Place de la radiothérapie dans le traitement de la fasciite plantaire

Alépée B (1), Kaux JF (1), Colin G (2), Piret P (2)

Résumé : La fasciite plantaire est la cause la plus fréquente de talalgie chez l'adulte. Elle affecte une population hétérogène et son étiologie reste inconnue, même s'il existe probablement une origine multi-factorielle (contraintes répétées, tension excessive, inflammation chronique…). La talalgie peut être associée à une exostose osseuse ou éperon calcanéen inférieur. Elle peut être source d'incapacité fonctionnelle en raison de douleurs importantes associées qui peuvent entraîner une altération majeure de la qualité de vie. De multiples traitements peuvent être proposés aux patients. La radiothérapie a une place très restreinte dans l'arsenal thérapeutique, même si elle est plus fréquemment utilisée chez nos voisins germaniques. Notre article a pour but de discuter de la place de la radiothérapie dans le schéma thérapeutique, d'en confirmer l'efficacité et d'en évaluer les risques associés.

Mots-clés : ***Douleur - Pathologie non maligne - Fasciite plantaire - Radiothérapie***

Role of radiotherapy in the treatment of plantar fasciitis

Summary : Plantar fasciitis is the most common cause of talalgia in adult. It can affect a variety of individuals and its etiology is still unknown. Several factors are probably involved (repeated micro-traumatisms excessive tension, chronic inflammation…). In plantar fasciitis bone exostosis can be observed. The latter may also result into a functional incapacity due to major pain and therefore has a major impact on the quality of life. Several treatments with different efficacy are proposed to the patient. The role of radiotherapy is very limited, even if it's more frequently applied in Germany. The main goals of this article are to evaluate the place of the radiotherapy in the therapeutic approach, to confirm its efficacy and to assess the associated risks.

Keywords : ***Pain - Non malignant disease - Plantar fasciitis - Radiotherapy***

Introduction

La fasciite plantaire est la cause la plus fréquente de talalgie chez l'adulte (1). Sa prévalence varie entre 8 et 10 % dans la population générale (2-6). Elle affecte une population hétérogène (par exemple des patients sédentaires ou des athlètes), même si les patients de sexe féminin et de plus de 40 ans semblent plus touchés (4-6).

L'étiologie de la fasciite plantaire est multifactorielle (3, 7, 8). Une tension excessive au niveau de l'insertion du fascia plantaire joue un rôle important dans la pathogénie des lésions observées. Celles-ci sont principalement dues à une surcharge mécanique et à la répétition de micro-traumatismes au niveau du fascia plantaire (2-5, 9, 10). Les anomalies positionnelles (varus, port de mauvaises chaussures) et fonctionnelles (sport intensif, contraintes répétées) font souvent partie intégrante de l'histoire clinique, tout comme l'obésité (4-7, 11-13).

Les lésions du fascia plantaire induisent une inflammation impliquant de multiples protagonistes, comme les cellules endothéliales, les leucocytes, les macrophages et les cytokines pro-inflammatoires (2, 3, 14, 15). Au fil du temps, les microfissures du fascia sont comblées par du tissu cicatriciel (notamment par envahissement de cellules mésenchymateuses) (5, 6). Ce remodelage cicatriciel fibreux permet une guérison de la lésion au prix d'une perte d'élasticité du fascia plantaire. Parfois, après néo-vascularisation, une exostose osseuse peut se former au niveau du site d'insertion du fascia plantaire (5, 6, 8).

L'examen clinique est typique, il révèle un point douloureux en regard de l'insertion calcanéenne du fascia plantaire. Les douleurs peuvent entraîner une altération majeure de la qualité de vie en rendant la marche pénible. Les premiers pas (matinaux) sont souvent les plus douloureux (16, 17). Notons qu'il n'y a pas de corrélation entre la taille de l'exostose et l'intensité de la douleur (6, 10, 11, 13).

Les thérapeutiques actuelles visent à diminuer la douleur du patient. Dans ce but, l'éviction des facteurs de risques modifiables tels que le stress mécanique répété d'un coureur de marathon, par exemple, est recommandée (8, 9, 11). Le port de semelles orthopédiques (dont le but est de corriger les anomalies positionnelles sous-jacentes), la mise au repos, l'application de froid, la prescription d'AINS (Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens) et de séances de kinésithérapie sont des traitements de première intention (3-6, 8).

