

CHARGE OPTIMALE POUR LA PRISE EN CHARGE DES LÉSIONS OSSEUSES DE CONTRAINTES TIBIALES ET MÉTATARSIENNES À BAS RISQUE: LA SCIENCE DERRIÈRE LE RAISONNEMENT CLINIQUE

Warden S.J. Brent Edwards W. Willy R.W.

Optimal load for managing low-risk tibial and metatarsal bone stress injuries in runners: the science behind the clinical reasoning

J Orthop Sports Phys Ther. 2021;51(7):322-330

doi:10.2519/jospt.2021.9982

L'ensemble des références bibliographiques, tableaux et figures peuvent être consultés dans l'article original sur le site du JOSPT : <http://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2021.9982>

Traduction: David Lacroix, Damien Fayolle et Benoit Pairet de Fontenay

CONTEXTE: Les lésions Osseuses de Contraintes (LOC) tibiales et métatarsiennes à bas risque représentent plus de la moitié des LOC à bas risque chez les coureurs. Ils arrêtent de s'entraîner et ont recours à des prises en charge non-invasives destinées à retourner à la course à pied de manière rapide et sécuritaire.

QUESTION CLINIQUE: Quelle est la charge optimale pour prendre en charge les LOC tibiales et métatarsiennes à bas risque et reprendre la course à pied en sécurité ?

RÉSULTATS CLÉS: La charge optimale peut être guidée par les connaissances sur le processus de guérison des LOC et dépend des symptômes. A chaque étape, la charge optimale ne produit aucun symptôme ni pendant, ni après, ni les jours suivant la mise en charge.

APPLICATION CLINIQUE: Une période initiale de réduction de la charge, en diminuant ou en supprimant la mise en charge, est généralement nécessaire afin d'apaiser les symptômes présents. Le recours à des analgésiques ou des AINS peut être envisagé à court terme (moins de 7 jours), mais seulement en cas de douleurs au repos et/ou la nuit. D'autres méthodes de soins (par exemple des ultrasons pulsés à basse intensité et/ou une hormonothérapie parathyroïdienne recombinante) peuvent être essayées pour influencer la cicatrisation tissulaire. Les sportifs peuvent maintenir une activité cardiopulmonaire avec un entraînement croisé, tout en entretenant un bon niveau de forme physique musculo-squelettique. Un programme de retour à la course à pied peut être démarré une fois que le sportif n'a présenté aucune douleur dans ses activités de la vie quotidienne pendant 5 jours consécutifs. L'évolution du programme est guidée par la provocation des symptômes et s'oriente initialement sur l'augmentation du volume de course avant d'augmenter la vitesse. Il est nécessaire d'être au plus proche de la charge optimale au cours de la reprise de la course à pied et d'envisager inclure un entraînement de sauts et/ou de rééducation du schéma de course pour réduire le risque de récurrence de LOC. L'approche dite de charge optimale pour prendre en charge les LOC tibiales et métatarsiennes à bas risque est validée cliniquement, mais nécessite de plus amples validations scientifiques.

MOTS CLÉS: exercice, déficience d'énergie relative dans le sport, course à pied, fracture de fatigue, réaction aux contraintes

Les Lésions Osseuses de Contraintes (LOC), incluant celles avec un défaut de corticale confirmé par radiologie (comme une fracture de stress par exemple), mènent à une interruption de l'entraînement en raison de leurs douleurs débutantes et du risque d'évolution vers une fracture complète. Un précédent article a discuté des LOC chez le sportif, de la physiopathologie au diagnostic et de la prise en charge. Ici, nous détaillerons la science qui est derrière la prise en charge des LOC et qui a pour but de guider les cliniciens et les sportifs vers le retour à la course à pied. Il est nécessaire d'admettre que la plupart des recherches sur les LOC sont prédictives et non pas des études plus strictes explorant les inférences causales.

QUESTION CLINIQUE

Quelle est la charge optimale pour prendre en charge les LOC et proposer au sportif un retour à la course à pied en sécurité ? Est-ce que le sportif devrait porter une botte de marche ou un dispositif équivalent pendant une durée donnée ? Qu'est-ce que le sportif peut faire tant qu'il est incapable de courir ? Nous posons ces questions et d'autres, en nous focalisant sur les LOC des diaphyses tibiales et métatarsiennes à bas risque.

