostics tels une pathologie maligne ou infectieuse. Au niveau de l'os spongieux, l'impaction des travées osseuses (fracture en compression) et la formation du cal vont être responsables de la densification de l'os trabéculaire perpendiculairement aux travées. Cela va se traduire par des bandes denses, de plus en plus nettes à mesure que le temps passe, pouvant même confluer et prendre un aspect en plage (1, 5, 6).

L'échographie

Cet examen semble être intéressant pour les os superficiels (métatarses), notamment à la phase précoce alors que les radiographies sont encore normales. Les signes peuvent être directs ou indirects (1, 6) :

– solution de continuité ou irrégularité de la corticale avec épaississement hyperéchogène ;

– plage anéchogène signant la présence d'une collection sous-périostée ;

– épaississement des parties molles au contact de la corticale avec un signal en doppler traduisant une hypervascularisation.

Une étude a dévoilé une sensibilité de 83,3 % pour une spécificité de 75 %, une valeur prédictive positive de 58,8 % et une valeur prédictive négative de 91,7 % (2, 15). Même s'il est opérateur-dépendant et que d'autres travaux sont nécessaires pour évaluer complètement sa place dans la démarche diagnostique, elle semble avoir un intérêt en débrouillage (5, 15, 25) et pourrait même être l'examen de choix à la phase précoce pour les os superficiels.

La scintigraphie osseuse au Technétium 99m

Il s'agit d'un examen d'une grande sensibilité (74 à 87 %). L'hyperfixation est précoce, prolongée et intense. Lorsqu'elle est multifocale, cela représente un argument diagnostique fort. La scintigraphie permet de dévoiler des foyers cliniquement muets au stade pré-fracturaire (1, 6). Toutefois, elle manque de spécificité (33 %) (2) puisqu'elle traduit seulement une agression osseuse avec une activité ostéogénique (aspect d'hyperfixation retrouvé également lors d'infections osseuses ou de lésions tumorales) (15). Ce manque de spécificité a été grandement amélioré, ainsi qu'un gain en sensibilité, par le développement de l'imagerie hybride en particulier la tomographie par émission monophotonique couplée à la tomodensitométrie. Malgré l'équipement croissant des services de médecine nucléaire français, l'utilisation de ce type de matériel dans le diagnostic des fractures de fatigue n'a pas encore été bien évaluée (26).

Par ailleurs, Zwas, et al. ont défini une gradation des atteintes en fonction des images obtenues en scintigraphie (tab. V) (27).

L'imagerie par résonnance magnétique

Malgré des limites de coût et de disponibilité, pour de nombreux auteurs, l'IRM a supplanté la scintigraphie osseuse (15). De sensibilité égale voire meilleure (entre 86 et 100 %), sa spécificité est plus grande (100 %) (1, 15). Elle permet aussi de détecter des lésions infracliniques qui correspondent à des zones hypersollicitées, possiblement en stade pré-fracturaire. Réalisée sans et avec injection de gadolinium, les séquences utiles sont celles en T1 pour explorer les atteintes corticales et celles en T2 avec saturation du signal de la graisse qui permettent de mieux visualiser l'œdème médullaire. Ainsi au niveau de l'os cortical, on verra des plages en hyposignal sur les séquences pondérées en T1 et en hypersignal en T2 correspondant à l'œdème médullaire, associées de manière inconstante au trait de fracture en hypersignal relatif en T1, lequel se rehausse en T2 surtout après injection de gadolinium. Au niveau de l'os spongieux, on visualise un hyposignal en bande sur toutes les séquences qui, en T1, peut masquer la fracture, laquelle sera mieux vue en T2 sous la forme d'un hyposignal au milieu de l'hypersignal (6) (fig. 3, 4).

Fredericson, et al. ont décrit, initialement sur des fractures tibiales, cinq stades de gravité croissante (tab. V) (28, 29). Cette gradation, superposable à

Tableau V. Grades de sévérité des fractures de fatigue en imagerie (10, 28, 29).

Grade	Radiographie	Scintigraphie	IRM
I	normale	Hyperfixation corticale faible, de petite taille et limites mal-définies	Œdème périosté (OP) faible à modéré en T2, os normal en T2-T1
II	normale	Hyperfixation corticale modérée, mieux limitée	OP modéré à important en T2, **œdème osseux en T2**
III	discrète fissure corticale ? discrète réaction périostée	Hyperfixation intense, large à fusiforme, corticale et médullaire	OP modéré à important T2, œdème osseux T2 et **T1**
IV	fracture réaction périostée	Hyperfixation très intense, Transcorticale	OP modéré à important T2, œdème osseux T2-T1, **trait de fracture clairement visible**



Figure 3. IRM coupe coronale T1 montrant une zone en hyposignal au niveau du col fémoral gauche, correspondant à la fracture de fatigue.