(1) Service de Médecine physique, Traumatologie sportive et Réadaptation, CHU Liège, Belgique.
(2) Service de Radiothérapie, CHU Liège, Belgique.

En seconde intention, différentes thérapeutiques sont envisageables. Le traitement par ondes de choc est utilisé avec succès dans la fasciite plantaire (1, 16-18). L'injection locale de PRP (Plasma Riche en Plaquettes) apporte des résultats prometteurs (16).

Enfin, l'infiltration locale de corticoïdes offre un soulagement partiel de la douleur dans le temps, de l'ordre de quelques mois (19). Cependant, les effets néfastes des corticoïdes sur les structures tendineuses amènent le praticien à les utiliser avec modération. Le traitement chirurgical n'apparaît pas comme une solution idéale (6, 20). Le taux de succès est variable d'une étude à l'autre. La convalescence post-opératoire peut être longue, allant de quelques semaines à plusieurs mois (complications infectieuses, troubles de la statique plantaire) (20).

La fasciite plantaire entre dans la large palette des pathologies non malignes traitées par radiothérapie. Bien que l'efficacité de cette approche soit démontrée (3, 5, 7, 14), elle n'a que très peu de place dans le schéma thérapeutique dans nos contrées. Dès lors, nous discuterons de ses indications, tout en tentant d'en évaluer le risque carcinologique.

Discussion

Place de la radiothérapie dans l'arsenal thérapeutique

À ce jour, la radiothérapie n'est utilisée qu'en dernier recours dans le traitement de la fasciite plantaire. Pourtant, son efficacité a été étudiée dès la fin du vingtième siècle. L'étude historique de Seegenschmiedt et coll. (21) ainsi que d'autres études plus récentes (7-10) démontrent son efficacité. En effet, dans la plupart des études, on observe une amélioration significative transitoire ou définitive de la douleur dans 60 à 70 % des cas.

Certaines études ont clairement identifié des facteurs pronostiques favorables (4, 10), comme l'âge. En effet, les personnes âgées sont plus susceptibles de répondre favorablement à la radiothérapie, vraisemblablement en raison de la diminution du stress mécanique. La mise au repos du patient pendant les séances de radiothérapie est aussi un facteur pronostique favorable. Les facteurs défavorables reconnus sont un traitement chirurgical préalable, une fasciite plantaire rebelle aux traitements conservateurs et une histoire clinique douloureuse supérieure à 6 mois (4, 6, 10).

L'efficacité de la radiothérapie à petites doses dans la fasciite plantaire n'est que partiellement expliquée. En effet, il existe des mécanismes radio-biologiques mal élucidés (3, 13, 15). Il apparaît, néanmoins, qu'une dose unitaire faible (0,5-1 Gy) aurait une action anti-inflammatoire via, entres autres, une activation macrophagique du phénotype M2 (22). Celui-ci serait à l'origine d'une diminution de la production de radicaux libres et du monoxyde d'azote, combinée à une augmentation de la production de TGFß1 (Transforming Growth Factor),… (3, 22). Pour rappel, ce dernier serait à l'origine d'une diminution de l'adhésion des cellules nucléées du sang sur l'endothélium vasculaire (15).

Il faut remarquer que d'autres traitements comme les ondes de choc ou les infiltrations de PRP ont aussi une action «anti-inflammatoire». Il existe probablement des similitudes dans les mécanismes anti-inflammatoires proposés (comme l'augmentation du TGFß1) (18, 22). En revanche, contrairement à la radiothérapie, ces traitements n'utilisent pas de rayonnements ionisants et n'induisent donc pas un risque de cancer secondaire. Ceci incite le praticien à les proposer de manière plus précoce.

La plupart des patients adressés en radiothérapie présentent une histoire clinique douloureuse traînante et rebelle aux traitements. Pour illustrer ce propos, une étude multicentrique germanique (6) met en évidence que 80,9 % des patients orientés en radiothérapie ont reçu au minimum entre 2 et 3 traitements conservateurs inefficaces. De plus, toujours d'après cette étude, une histoire clinique douloureuse supérieure à 6 mois diminue l'efficacité du traitement d'environ une vingtaine de pour cent, passant de 80 à 60 %. On peut définir une fenêtre thérapeutique entre 3 et 6 mois. Cette fenêtre reste relativement courte pour ce type de pathologie. Enfin, malgré ces résultats positifs, la radiothérapie est presque systématiquement reléguée du fait de la forte crainte de son potentiel carcinogène secondaire.