Les LOC des diaphyses tibiales et métatarsiennes à bas risque surviennent sur les zones en compression, ce qui correspond respectivement aux cortex postérieur et dorsal. Les lésions osseuses de contraintes sur ces zones représentent plus de la moitié de toutes les LOC et sont considérées à « bas risque » car elles se guérissent habituellement sans complication ni besoin de prise en charge invasive. Cependant, la récupération prend du temps, et il existe un risque élevé d'une LOC ultérieure, la plupart du temps à un autre endroit.

Les concepts développés dans cet article sont transposables aux autres LOC à bas risque. Cependant, ils ne sont pas applicables aux LOC à haut risque (par exemple, au cortex supérieur du col fémoral, au cortex antérieur du tibia), qui surviennent souvent sur des zones en « traction » et qui nécessitent des interventions plus strictes en raison du risque élevé d'évolution pathologique.

Comment une lésion osseuse de contrainte se guérit-elle ?

Comprendre comment une LOC se guérit peut guider la prise en charge. Bien que le processus de guérison des LOC soit peu étudié, on pense qu'il s'agit d'une combinaison entre un modelage et un remodelage ciblé. Le remodelage ciblé est une activité séquentielle des ostéoclastes qui détruisent l'os endommagé avant que les ostéoblastes ne compensent cela par la production de nouvel os. Une LOC indique que le remodelage ciblé a été dépassé par une accumulation de dommages microscopiques (ou micro-dommages) induits par une mise en charge de ces tissus. Le résultat final sur les zones avec une corticale osseuse importante, comme les diaphyses tibiale et métatarsienne, est une augmentation de la porosité intra-corticale et une altération locale des propriétés mécaniques, ce qui peut mener à une LOC douloureuse d'origine chimique et/ou mécanique (**FIGURE 1**).

Pour limiter l'évolution des LOC, il est nécessaire de réduire la charge pour permettre à la zone en cours de remodelage ciblé de « se refaire » sans accumulation d'autres dommages ultérieurs.

L'activation des ostéoclastes et la résorption dans la corticale osseuse durent environ 4 semaines, et le renouvellement osseux environ 3 mois, et ce jusqu'à un an pour une minéralisation complète. La durée de reminéralisation est plus longue dans l'os trabéculaire, ce qui pourrait contribuer à allonger le temps de guérison pour les LOC des zones riches en os trabéculaire (sacrum et pelvis par exemple).

Le remodelage ciblé est responsable du nettoyage des micro-dommages lors de la restauration structurelle intra-corticale. Cependant, ce processus n'explique pas pourquoi autant de sportifs avec une LOC retournent au sport avant que ce remodelage ne soit complet. Celui-ci est dû à une stimulation régénératrice du remodelage de l'os au niveau de la LOC. Le terme de modelage fait référence à une résorption osseuse isolée ou à une formation osseuse de surface. En présence d'une LOC corticale, une formation rapide d'os survient au niveau superficiel du périoste sans résorption préalable, et est mise en évidence radiologiquement par un cal osseux (**FIGURE 1A**). À distance des axes mécaniques osseux, un cal périosté vient en soutien du site lésé afin de restaurer les propriétés mécaniques plus rapidement que ce qui pourrait être obtenu à travers un remodelage ciblé.

Dans les prochains paragraphes, nous introduisons les principes clés qui étayent notre approche clinique pour la prise en charge des LOC : (1) réguler la charge, (2) envisager des compléments pour favoriser la cicatrisation, (3) maintenir une forme physique, (4) être attentif à la fonction musculaire, (5) reprendre progressivement la course à pied, et (6) diminuer le risque de blessure ultérieure.

Principe clé 1 : réguler la charge

Une période de réduction de la charge est nécessaire dans les LOC à bas risque. Cependant, sa durée doit être minimisée afin d'éviter un déconditionnement physique trop important et une perte osseuse consécutive à une décharge mécanique. Sachant que la formation d'un cal induit par le modelage restaure l'intégrité de la structure osseuse relativement rapidement, et que les thérapeutes n'ont pas besoin d'attendre un remodelage ciblé lent et total, il convient de proposer une approche visant une mise en charge optimale pour la prise en charge des LOC tibiale et métatarsienne à bas risque. Il n'est pas nécessaire d'avoir recours à une période stricte et prolongée de protection de la mise en charge (comme par exemple 6 à 8 semaines avec une botte de marche).