Figure 4. IRM coupe coronale T2 avec saturation du signal de la graisse montrant un hyposignal correspondant au trait de fracture du col fémoral gauche au milieu d'une zone en hypersignal lié à l'œdème médullaire. À noter la présence d'un œdème controlatéral due à une fracture de gravité moindre.

celle obtenue en scintigraphie (10, 29), va être utile en thérapeutique pour mieux évaluer la durée de repos nécessaire avant la reprise des activités sportives (1, 22).

La tomodensitométrie osseuse aux rayons X

Détrôné par l'IRM, laquelle remplace même l'association scintigraphie/TDM, le scanner était surtout utilisé pour préciser la localisation exacte de la fracture, son étendue et pour suivre l'évolution de lésions longues à consolider comme au niveau du fémur (exemple du troisième cas clinique) ou du scaphoïde (3). De bonne spécificité (100 %) mais fortement irradiant et de plus faible sensibilité que l'IRM (42 %) (6), il n'est plus utilisé aujourd'hui que dans certaines localisations comme le pelvis, le sacrum et le tarse, pour lesquelles la radiographie et l'IRM sont moins performantes (1, 2, 6). Pour l'os cortical, il permet en général de bien visualiser le trait de fracture, ainsi que les réactions du périoste et de l'endoste visibles sous la forme d'une condensation aspécifique. Au niveau de l'os spongieux, on retrouve une densification en bande, la solution de continuité étant rarement visible (6).

Diagnostics différentiels

Ils varient selon la localisation :

– périostite tibiale ou syndrome de contrainte tibiale médiale (1) : cliniquement, la douleur est plus diffuse et il n'y a pas d'œdème des parties molles ; en scintigraphie, la fixation est moins prononcée, plus diffuse et souvent bilatérale ; en IRM, il n'y a pas d'hyposignal médullaire en T1 mais la présence d'un hypersignal linéaire le long de la corticale externe en T2 (6) ; en TDM, à la phase précoce, visualisation de lacunes osseuses (1). Cette entité, qui correspond au « *shin splint* » des Anglo-Saxons, a des limites nosologiques assez floues avec une fracture de stress ou une tendinopathie d'insertion. Pathologie de contrainte osseuse avérée, son aspect en IRM correspond à un stade I et pourrait s'apparenter à un stade préfracturaire plus étendu, cliniquement parlant ou non. Son aggravation potentielle en fracture de fatigue n'est pas avérée (15) ;

– tendinopathies et enthésopathies, en particulier au niveau inguinal :

– syndrome des loges musculaires ;

– syndrome canalaire vasculaire ou neurologique.

D'autres diagnostics différentiels sont plus rares : ostéome ostéoïde (surtout dans les localisations fémorales), tumeurs osseuses (de type sarcome d'Ewing

ou ostéosarcome) pour lesquelles un interrogatoire précis et les examens d'imagerie vont redresser le diagnostic.

Complications

Elles se produisent lors de la poursuite des activités physiques malgré la douleur (1).

Fracture complète avec déplacement secondaire, retard de consolidation et pseudarthrose

Pour les os longs, les fractures transversales ont tendance à se déplacer, contrairement aux fractures longitudinales plus stables (1).

Une catégorisation des fractures de fatigue a été établie en fonction du risque de complication, lié aux forces appliquées comme nous l'avons vu dans la physiopathologie, et à la vascularisation (2, 22, 30, 31) (tab. VI).

Tableau VI. Catégorisation des fractures de fatigue en fonction du risque de complication : déplacement secondaire, retard de consolidation, pseudarthrose (1, 2, 22, 23, 30, 31).