La radiothérapie pourrait être un traitement précoce chez les personnes âgées (23) avec altération de la qualité de vie et une histoire clinique douloureuse entre 3 et 6 mois. Les sujets cortico-dépendants (c'est-à-dire qui requièrent des infiltrations répétées pour être soulagés) ou chez qui les AINS sont contre-indiqués ou inefficaces sont aussi des candidats à retenir plus particulièrement. Enfin, la radiothérapie a l'avantage d'être peu invasive et de ne pas présenter d'effets secondaires immédiats, à part une exacerbation modérée transitoire de la douleur pouvant survenir en cours ou en fin de traitement.

Dose

En 1996, Seegenschmiedt et coll. (21) ont évalué l'efficacité de la radiothérapie dans la fasciite plantaire selon trois modalités. Le premier groupe recevait une dose totale de 3 Gray (Gy) (10 séances de 0,3 Gy), le deuxième une dose de 5 Gy (10 séances de 0,5 Gy) et le dernier une dose de 12 Gy (12 séances de 1 Gy). Les meilleurs résultats ont été obtenus dans les deuxième et troisième groupes, avec un soulagement complet de la douleur dans 72 % des cas. De plus, les auteurs ont observé des différences significatives lorsque la douleur était jugée comme insuffisamment soulagée par le patient : dans ce cas, les résultats du premier groupe apparaissaient significativement moins bons que les deux autres. Enfin, ils n'ont pas remarqué de différence entre le deuxième et le troisième groupe. D'autres études allemandes (11, 17, 24) ont montré qu'une dose totale de 3 Gy (6 x 0,5 Gy en 2 à 3 semaines) apportait le même soulagement qu'une double dose (6 x 1 Gy en 2 à 3 semaines). De plus, Niewald et coll. (2) ont comparé une dose totale de 6 x 1 Gy par rapport à une dose de 6 x 0,1 Gy. Les patients traités avec une dose très faible ont présenté des résultats significativement moins bons, ainsi qu'une reprise plus souvent nécessaire des traitements. Une dose totale de 0,6 Gy n'apparaît donc pas comme suffisamment efficace. D'autres études ont comparé différents schémas de fractionnement (12, 13). Les résultats tendent à démontrer que l'utilisation de doses unitaires moindres (0,5 Gy *versus* 1 Gy), avec maintien d'une dose totale identique, n'avait pas l'air d'avoir une influence sur les résultats.

Enfin, il existe plusieurs types de machines pour cette indication. Les machines à bas voltage, à haut voltage et la cobaltothérapie. Le choix de l'équipement utilisé n'a pas l'air d'avoir d'influence sur les résultats, sauf dans l'étude conduite par Muecke et coll. (4) qui a montré une efficacité supérieure avec un traitement à haut voltage.

Pour résumer, la Société Allemande de Radiothérapie (DEGRO) et la Société Allemande de Radiothérapie des Maladies ostéo-articulaires Bénignes (GCG-BD) notamment, ont publié des lignes directrices, utiles également au niveau international, sur l'utilisation de la radiothérapie dans la fasciite plantaire (9, 25, 26). Toutes deux recommandent une dose totale entre 3 et 6 Gy, fractionnée à 0,5 ou 1 Gy à raison de 2 à 3 séances par semaine. Le niveau d'évidence de ces recommandations est maximal, il obtient le grade de recommandation maximal (A) et le deuxième niveau d'évidence le plus élevé (1b) sur l'échelle d'Oxford (9).

Risque carcinologique

L'utilisation des radiations ionisantes cause des dommages cellulaires qui peuvent être à l'origine d'un cancer. La latence d'apparition de ces cancers radio-induits est variable, allant de quelques années à plusieurs dizaines d'années (27, 28).