La mise en charge optimale d'une LOC à bas risque doit respecter la pathologie sous-jacente et est basée plus sur les symptômes que sur une durée. Elle doit être centrée sur une réintroduction progressive de la charge, guidée par l'absence de symptômes pendant, après, et les jours suivant la mise en charge (**FIGURE 2**). Un monitoring rapproché et une éducation à la

douleur sont indispensables. La moindre douleur, qu'elle soit au repos ou à l'activité, indique que la pathologie a été mécaniquement et/ou chimiquement irritée et que la charge doit être modifiée. La douleur n'indique pas systématiquement une récurrence de LOC, mais elle indique que la charge doit être immédiatement régulée afin d'éviter un retard de cicatrisation et/ou une blessure secondaire.

Il demeure des incertitudes sur les conséquences d'une approche par charge optimale sur les délais de reprise de course à pied; cependant, une réintroduction progressive de la charge pourrait favoriser un retour sécuritaire à l'activité et est un modèle de récupération actif pour le sportif. Les objectifs de cette approche sont d'accélérer la guérison des LOC, de prévenir les déficits secondaires (par exemple une diminution des capacités cardio-vasculaires et musculaires), et d'évaluer d'éventuels facteurs de risque (par exemple le niveau d'énergie, le statut hormonal, la mécanique de course, le programme de course, etc) qui font partie et sont essentiels dans le modèle de charge optimale en raison de leur impact sur les capacités de l'os à résister à la charge et/ou leur influence sur le niveau de mise en charge pendant la période de récupération ou après le retour aux activités.

L'objectif initial de la prise en charge des LOC est de retrouver une marche et des activités de la vie quotidienne indolores. Pour obtenir une marche indolore, on peut déléster le poids supporté, en utilisant des accessoires (par exemple, une à deux béquilles, canne, etc) couplés à des chaussures plus amortissantes avec ou sans semelles pour dissiper les forces d'impact dans le cas d'une LOC tibiale, ou avec des chaussures plus rigides ou avec rocker pour réduire les forces de cintrage au niveau métatarsien dans le cas des sportifs avec une LOC métatarsienne. Si une marche normale indolore ne peut être obtenue malgré les dispositifs déléstant partiellement le poids supporté, supprimer l'appui ou porter une botte de marche devrait être envisagé. Il convient d'utiliser la botte de marche à bon escient, car elle altère la mécanique de marche et contribue à d'autres problèmes proximaux et controlatéraux, indépendamment de l'utilisation correcte d'une talonnette pour corriger la différence de longueur de jambe induite par la botte. Les chaussures minimalistes augmentent la mise en charge des métatarses; nous recommandons d'éviter les chaussures minimalistes les premiers temps douloureux de la récupération d'une LOC métatarsienne, car elles induiraient une progression plus lente dans le programme de retour à la course à pied.

Des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) peuvent être envisagés en cas de douleur au repos et/ou nocturne, mais pas pour obtenir une marche indolore, car ils pourraient masquer les symptômes d'une charge excessive. Des prises prolongées d'AINS pourraient également diminuer la formation d'os pendant le processus de guérison des LOC, inhiber l'adaptation osseuse à la charge, et contribuer à augmenter le risque de LOC. Il est donc nécessaire de limiter la prise d'AINS à court terme (jusqu'à 7 jours) afin d'éviter ces potentiels effets négatifs.