Fracture à risque élevé	Fracture à risque faible
- diaphyse tibiale antérieure - corticale latérale de la diaphyse fémorale - corticale supérieure du col fémoral - patella - malléole tibiale - col du talus - os naviculaire - sésamoïde du 1er métatarsien - 5e métatarsien	- diaphyse tibiale postérieure - corticale médiale de la diaphyse fémorale - fibula - calcanéus - 4 premiers métatarsiens - diaphyse ulnaire - côte

Atteinte des os contigus ou de l'os homologue controlatéral

Le changement de posture liée à la douleur peut entraîner sur l'os homologue ou les os contigus de nouvelles contraintes mécaniques (1). En imagerie, cela se traduit par la découverte fréquente d'autres localisations infracliniques, au stade pré-fracturaire (15). C'est aussi ce que nous rapportons dans nos observations cliniques. Au vu de certaines séries, les fractures de contraintes multiples semblent usuelles : 496 fractures de fatigue ont été diagnostiquées sur 309 patients atteints dans l'étude de Lappe, et al. (14), 83 fractures sur 40 patients atteints dans l'étude de Comas et al. (11), 16,6 % de fractures de stress bilatérales dans l'étude de Matheson, et al. (16), 184 fractures de fatigue diagnostiquées chez 91 recrues militaires dans l'étude de Milgrom, et al. (18). Ces localisations multiples peuvent être symptomatiques ou non. En l'absence de symptômes correspondant au stade pré-fracturaire, la démarche thérapeutique sera inchangée en se focalisant sur les zones symptomatiques, tout en évitant de nouvelles contraintes sur ces lésions infracliniques.

Ostéonécrose compliquant une fracture de contrainte sous-chondrale

Elle est diagnostiquée à l'IRM par une bande sous chondrale en hyposignal. Elle peut survenir à la suite d'une fracture de stress lorsque le repos n'est pas observé (6).

Récidive

Elle est liée à une reprise trop rapide des activités (1), possiblement en lien avec des facteurs favorisant non corrigés. À la vue de nos observations, la récidive semble très fréquente.

Traitement

Principes

Sa mise en œuvre va dépendre du niveau de risque de complication attribué à la fracture et donc de sa localisation (tab. VI). Le traitement est le plus souvent fonctionnel et repose essentiellement sur le repos relatif et les antalgiques. Un avis chirurgical est indiqué dans le cas de fracture à risque élevé, en particulier quand un déplacement secondaire ou une pseudarthrose sont redoutés, d'autant plus chez les sportifs de haut niveau (16). En effet, un traitement chirurgical pourra être proposé d'emblée en cas de fracture déplacée, parfois dans un deuxième temps lors d'un retard de consolidation, d'un déplacement secondaire, ou après échec d'un traitement fonctionnel bien conduit (2, 10, 31).

Moyens

La mise au repos relatif avec arrêt de l'activité physique incriminée, et suppression des contraintes mécaniques constitue la base du traitement. Elle est indiquée dès la suspicion clinique pour éviter une aggravation ou une complication, sources de retard à la reprise du sport usuel (15, 22, 32). Afin de préserver les adaptations physiologiques à l'effort, la force, l'endurance et la souplesse musculaire, ainsi que la stimulation du remodelage osseux, il convient de garder une activité sportive sans contrainte mécanique pour le ou les os atteints (10, 15, 31) : natation, cyclisme à basse intensité (sauf dans le cas de fracture du bassin),… cette activité physique autorisée devra donc être adaptée à la localisation de la fracture, et respectée la règle essentielle de la non-douleur. Dans le cas de fracture à risque faible touchant les membres inférieurs, l'appui pour les activités de la vie quotidienne est autorisé tout en respectant le principe de non-douleur. Toutefois, dans le cas de fracture à risque élevé, la mise au repos est plus restrictive avec décharge totale pour les fractures des membres inférieurs. La durée du repos, comme nous allons le voir ci-dessous, va dépendre de la classification selon le risque de complication, mais aussi du grade de sévérité (22, 25).

Ce repos doit être associé à la prescription d'antalgiques et de cryothérapie. Les anti-inflammatoires non

stéroïdiens ne semblent pas conseillés et n'apporteraient pas de plus-value par rapport aux antalgiques simples en l'absence de phénomène inflammatoire (10), d'autant plus que certaines études animales ont montré des retards de guérison suite à leur utilisation, mais non confirmé chez l'homme (faible niveau de preuve) (2, 15, 22, 25).

L'immobilisation du membre fracturé par un plâtre ou une résine n'est pas recommandée, notamment à cause des effets néfastes de l'inactivité et de la suppression de l'appui sur le remodelage osseux. Toutefois, un essai randomisé contrôlé a montré que l'utilisation d'attelles gonflables de jambe pour les fractures tibiales faciliterait la remise en charge et réduirait le délai avant la reprise des activités (2, 10, 33) ; D'autres travaux non contrôlés vont dans ce sens (10), mais d'autres études sont nécessaires pour valider cette attitude thérapeutique et préciser l'indication exacte en fonction de la localisation de la fracture.