Tous les tissus traversés par le rayonnement sont susceptibles de se cancériser. Théoriquement, des cancers dermiques (carcinomes baso-cellulaires), hématologiques (leucémies), des os et des tissus mous (sarcomes) sont possibles. En pratique, il n'existe pas d'études qui démontrent une augmentation des cancers radio-induits précités dans le cadre du traitement de la fasciite plantaire par radiothérapie «low-dose» (27, 28). Il semble, cependant, qu'une dose supérieure à 10 Gy induise un risque de sarcome supérieur de 0,05 % (27) par rapport à la population générale, les enfants étant les plus à risque.

Il apparaît difficile d'évaluer le potentiel malin de la radiothérapie «low-dose» dans le cadre de maladie bénigne pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les cancers radio-induits peuvent apparaître avec une latence importante. Un suivi sur le long terme doit donc être effectué. De plus, le nombre de patients recrutés dans un contexte de maladie bénigne est restreint car la place de la radiothérapie, dans le plan thérapeutique, n'est pas bien définie (6, 27, 28). Les résultats sont obtenus de manière éparse et sont donc difficilement interprétables. Enfin, les résultats des données épidémiologiques sur les cancers radio-induits recensent des patients traités avec des doses, des techniques, des rayonnements et des indications qui sont différents aujourd'hui. Les résultats obtenus par ces études apparaissent donc difficilement transposables (15, 27, 28).

Cependant, appliqués à la fasciite plantaire, la radiothérapie «low dose» permet presque d'exclure le risque de cancers radio-induits. Premièrement, le risque (maximal pour les enfants) décroît avec l'âge et la fasciite plantaire touche préférentiellement les individus de plus de 40 ans (4-6). Deuxièmement, le risque est proportionnel à la dose (27-29) (même si cette relation fait toujours débat), dose qui est extrêmement faible ici. Troisièmement, le volume traité est réduit au maximum par un juste positionnement et un juste choix de la technique (29). Enfin, la carcinogenèse dépend fortement de l'organe

irradié. La glande mammaire, la thyroïde, la moelle osseuse hématopoïétique sont considérées comme «à risque», tandis que l'aponévrose plantaire et les tissus environnants ne font pas partie des organes «à risque» (29).

Pour conclure, compte tenu d'un niveau d'évidence élevé, du moins selon les cliniciens allemands, et de l'absence de signalement de cancer radio-induit dans la littérature médicale (6, 9, 15), la radiothérapie mériterait, en cas de fasciite plantaire, de figurer dans liste des traitements possibles et ce, peut-être même de façon précoce.

Au CHU de Liège

À l'occasion de cette revue, nous avons pu évaluer l'efficacité de la radiothérapie dans la fasciite plantaire chez des patients traités au CHU Liège entre 2010 et 2020. Nous avons interrogé 7 patients pour un total de 10 irradiations (Tableau I). La Figure 1 représente une modélisation informatique d'une irradiation. Notons que le nombre de sujets est très faible, pour les raisons que nous avons expliquées.

Tableau I. Caractéristiques des patients.

Patients	Pied	Âge	Sexe	Date	BMI	Thérapeutiques antérieures	Schéma d'irradiations (DT/ FR/P)
1	Gauche	56	Femme	2011	33,3	Anti-douleurs Anti-inflammatoires Semelles orthopédiques Ondes de choc PRP	15Gy / 5Gy / 3 fois en une semaine
2	Gauche	53	Femme	2014	34,29	Semelles orthopédiques Ondes de choc Kinésithérapie	15Gy / 5Gy / 3 fois en une semaine
3	Gauche	72	Femme	2017	31,6	Anti-inflammatoires Semelles orthopédiques Injection de corticoïdes	6Gy / 1Gy / 6 fois en deux semaines
4	Droit	37	Femme	2018	35,32	Anti-douleurs Anti-inflammatoires Semelles orthopédiques Kinésithérapie PRP	3Gy / 1Gy / 3 fois en une semaine
5	Droit	53	Femme	2019	34,29	Semelles orthopédiques Ondes de choc Kinésithérapie	6Gy / 1Gy / 6 fois en deux semaines
6	Droit	49	Femme	2019	25,8	Anti-inflammatoires Anti-douleurs Semelles orthopédiques Kinésithérapie	3Gy / 1Gy / 3 fois en une semaine
7	Droit	59	Femme	2020	27,48	Anti-inflammatoires Semelles orthopédiques Kinésithérapie Ondes de choc	3Gy / 1Gy / 3 fois en une semaine
8	Droit	72	Femme	2020	31,6	Anti-inflammatoires Semelles orthopédiques Injection de corticoïdes	3Gy / 1Gy / 3 fois en une semaine
9	Droit	53	Homme	2020	25	Anti-inflammatoires Anti-douleurs Semelles orthopédiques Kinésithérapie PRP	3Gy / 1Gy / 3 fois en une semaine
10	Droit	53	Homme	2020	25	Anti-inflammatoires Anti-douleurs Semelles orthopédiques Kinésithérapie PRP	3Gy / 1Gy / 3 fois en une semaine