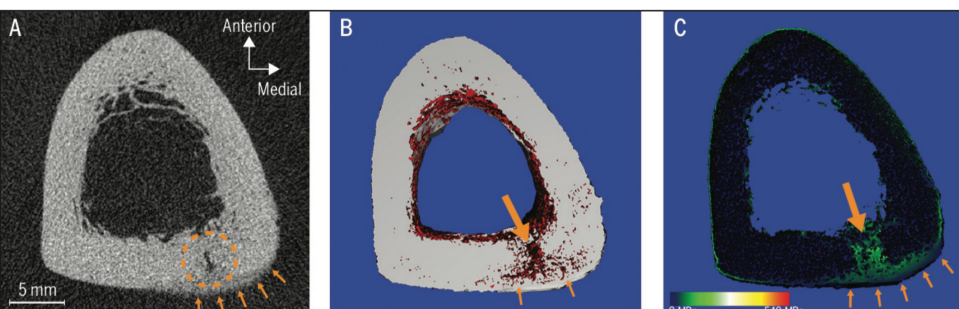


FIGURE 1. Les lésions osseuses provoquent une porosité intra-corticale et altèrent les propriétés mécaniques. (A) Image tomographique d'une LOC du cortex tibial postéro-médial (cercle brisé) chez une coureuse à pied de longue distance de 22 ans, acquise en utilisant une tomographie informatisée quantitative périphérique de haute résolution (résolution de 61 micromètres). Notons la présence d'un cal déminéralisé faisant le pont au niveau du périoste superficiel sur le site lésionnel (flèches). (B) Image tridimensionnelle montrant les zones de porosité en rouge. La majorité du cortex tibial a une porosité limitée, incluant le cal déminéralisé nouvellement formé. Cependant, il y a une porosité dominante sur le site de la LOC (grande flèche) diffusant médialement et latéralement le long du périoste initial (petites flèches). (C) Modelage élémentaire final de la distribution des contraintes en réponse aux charges compressives axiales. Les tensions sont concentrées sur les régions de la LOC (large flèche) et du cal immature déminéralisé (petites flèches). Abréviations: LOC, Lésion Osseuse de Contraintes. Reprinted by permission from Springer Nature. Warden SJ, Edwards WB, Willy RW. Preventing bone stress injuries in runners with optimal workload. *Curr Osteoporos Rep*. ©2021 Springer Nature, advance online publication, 26 February 2021. <https://doi.org/10.1007/s11914-021-00666-y>

Principe clé 2 : Envisager des compléments pour favoriser la cicatrisation

L'intérêt des sportifs et des coaches de réduire le temps de récupération des LOC n'est pas surprenant. Bien qu'il n'y ait aucune méthode prouvée pour accélérer la guérison d'une LOC, certaines sont utilisées cliniquement, en supposant qu'elles ont à défaut aucun effet néfaste lorsqu'elles ne sont pas utilisées aux dépens d'interventions actives.

Les ultrasons pulsés à basse intensité (à moins de 0,1 W/cm²) sont l'électrothérapie la plus prometteuse pour influencer positivement la guérison des LOC. Les ultrasons pulsés à basse intensité produisent une onde qui va mécaniquement stimuler (c'est à dire charger) les ostéoblastes et, de plus, contribuer à la mise en charge cellulaire. Il y a une justification préclinique et clinique préliminaire en faveur des ultrasons pulsés à basse intensité pour prendre en charge les LOC aiguës, mais les essais pilotes randomisés n'ont pas montré de bénéfices

dans la récupération des LOC tibiale, métatarsienne, et fibulaire à bas risque. En dépit d'un manque de preuve de haut niveau sur leur efficacité, les ultrasons pulsés à basse intensité sont utilisés cliniquement. Appliquer des ultrasons pulsés à basse intensité plusieurs fois par jour, au lieu d'une seule fois par jour comme c'est le cas habituellement, semble produire un stimulus ostéogénique augmenté car (1) les cellules osseuses se désensibilisent rapidement aux stimuli mécaniques pour devenir « sourdes » après 100 cycles consécutifs de mise en charge, et (2) des périodes de repos d'au moins 4 heures entre les phases de mise en charge restaurent plus de 80% de la mécano-sensibilité des cellules osseuses. Enfin, les ultrasons pulsés à basse intensité pourraient trouver leur principale utilité dans les LOC affichant une cicatrisation retardée ou une cicatrisation nulle, en stimulant un pont osseux (c'est à dire une cicatrisation) dans plus de 90% des cas.

L'utilisation de produits pharmacologiques « sans étiquette » normalement réservés pour l'ostéoporose pourraient impacter la cicatrisation des LOC et améliorer le potentiel osseux général pour réduire le risque de LOC ultérieure. Il est recommandé d'éviter les biphosphonates anti-résorption puisqu'ils retardent la cicatrisation des LOC en supprimant le remodelage intra-cortical et le nettoyage des dégâts. En comparaison, les téraparates (une hormone humaine parathyroïdienne recombinante) stimulent les ostéoblastes plus que les ostéoclastes et pourraient impacter la cicatrisation osseuse. Chez les femmes avec des LOC des membres inférieurs, la thérapie par téraparates produit une fenêtre anabolique substantielle (c'est à dire un niveau de formation osseuse supérieur à la résorption) en comparaison à un placebo. Les téraparates pourraient être pertinents pour charger de manière optimale les LOC pendant leur phase de cicatrisation, car leurs effets sont régulés via le récepteur 1 de l'hormone parathyroïdienne. Ce récepteur joue également un rôle partiel d'intermédiaire dans la mécano-sensibilité des cellules osseuses. Introduire un stimulus mécanique (comme les ultrasons pulsés à basse intensité ou un programme de mise en charge de l'os) au cours des 30 minutes suivant l'injection de téraparates, qui correspond à la durée du pic de concentration sérologique, pourrait provoquer une synergie engendrant une meilleure réponse que ces deux actions prises séparément.