L'utilisation des biphosphonates n'est pas recommandée (5).

La kinésithérapie avec application d'ultrasons pulsés, d'ondes de choc extracorporelles ou de champs électriques capacitifs a été évaluée. Reposant sur l'hypothèse d'une stimulation de la régénération osseuse, ces méthodes, utilisées par certains dans le traitement de pseudarthrose de fractures conventionnelles, n'ont pas prouvé leur efficacité sur la réduction du délai de consolidation (2, 10, 16). En effet, plusieurs travaux ont été publiés : une étude randomisée en double aveugle a montré l'absence d'efficacité des ultrasons pulsés sur le délai de guérison des fractures de fatigue tibiale (34) ; un autre essai randomisé contrôlé n'a pas mis en évidence d'efficacité des champs électriques capacitifs sur les délais de consolidation, sauf dans le cas de fractures de haut grade (35). Compte tenu du nombre encore limité de publications apportant un niveau de preuve suffisant, d'autres travaux sont nécessaires pour évaluer un potentiel bénéfice qui ne peut être exclu, notamment pour les fractures de haut grade ou à risque élevé. La balnéothérapie peut être intéressante pour une remise en charge et une reprise des activités très progressive.

Par ailleurs, la prise en compte de certains facteurs favorisants (troubles du cycle menstruel, carences nutritionnelles,…), bien qu'encore discutée, pourrait être utile. La place de la contraception orale chez les patientes atteintes de la « triade de la femme athlète » est controversée (22).

Reprise de l'activité sportive

Certains auteurs, en étudiant des fractures des membres inférieurs, ont mis en relation le délai avant la reprise du sport habituel avec le grade de sévérité à l'IRM (22, 36). La différence entre les grades I et II (bas grade) d'une part, et les grades III et IV (haut grade) d'autre part était statistiquement significative (tab. VII). Ils en ont alors conclu qu'il est important de connaître ce grade de sévérité pour déterminer le délai avant la reprise de l'activité incriminée.

D'autres auteurs ont mis en parallèle la classification selon le risque de complication et la gradation en termes de sévérité (22, 32). Ils ont alors différencié quatre types

Tableau VII. Délais de reprise du sport habituel en fonction du grade de sévérité à l'IRM selon Arendt, et al. (37).

Grade de sévérité	Délai avant reprise du sport habituel
Grade 1	3,3 semaines (23 jours)
Grade 2	5,5 semaines (39 jours)
Grade 3	11,4 semaines (80 jours)
Grade 4	14,3 semaines (100 jours)

de fractures : risque faible/bas grade, risque faible/haut grade, risque élevé/bas grade, risque élevé/haut grade. Leur étude rétrospective évoquait les délais avant reprise de l'activité sportive après différents types de fractures des membres inférieurs lors de divers sports. Pour les fractures à risque faible, la différence entre le bas et le haut grade était significative, contrairement aux fractures à risque élevé pour lesquelles la durée de repos nécessaire est importante quel que soit leur grade de sévérité (tab. VIII). Ces résultats nous donnent des indications utiles de délai avant reprise des activités sportives habituelles. Ces données témoignent donc de l'importance d'établir le plus précocement possible un diagnostic de certitude en catégorisant le type de fracture selon son risque de complication et sa sévérité. D'autres travaux ont permis d'établir des délais moyens avant reprise d'une activité physique en charge après survenue d'une fracture de fatigue aux membres inférieurs ou au bassin (25) (tab. IX). Nous pouvons constater qu'entre ces deux dernières études, les délais rapportés sont différents ; ceci est dû au fait que les auteurs n'ont pas pris le même paramètre : pour la première étude, le délai rapporté est celui de la reprise de l'activité habituelle sans restriction d'intensité ou de durée, tandis que pour la deuxième, les auteurs ont considéré le délai avant reprise d'une activité en charge, mais pas l'activité habituelle sans restriction. En dépit de ces considérations, on peut constater que les chiffres retrouvés dans ces deux études divergent en fonction des localisations malgré un risque répertorié identique. De ce fait, il est difficile de définir un délai précis avant reprise de l'activité sportive usuelle. Ces données ne

Tableau VIII. Délais de reprise de l'activité sportive usuelle, en fonction du risque lié la topographie et du grade de sévérité, d'après Dobrindt, et al. (32).