BMI : Body Mass Index; Gy : Gray; PRP : Platelet Rich Plasma;
DT : Dose totale reçue par le patient; FR : Dose pr fraction;
P : Plan de traitement = nombre de fractions et étalement dans le temps.

Figure 1. Irradiation d'un patient atteint d'une fasciite plantaire droite avec exostose calcanéenne. En bleu, nous observons le volume cible. La dose reçue est de 3 Gy, elle est délimitée par le cercle vert.

Tableau II. Score de Von Pannewitz.

Score	Réponse	Description
1	Réponse complète	Pas de douleur
2	Réponse partielle	Nette amélioration de la douleur
3	Réponse mineure	Légère amélioration de la douleur
4	Pas de changement	Pas de changement de la douleur
5	Progression de la maladie	Aggravation de la douleur

Tableau III. Évolution de la douleur à 3 semaines et au moment de l'analyse des données selon l'EVA et le score de Von Pannewitz.

	EVA				Score de Von Pannewitz	
	Avant traitement	À 3 semaines	Au moment de l'analyse des données		À 3 semaines	Au moment de l'analyse des données
1	9	5	0	M+106	Légère amélioration	Réponse complète
2	9	0	0	M+77	Réponse complète	Réponse complète
3	10	1	1	M+38	Nette amélioration	Nette amélioration
4	9	0	0	M+33	Réponse complète	Réponse complète
5	8	5	5	M+22	Légère amélioration	Légère amélioration
6	10	0	0	M+21	Réponse complète	Réponse complète
7	8	2	1	M+6	Nette amélioration	Nette amélioration
8	10	7	7	M+4	Légère amélioration	Légère amélioration
9	9	8	8	M+3	Pas d'amélioration	Pas d'amélioration
10	9	8	8	M+2	Pas d'amélioration	Pas d'amélioration

EVA : Échelle visuelle analogique;
M+ : nombre de mois écoulés depuis l'irradiation au moment de la récolte des données.

Sur 10 irradiations, la dose totale est de 3 Gy dans 6 cas, de 6 Gy dans 2 cas et de 15 Gy dans 2 cas. La dose unitaire varie entre 1 et 5 Gy. Notons que, depuis 2016 et la publication des recommandations par la société DEGRO, les doses sont diminuées et mieux uniformisées. Les doses unitaires, notamment, sont nettement plus faibles et ne dépassent plus 1 Gy.

L'âge moyen de notre série est de 54 ans et 6 patients sur 7 sont de sexe féminin. L'indice de masse corporelle (IMC) moyen de cette série est de 31,4 kg/m^2. Le paramètre évalué est l'intensité de la douleur après 3 semaines de radiothérapie et au moment de la récolte des données. Le suivi est compris entre 2 mois et 10 ans avec une moyenne de 32 mois et une médiane à 21,5 mois. La douleur est évaluée grâce à l'échelle visuelle analogique (EVA) et grâce au score de Von Pannewitz (Tableau II). Ce dernier permet d'évaluer la modification de la douleur ressentie par le patient après les séances de radiothérapie selon cinq catégories : pas de douleur résiduelle, nette amélioration de la douleur, légère amélioration, pas d'amélioration et aggravation de la douleur.

Sur un total de 10 irradiations, 4 d'entre elles ont permis une abolition de la symptomatologie douloureuse (selon le score de Von Pannewitz) et 2 d'entre elles ont amené une nette amélioration de la douleur au moment de la récolte des données (Tableau III). De plus, si l'on se réfère à l'EVA cotée entre 0 et 10, 60 % des irradiations aboutissent à un score inférieur ou égal à 2. À remarquer aussi que la radiothérapie n'est souvent proposée qu'aux patients réfractaires aux différents traitements classiques. Enfin, il n'y a pas eu d'événements indésirables précoces ou tardifs (avec un temps de recul maximal de 10 ans) associés à la radiothérapie dans notre série.