Principe clé 3 : Maintenir une forme physique

Les sportifs avec une LOC à bas risque peuvent maintenir leur forme cardio-pulmonaire pendant la phase initiale de réduction de la charge en faisant du vélo, en nageant, en courant en eaux profondes, et/ou avec d'autres formes d'entraînement croisé. Il faut surveiller la moindre apparition de symptôme au niveau du site de la LOC pour s'assurer d'une cicatrisation optimale et guider la progression des activités en entraînement croisé. Les charges de travail de ces entraînements croisés peuvent inclure une combinaison d'interval training à haute intensité et des protocoles d'endurance, et devraient être surveillés pour s'assurer de la disponibilité énergétique optimale pour soutenir la cicatrisation des LOC, particulièrement chez les sportifs montrant des signes de déficiences énergétiques relatives (RED-S). L'évaluation des déficiences énergétiques relatives peut se faire avec l'outil d'évaluation RED-S.

Il est important d'introduire des activités en entraînement croisé avec prudence, en respectant l'apparition des symptômes. Des modifications spécifiques peuvent être nécessaires pour moduler la charge dans la zone blessée. Faire du vélo avec des semelles rigides pourrait aider à diminuer les contraintes en flexion dans les LOC métatarsiennes, et encourager les sportifs à positionner leur pied en avant de la pédale pour appliquer les forces de

pédalage avec l'arrière-pied plutôt que l'avant-pied. Nager avec un pull-buoy entre les jambes et éviter les palmes, les culbutes, et les poussées contre le mur pourraient également réduire les mises en charge osseuses accidentelles pour les LOC tibiale et métatarsienne.

Principe clé 4 : Être attentif à la fonction musculaire

Il est nécessaire d'être attentif à la fonction musculaire (par exemple, la force, l'endurance, la puissance, etc) pendant la convalescence à la fois pour maintenir le niveau de forme et pour prévenir la récurrence des LOC. La sensibilité des LOC est prospectivement liée à une taille et une force musculaire réduite. Il faut choisir des exercices de résistance qui ciblent les muscles localisés au niveau de la LOC spécifiquement, les muscles fléchisseurs plantaires et les muscles intrinsèques du pied pour les LOC tibiale et métatarsienne respectivement. Cependant, il est également important d'entraîner les muscles à distance afin de minimiser les pertes de masse et de force musculaires concomitantes.

Les fléchisseurs plantaires sont le groupe musculaire dominant agissant directement sur le tibia, en modulant les contraintes de compression et de cisaillement pendant la course à pied et en conférant une flexion postérieure et une compression de la surface postérieure sur le tibia. Un renforcement ciblé et progressif des fléchisseurs plantaires pourrait commencer rapidement chez les sportifs avec une LOC tibiale postéro-médiale (à bas risque) car les contraintes postérieures en tension sont faibles, mais devrait être retardé dans les LOC de la corticale antérieure du tibia (à haut risque). Des exercices contre résistance progressifs peuvent être proposés, guidés par la douleur et par le temps moyen estimé pour le retour au sport.