	Moyenne (jours)	Médiane (jours)	Q 25 (jours)	Q 75 (jours)
risque faible/bas grade	61	50	35	78
risque faible/haut grade	153	86	64	164
risque élevé/bas grade	135	70	63	132
risque élevé/haut grade	131	89	72	124

Q : quartile

Tableau IX. Délais de reprise des activités physiques en charge après fracture de fatigue au niveau des membres inférieurs ou du bassin (25).

Localisation fracture de fatigue	Risque élevé/ Risque faible	Délai moyen avant reprise d'activités sportives en charge
Sésamoïde du 1er métatarsien	Risque élevé	6 semaines (42 jours)
Métatarse	Risque faible	4 à 6 semaines (28 à 42 jours)
Corticale tibiale antérieure	Risque élevé	6 à 8 semaines (42 à 56 jours)
Corticale tibiale postéro-médiale	Risque faible (haut grade)	8 à 12 semaines (56 à 84 jours)
	Risque faible (bas grade)	< 3 semaines (< 21 jours)
Fibula	Risque faible	2 à 4 semaines (14 à 28 jours)
Col fémoral	Risque élevé	4 à 6 semaines (28 à 42 jours)
Diaphyse fémorale	Risque faible	6 à 8 semaines (42 à 56 jours)
Sacrum/bassin	Risque faible	7 à 12 semaines (49 à 84 jours)

peuvent qu'orienter le clinicien sur cette durée de mise au repos avant la reprise de l'activité habituelle.

Quoi qu'il en soit, celle-ci correspond à la deuxième phase du protocole thérapeutique. Chez les coureurs à pied, lors de fracture des membres inférieurs ou du bassin, elle ne doit seulement être envisagée qu'après deux semaines sans douleur (25). La reprise du sport habituel devra dans tous les cas se faire par étapes. Aucune imagerie n'est indiquée pour le suivi évolutif de cette reprise : le respect de la règle de la non-douleur prime. Des programmes empiriques ont été publiés permettant l'incrémentation progressive de la charge physique, en y incluant des phases de récupération indispensables : par exemple, pour les coureurs à pied, incrémentation en distance et intensité de course de 10 % par semaine maximum, avec une distance et une intensité de départ autour de 30 à 50 % de celles réalisées avant la blessure (10, 25). En cas de récidive douloureuse, une interruption du programme de quelques jours est préconisée (10). Concernant la course à pied, la reprise devra se faire sur terrain souple avec des chaussures adaptées ayant un bon amorti. Cette réadaptation sportive permet de diminuer le risque de rechute ou de récidive précoce (10).

Stratégies diagnostique et thérapeutique

Nous avons vu au travers de nos trois observations et de la littérature que le diagnostic de ces fractures, notamment au stade initial est difficile. Les retards diagnostique et thérapeutique sont alors fréquents, comme nous avons pu le constater dans les cas présentés, sources de délai plus long de consolidation et d'un risque de complications. Comas et al. ont montré, sur une population de jeunes incorporés, un retard moyen de deux semaines et demie entre les premiers symptômes et le début du traitement (11).

Les résultats des différentes techniques d'imagerie, leurs avantages et leurs inconvénients (tab. X), et la classification des fractures de stress selon le risque de complication (fracture à risque élevé/risque faible) nous amène à proposer l'algorithme décisionnel suivant (15) (fig. 5).

Tableau X. Avantages et inconvénients de chaque examen d'imagerie (2, 16, 25, 26).

Imagerie	Avantages	Inconvénients
Radiographie	coût, irradiation, disponibilité	se : 10% en initial, 30% après 3 semaines
Scintigraphie osseuse	coût, se : 74-84%	sp : 33%, irradiation (5 mSv)
Tomodensitométrie	sp : 100%	se : 42%, irradiation +
Imagerie hybride TEMP/TDM	se > 85%, sp accrue >> 40%	sp : valeur à chiffrer dans cette indication, irradiation + (5 mSv + 1,5–2 mSv/champ de vue si TDM low dose)
Imagerie par résonnance magnétique	pas d'irradiation, se : 86-100%, sp : 100%	coût, disponibilité
Echographie	coût, pas d'irradiation, se : 64-84%, sp : 63-76%, VPN : 91,7%	donnée limitée sur son utilisation diagnostique, opérateur dépendant, VPP : 58,8%

Se : sensibilité, sp : spécificité, TEMP/TDM : tomographie par émission monophotonique couplée avec tomodensitométrie à rayon X, VPN : valeur prédictive négative, VPP : valeur prédictive positive.