Les résultats de notre enquête sur les quelques patients interrogés dans le cadre de cette revue sont concordants avec les résultats des grandes études rétrospectives (allemandes notamment), même si nous sommes parfaitement conscients qu'il s'agit en l'occurrence d'un nombre limité de patients

Conclusion

Afin d'évaluer la place de la radiothérapie dans le traitement de la fasciite plantaire, le rapport entre le risque de cancer radio-induit et le bénéfice en termes de qualité de vie des patients doit être effectué.

Ce rapport risque bénéfice plaide nettement en faveur de la radiothérapie pour les fasciites plantaires de la personne âgée réfractaires aux traitements traditionnels ou chez qui ces derniers sont contre-indiqués (niveau de preuve et de recommandation maximal selon les scientifiques allemands).

En nous basant sur les recommandations des sociétés savantes allemandes et en tenant compte des facteurs prédictifs péjoratifs de réponse aux rayonnements ionisants (symptomatologie douloureuse supérieure à 6 mois, traitements antérieurs multiples, traitement chirurgical), on peut définir une fenêtre thérapeutique idéale entre 3 et 6 mois après l'apparition de la symptomatologie. Cette fenêtre est relativement courte pour ce type de pathologie, ce qui nécessite la bonne collaboration et la juste information de tous les praticiens impliqués (médecin traitant, spécialiste en médecine physique, kinésithérapeute, radiothérapeute,...).

Dès lors, la radiothérapie pourrait être introduite de manière plus précoce chez la personne âgée ayant une symptomatologie douloureuse n'excédant pas 6 mois et en cas d'échec ou de contre-indications avec les traitements de première intention.

Bibliographie

1. Demoulin C, Vanderthommen M, Fromm A, et al. Effectiveness of high intensity radial shock wave therapy in the treatment of chronic plantar fasciitis. *J J Physical Rehab Med* 2015;**1**:011.
2. Niewald M, Seegenschmiedt MH, Micke O, et al. Randomized multicenter trial on the effect of radiation therapy on plantar fasciitis (painful heel spurs) comparing a standard dose with a very low dose: mature results after 12 months follow up. *Int J Radiation Oncol Biol Phys* 2012;**84**:e455-62.
3. Rogers S, Eberle B, Deborah R, et al. Prospective evaluation of changes in pain levels, quality of life and functionality after low-dose radiotherapy for epicondylitis, plantar fasciitis, and finger osteoarthritis. *Front Med* 2020;**7**:195.
4. Muecke R, Micke O, Reichl B, et al. Demographic, clinical and treatment related predictors for event-free probability following low dose radiotherapy for painful heel spurs - a retrospective multi center study of 502 patients. *Acta Oncol* 2007;**46**:239-46.
5. Muecke R, Schönekaes K, Micke O, et al. Low-dose radiotherapy for painfull heel spur. Retrospective study of 117 patients. *Strahlenther Onkol* 2003;**179**:74-8.
6. Micke O, Seegenschmiedt MH, German Working Group on Radiotherapy for Benign Diseases (GCG-BD). Radiotherapy in painful heel spurs (plantar fasciitis) - results of a national patterns of care study. *Int J Radiation Oncol Biol Phys* 2004;**58**:828-43.
7. Badakhshi H, Budach V. Low dose radiotherapy for plantar fasciitis. Treatment outcome of 171 patients. *Foot* 2014;**24**:172-5.
8. Kirkpatrick J, Yassaie O, Ali Mirjalili S. The plantar calcalneal spur: a review of anatomy, histology, etiology and key associations. *J Anat* 2017;**230**:743-751.
9. Ott OJ, Niewald M, Weintmann HD, et al. DEGRO Guidelines for the radiotherapy of non-malignant disorders. Part II: painful degenerative skeletal disorders. *Strahlenther Onkol* 2015;**191**:1-6.

10. Schneider O, Stuckle CA, Bosch E, et al. Effectiveness and prognostic factors of radiotherapy for painful plantar heel spurs. *Strahlenther Onkol* 2004;**180**:502-9.