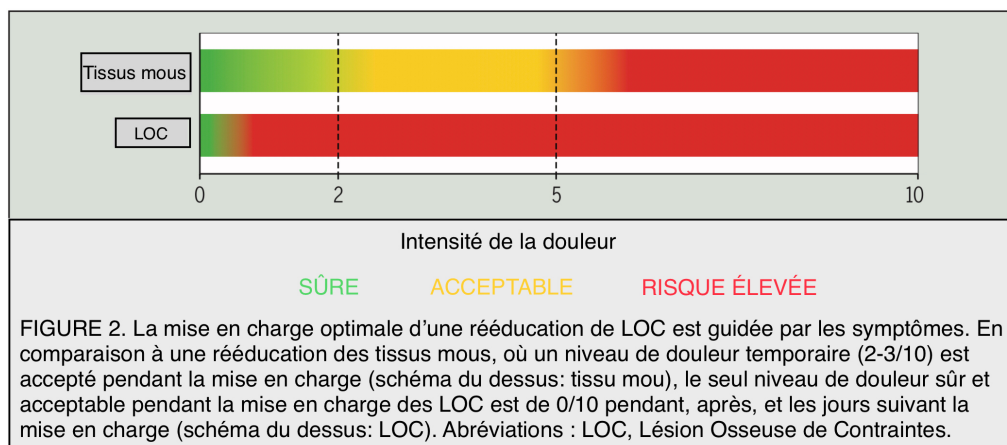
Les exercices de montées sur les pointes debout, ceux assis pour le soléaire, et la presse à jambe devraient être proposés en semaines 3 à 4 pour les sportifs récupérant d'une LOC tibiale postéro-médiale avec un grade 2 de Fredericson, à condition que les sportifs puissent marcher et réaliser les exercices sans douleur. La mise en charge par des exercices avec résistance devrait être retardée jusqu'aux semaines 5 à 6 et 8 pour les LOC tibiales avec respectivement un grade 3 à 4a et 4b de Fredericson. Il faut retarder le travail des ischio-jambiers de 2 semaines dans la chronologie de la prise en charge des grades 2 à 4b de Fredericson, en raison des potentielles charges en tension postérieure du tibia causées par le point d'application de la résistance externe. Le renforcement des ischio-jambiers (et des quadriceps et fléchisseurs de hanche, des extenseurs, des abducteurs, et des rotateurs externes) devrait commencer plus tôt si on applique une résistance proximale au site de la LOC et que les exercices sont réalisés sans douleur. La progression se fait par des exercices à forte charge (60%-80% de la 1RM) et un faible nombre de répétitions (3 à 6 séries de 5 à 15 répétitions).

Les sportifs en convalescence d'une LOC métatarsienne à bas risque devraient attendre jusqu'à ce que la sensibilité osseuse soit résorbée avant d'entamer des flexions plantaires en résistance au poids de corps (par exemple les montées sur pointe de pied), en raison des moments de force de contraintes en flexion au niveau de la diaphyse métatarsienne. Le renforcement des muscles intrinsèques du pied (griffer une serviette et l'exercice du « short-foot » sans poids de corps), ainsi que la presse à jambe (en appuyant sur les talons) et un renforcement des fléchisseurs et extenseurs du genou et dans tous les plans de la hanche, pourraient commencer tôt dans la rééducation d'une LOC métatarsienne. Les amplitudes de dorsiflexion de la cheville peuvent décliner rapidement consécutivement à une perte de la marche normale chez les sportifs avec une LOC métatarsienne, résultant en une montée du talon précoce et une

augmentation des contraintes métatarsiennes lors du retour à la course à pied. Il est nécessaire de maintenir dès le début une amplitude de dorsiflexion par des dorsiflexions actives sans charge avec à la fois le genou fléchi et le genou tendu. L'utilisation d'une bande sous le pied pour les étirements passifs doit être faite avec prudence pour éviter la surcharge du site pathologique.

Principe clé 5 : reprendre progressivement la course à pied

La natation, le vélo, et la course à pied en eaux profondes ne sont pas des activités ostéogéniques et ne



représentent pas des stratégies à long terme pour maintenir ou améliorer la capacité en course à pied ou la santé osseuse.

Remplacer l'entraînement croisé initial par des activités qui augmentent progressivement la mise en charge de l'os, comme l'elliptique ou le tapis de course avec délestage du poids de corps (par exemple anti-gravitaire ou à pression positive du bas du corps), permet de réintroduire une mise en charge de manière progressive avant de reprendre la course à pied au sol.

Un programme de reprise de course à pied alternant marche et course à pied est le standard pour la reprise de la course à pied chez les sportifs avec une LOC à bas risque. Ce programme de retour à la course à pied peut être initié lorsque le sportif est indolore dans les activités de la vie quotidienne pendant au moins 5 jours consécutifs. Bien qu'il n'y ait pas qu'un seul programme reconnu de reprise de course à pied, chaque programme doit minimiser les pics de charge dans la mise en contrainte de l'os.

La charge osseuse pourrait être définie comme l'interaction entre le nombre de fois et la force avec lesquels l'os est mis en charge. Cette interaction est souvent décrite comme inversement proportionnelle, ce qui signifie qu'une faible augmentation de l'amplitude de la charge (par exemple, un entraînement en intensité) réduit de manière exponentielle le nombre de cycle de mise en charge (par exemple, un entraînement en volume) permis avant un dommage osseux. En ce qui concerne la course à pied, il a été estimé qu'une augmentation de 10% dans la mise en charge des tissus (par exemple les contraintes) réduit de moitié le nombre de cycles de mise en charge avant que l'os ne souffre.