Conclusion

La démarche diagnostique proposée reconsidère la place de l'échographie pour le diagnostic précoce des localisations superficielles. Son intérêt dans cette indication semble réel, même s'il convient de le conforter avec l'appui d'autres études. Cette stratégie pourra évoluer avec le développement de certaines techniques d'imagerie. La scintigraphie osseuse dynamique associée à la Tomographie par émission monophotonique (TEMP), couplée au TDM semble être intéressante mais doit encore être mieux évaluée dans cette indication (37). Même si la physiopathologie est assez bien comprise, les facteurs de risque sont encore très discutés, de même que leur recherche systématique. Toutefois, il pourrait être intéressant de les répertorier afin de proposer le traitement le plus optimal possible et de limiter les récidives. Leur meilleure connaissance permettrait également de prévenir cette pathologie et d'en réduire l'incidence, notamment au sein des armées (38).

Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.

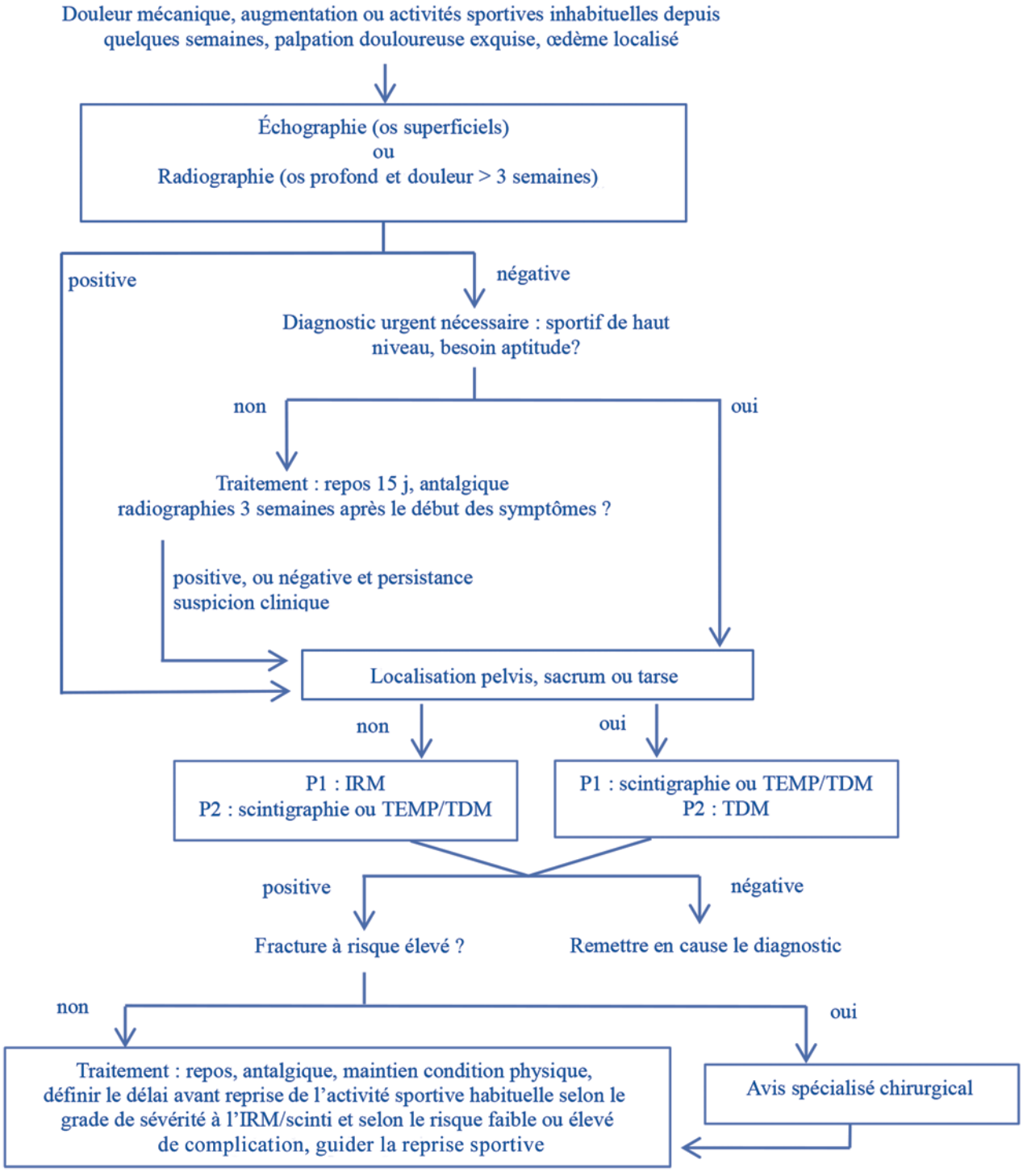


Figure 5. Algorithme décisionnel à la démarche diagnostique et thérapeutique des fractures de fatigue.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bousson V, Wybier M, Petrover D, Parlier C, Chicheportiche V, Hamzé B, et al. Les fractures de contrainte. J Radiol 2011 ; 92 : 188-207.
2. Behrens SB, Deren ME, Matson A, Fadale PD, Montchik KO. Stress fracture of the pelvis and legs in athletes. Sports Health 2013 ; 5 (2) : 165-74.
3. Prouteau S, Benhamou C-L, Courteix D. La fracture de fatigue : facteurs de risque et perspectives d'identification. Sci Sports 2005 ; 20:59-64.
4. Brukner P, Bradshaw C, Khan KM, White S, Crossley K. Stress fractures : a review of 180 cases. Clin J Sport Med 1996 ; 6 : 85-9.
5. Gervaise A, Naulet P, Pernin M, Darbois H, Girodeau A. Intérêt de l'imagerie dans le diagnostic des fractures de fatigue du militaire. Médecine & Armées 2008 ; 36 (4) : 353-8.
6. Boyer B, Bellaiche R, Geffroy Y, Potet J, Lechevalier D. Fractures de contraintes, fractures de fatigue, fractures par insuffisance osseuse. Encycl Med Chir-Radiologie 2 2005:527-44.
7. Pauzat JE. De la périostite ostéoplasique des métatarsiens à la suite des marches. Arch med pharm milit 1887 ; 10 : 337-53.
8. Lambert Y. Fracture de fatigue du col fémoral, diagnostiquée à l'IRM et négative à la scintigraphie, à propos d'un cas. J Traumatol Sport 2005 ; 22 : 116-21.
9. Bouvard M, Duclos M. Les fractures de fatigue de la femme sportive. J Traumatol Sport 2003 ; 20 : 230-6.
10. Dauty M, Dubois C. Fracture de fatigue chez le sportif et prise en charge intensive de rééducation. Ann Readapt Med Phys 2004 ; 47 : 365-73.