11. Heyd R, Tselis N, Ackermann H, et al. Radiation therapy for painful heel spurs: result of prospective randomized study. *Strahlenther Onkol* 2007;**183**:3-9.

12. Prokein B, Holtmann H, Hottmann MJ, et al. Radiotherapy of painful heel spur with two fractionation regimen: result of a randomized multicenter trial after 48 weeks follow-up. *Strahlenther Onkol* 2017;**193**:483-90.

13. Holtmann H, Niewald M, Prokein B, et al. Randomized multicenter follow-up trial on the effect of radiotherapy for plantar fasciitis (plantar heel spur) depending on dose and fractionation - a study protocol. *Radiat Oncol J* 2015;**10**:23.

14. Juniku N, Micke O, Seegenschmiedt MH, et al. Radiotherapy for painful benign skeletal disorders. Results of a retrospective clinical quality assessment. *Strahlenther Onkol* 2019;**195**:1068-73.

15. Reichl B, Block A, Schäfer U, et al. DEGRO practical guidelines for radiotherapy of non-malignant disorders. Part I: physical principles, radiobiological mechanisms and radiogenic risks. *Strahlenther Onkol* 2015;**191**:701-9.

16. Haibo L, Hao LV, Ting L. Comparison of 8 treatments for plantar fasciitis: a network meta-analysis. *J Cell Physiol* 2019;**234**:860-70.

17. Ott OJ, Jeremias C, Gaipl US, et al. Radiotherapy for calcaneodynia: long term results of the Erlangen Dose Optimization (EDO) trial. *Strahlenther Onkol* 2014;**190**:671-5.

18. Notarnicola A, Moretti B. The biological effect of extracorporeal shock wave therapy (eswt) on tendon tissue. *Muscle Ligaments Tendons J* 2012;**2**:33-7.

19. MacMillan AM, Landorf KB, Gilheany MF, et al. Ultrasound guided corticosteroid injection for plantar fasciitis: randomised controlled trial. *BMJ* 2012;**344**:e3260.

20. Mao DW, Chandrakumara D, Zeng Q, et al. Endoscopic plantar fasciotomy for plantar fasciitis: a systematic review and network meta-analysis of the English literature. *Foot* 2019;**41**:63-73.

21. Seegenschmiedt MH, Keilholz L, Katalinic A, et al. Heel spurs: radiotherapy for refractory pain: results of three treatment concepts. *Radiolo Gy* 1996;**200**:2721-6.

22. Calabrese EJ, Dhawan G, Kapoor R, et al. Radiotherapy treatment of human inflammatory diseases and conditions : optimal dose. *Hum Exp Toxicol* 2019;**38**:888-98.

23. Micke O, Seegenschmiedt MH, Irinaeus A, et al. Low-dose radiation therapy for benign painful skeletal disorders: the typical treatment for the elderly patient ? *Int J Radiation Oncol Biol Phys* 2017;**98**:958-63.

24. Ott OJ, Jeremias C, Gaipl US, et al. Radiotherapy for calcaneodynia. Result of a single center randomized dose optimization trial. *Strahlenther Onkol* 2013;**189**:329-34.

25. Micke O, Seegenschmiedt MH, German Working Group on Radiotherapy in Germany. Consensus guidelines for radiation therapy for benign diseases: a multi center approach in Germany. *Int J Radiation Oncol Biol Phys* 2002;**52**:496-513.

26. Seegenschmiedt MH, Micke O, Muecke R, et al. Radiotherapy for non-malignant disorders: state of the art and update of the evidence-based practice guidelines. *Br J Radiol* 2015;**88**:20150080.

27. McKeown SR, Hatfield P, Robin J, et al. Radiotherapy for benign diseases: assessing the risk of radiation induced cancer following exposure to intermediate dose radiation. *Br J Radiol* 2015;**88**:20150405.

28. Mazonakis M, Damilakis J. Cancer risk after radiotherapy for benign diseases. *Phys Med* 2017;**42**:285-91.

29. Cosset JM, Chargari C, Demoor C, et al. Prévention des cancers radio-induits. *Cancer Radiother* 2016;**20**:61-8.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Dr P. Piret, Service de Radiothérapie, CHU Liège, Belgique.

Email : ppiret@chuliege.be