Parce que les dommages osseux augmentent plus rapidement avec une augmentation de l'amplitude de mise en charge, il est théoriquement plus sûr d'augmenter d'abord le volume d'entraînement avant l'intensité lorsque l'on reprend un programme de retour à la course à pied ou lorsque l'on s'oriente vers la reprise de l'entraînement complet ou de la compétition. En termes de probabilité, courir une même distance mais à une vitesse réduite, de 12,6km/h à 9km/h, réduit de moitié le risque de LOC tibiale. Ainsi, le choix des séquences de course à pied à haute intensité doit se faire de manière judicieuse, et il convient de réduire le volume total de course à pied lorsque l'on augmente le volume de course à pied à haute intensité.

La plupart des programmes de retour à la course à pied commencent avec le respect de la non-douleur, en proposant de la marche que l'on substitue progressivement par des séquences de jogging (50% de l'allure habituelle) puis de course à pied. La progression dans ces programmes de retour à la course à pied est guidée par la provocation des symptômes pendant et après l'entraînement, et non pas par les performances. La condition cardiovasculaire et les capacités musculaires progressent plus vite que les capacités osseuses. Ainsi, la mesure de la fatigue ressentie n'est pas appropriée pour guider ces programmes de retour à la course à pied. Les séquences de course à pied pendant le retour à la course à pied ne devraient être considérées que comme des séquences de mise en charge contrôlées de l'os; la condition physique aérobie devrait être entretenue par un entraînement croisé.

Un programme classique de retour à la course à pied comporte 4000 à 7000 cycles additionnels de mise en charge (par exemple, le nombre de pas) en une journée. Une manière objective d'évaluer la mise en charge osseuse et d'identifier les pics de charge pendant la phase de récupération est de combiner la durée et la vitesse de la course à pied avec le nombre de pas

pendant la course à pied et sur toute la journée. Des capteurs portables avec leurs logiciels et leurs algorithmes de calcul pourraient être utilisés. Cependant, ces dispositifs ne mesurent pas encore un composant critique de la mise en charge osseuse : la charge dérivée du muscle. De plus, la validation des mesures pour identifier les pics de charge est toujours à l'étude; les cliniciens et les sportifs ne devraient pas se reposer sur un simple système métrique (par exemple, le ratio charge aiguë/ charge chronique ACWR). Pour l'heure, nous suggérons que les cliniciens aient recours à une combinaison entre une augmentation graduelle de la charge (par exemple, 5 à 10% d'augmentation de la durée de course par semaine) et une surveillance accrue des moindres symptômes pouvant apparaître lors de la reprise de la course à pied après une LOC.

Principe clé 6 : diminuer le risque de blessure ultérieure

Une LOC primaire est le facteur de risque le plus facilement reconnaissable et le plus universel pour une LOC secondaire. Les adolescentes qui courent ayant un antécédent de LOC ont un risque 6 fois plus grand de LOC ultérieure, tandis que les femmes qui courent ayant un antécédent de LOC mais avec d'autres facteurs de risque établis, comme un indice de masse corporelle inférieur à 19 kg/m² et une ménarche tardive (à 15 ans ou plus) ou une aménorrhée/oligoménorrhée, ont 2 fois plus de risque de subir une LOC que leurs pairs en bonne santé.

Un antécédent de LOC est un indicateur fort sous-tendant des facteurs de risque intrinsèques, ce qui peut comprendre des propriétés osseuses déficientes, une ménarche retardée ou une interruption du cycle menstruel, et un indice de masse corporelle inférieur à 19kg/m², ainsi que des facteurs de risques extrinsèques comme un haut volume de course à pied ou la pratique en compétition. Ainsi, évaluer les sportifs uniquement sur leur historique de LOC, particulièrement ceux ayant planifié un retour à des hauts volumes d'entraînement, pourrait être efficace pour identifier ceux qui devraient bénéficier d'un programme à long terme minimisant les risques. La présence de plusieurs facteurs prédictifs pourrait également renforcer la capacité d'identifier les athlètes à risque de LOC secondaire (**FIGURE 3**).

Avant d'aborder les besoins nutritionnels, les capacités énergétiques, le statut hormonal, et d'autres facteurs de risque intrinsèques, l'approche par la notion de charge optimale doit être envisagée pour améliorer la santé osseuse et/ou réduire la mise en charge osseuse pendant la course à pied.