11. Comas JM, Anne D, Charrot F, Telmon N, Benazet JF, Ribot C et al. Ostéodensitométrie corps entier, étude de la composition corporelle de jeunes recrues souffrant de douleur osseuse et de fracture de fatigue. Médecine & armées 1992 ; 20 (7) : 603-7.
12. Korpelainen R, Orava S, Karpakka J, Siira P, Hulkko A. Risk factors for recurrent stress fractures in athletes. Am J Sports Med 2001 ; 29 (3) : 304-10.
13. Jones BH, Thacker SB, Gilchrist J, Kimsey CD, Sosin DM. Prevention of lower extremity stress fractures in athletes and soldiers a systematic review. Epidemiol Rev 2002 ; 24 : 228-47.
14. Lappe J, Cullen D, Haynatzki G, Recker R, Ahlf R, Thompson K. Calcium and vitamin D supplementation decreases incidence of stress fractures in female navy recruits. J Bone Miner Res 2008 ; 23 : 741-9.
15. Patel DS, Roth M, Kapil N. Stress fractures : diagnosis, treatment, and prevention. American family physician 2011 ; 83 (1) : 39-46.
16. Matheson GO, Clement DB, McKenzie DC, Taunton JE, Lloyd-Smith DR, MacIntyre JG. Stress fractures in athletes. A study of 320 cases. Am J Sports Med 1987 ; 15 (1) : 46-58.
17. Iwamoto J, Takeda T. Stress fractures in athletes : review of 196 cases. J Orthop Sci 2003 ; 8 : 273-8.
18. Milgrom C, Giladi M, Stein M, Kashtan H, Margulies JY, Chisin R, et al. Stress fractures in military recruits. A prospective study showing an unusually high incidence. The Journal of Bone and joint Surgery 1985 ; 67 (5) : 732-5.
19. Strohbach CA, Scofield DE, Nindl BC, Centi AJ, Yanovich R, Evans, et al. Female recruits sustaining stress fractures during military basic training demonstrate differential concentrations of circulating IGF-I system components : a preliminary study. Growth Hormone & IGF Research 2012 ; 22 : 151-7.
20. Nieves JW, Melsop K, Curtis M, Kelsey JL, Bachrach LK, Greendale G et al. Nutritional factors that influence change in bone density and stress fracture risk among young female cross-country runners. American Academy of physical medicine and rehabilitation 2010 ; 2 : 740-50.
21. Ruohola J-P, Laaksi I, Ylikomi T, Haataja R, Mattila VM, Sahi T, et al. Association between serum 25 (OH) D concentrations and bone stress fractures in finnish young men. J Bone Miner Res 2006 ; 21 : 1483-8.
22. Chen Y-T, Tenforde AS, Fredericson M. Update on stress fractures in female athletes : epidemiology, treatment, and prevention. Curr Rev Musculoskelet Med 2013 ; 6 : 173-81.
23. Bertani A, De Landevoisin E-S, Gonzalez J-F, Savoie PH, Demortière E. La fracture de fatigue du col fémoral chez le sportif d'endurance : l'importance d'un diagnostic précoce. J Traumatol Sport 2008 ; 25 : 99-101.
24. Ivkovic A, Bojanic I, Pecina M. Stress fractures of the femoral shaft in athletes : a new treatment algorithm. Br J Sports Med 2006 ; 40 : 518-20.
25. Kahanov L, Eberman LE, Games KE, Wasik M. Diagnosis, treatment, and rehabilitation of stress fractures in the lower extremity in runners. Open Access Journal of Sports Medicine 2015 ; 6 : 87-95.
26. Nezzar A. L'imagerie hybride en médecine nucléaire (SPECT/CT). Batna J Med Sci 2014 ; 1 : 64-9.
27. Zwas ST, Elkanovitch R, Frank G. Interpretation and Classification of Bone Scintigraphic Findings in Stress Fractures. J Nucl Med 1987 ; 28 : 452-7.
28. Fredericson M, Bergman AG, Hoffman KL, Dillingham MS. Tibial stress reaction in runners. Correlation of clinical symptoms and scintigraphy with a new resonnance imaging grading system. Am J Sports Med 1995 ; 23 : 472-81.
29. Fredericson M, Jang KU, Bergman G, Gold G. Femoral diaphyseal stress frctures : result of a systematic bone scan and magnetic resonnance imaging evaluation in 25 runners. Phys Ther Sport 2004 ; 5 : 188-93.
30. Boden BP, Osbahr DC. High-risk stress fractures : evaluation and treatment. J Am Acad Orthop Surg 2000 ; 8 (6) : 344-53.
31. Murray SR, Reeder MT, Udermann BE, Pettitt RW. High-risk stress fractures : Pathogenesis, Evaluation, and treatment. Comp Ther 2006 ; 32 (1) : 20-2.
32. Dobrindt O, Hoffmeyer B, Ruf J, Seidensticker M, Steffen IG, Fischbach F, Zarva A, Wieners G, Ulrich G, Lohmann CH, Amthauer H. Estimation of return-to-sports-time for athletes with stress fracture – an approach combining risk level of fracture site with severity based on imaging. BMC Musculoskeletal disorders 2012;13:139.
33. Swenson EJ Jr, DeHaven KE, Sebastianelli WJ, Hanks G, Kalenak A, Lynch JM. The effect of a pneumatic leg brace on return to play in athletes with tibial stress fractures. Am J Sports Med 1997;25(3):322-8.
34. Rue JP, Armstrong DW, Frassica FJ, Deafenbaugh M, Wilckens JH. The effect of pulsed ultrasound in the treatment of tibial stress fractures. Orthopedics 2004;27(11):1192-5.
35. Beck BR, Matheson GO, Bergman G, Norling T, Fredericson M, Hoffman AR, et al. Do capacitively coupled electric fields accelerate tibial stress fracture healing ? A randomized controlled trial. Am J Sports Med 2008;36(3):545-53.
36. Arendt E, Agel J, Heikes C, Griffiths H. Stress injuries to bone in college athletes: a retrospective review of experience at a single institution. Am J Sports Med 2003;31:959-68.
37. Ismaili Alaoui N, Erradi M, Chorfi H. Apport de la scintigraphie osseuse dynamique associée à la TEMP/TDM dans le diagnostic des fractures de fatigue chez le sportif. Médecine nucléaire 2014;786: 140-62.
38. Bullock SH, Jones BH, Gilchrist J, Marshall SW. Prevention of Physical Training-Related Injuries. Recommendations for the Military and Other Active Populations Based on Expedited Systematic Reviews. Am J Prev Med 2010;38(1S):156-81.