Entraînements aux sauts et amélioration de la santé osseuse

Les cellules osseuses trouvent « ennuyant » une mise en charge monotone, unidirectionnelle liée à une course à pied, tant et si bien qu'un simple retour à la course à pied est insuffisant pour améliorer la santé osseuse et réduire le risque de LOC ultérieure. Le repos relatif consécutif à une LOC a pour résultat une perte osseuse bilatérale, avec un pic aux alentours de la 12^{ème} semaine, soit le temps d'un retour progressif aux activités. Il est intéressant de noter que les LOC répétées consécutives à la reprise de l'entraînement surviennent plus fréquemment sur le membre inférieur sain. Cette donnée suggère que la santé osseuse, incluant le membre inférieur sain, doit être surveillée pendant la phase de récupération.

Pour impacter la santé osseuse, la charge introduite doit excéder celle exercée pendant les activités de la vie quotidienne (par exemple, une course à pied en endurance). Un programme de sauts qui (1) implique progressivement des charges plus importantes, (2) implique plusieurs répétitions de mise en

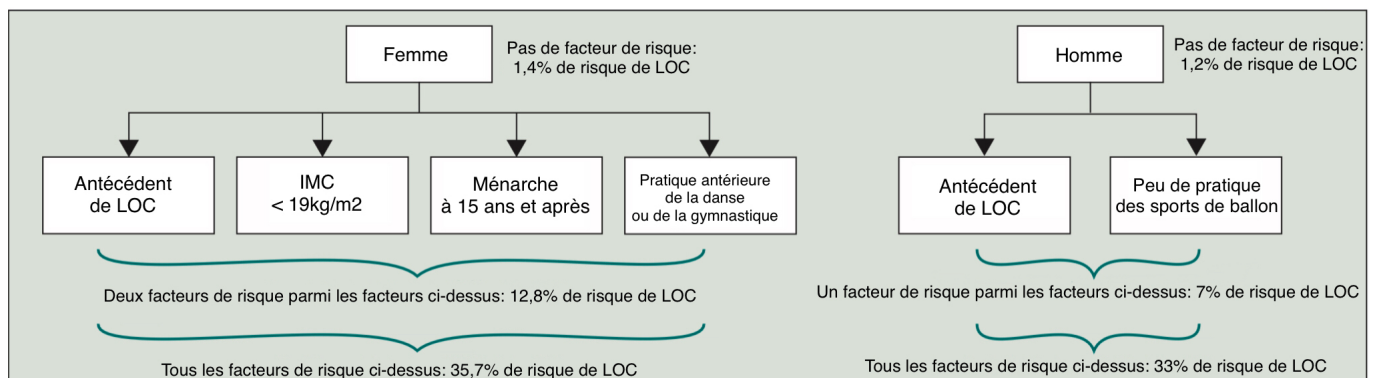


FIGURE 3. Risque potentiel de LOC spécifique au sexe chez les adolescents coureurs de cross-country, basé sur une analyse multivariée de 748 coureurs compétiteurs au lycée (442 filles et 306 garçons). Vingt-trois filles (5,2%) et 11 garçons (3,6%) ont subi une LOC de manière prospective pendant la période d'une moyenne de 2,3+/- 1,2 saisons complètes en cross-country et sur piste. Les sites de LOC les plus fréquents chez les filles et les garçons étaient le tibia et les métatarses, respectivement. Abréviations : IMC, Indice de Masse Corporelle ; LOC, Lésion Osseuse de Contraintes.



charge par séance, (3) est répété plusieurs fois par jour, et (4) est répété au moins 3 jours par semaine pourrait améliorer les propriétés osseuses du membre inférieur. Il est pertinent de se concentrer sur une impulsion explosive plutôt que sur des réceptions lourdes (par exemple, à haut impact) car le muscle génère de plus importantes forces sur l'os. La nature pliométrique des activités de sauts a le bénéfice secondaire d'améliorer la puissance musculaire, ce qui peut améliorer les performances en course à pied (**TABLEAU 1**). Un programme de saut confère des gains supérieurs sur les propriétés osseuses qu'un programme de renforcement lourd.

En introduisant des exercices de saut et de type pliométrique au programme d'un sportif, il faut prendre en compte les conséquences sur la mise en charge extra osseuse. Pour compenser l'augmentation de la charge, il convient de proposer un programme spécifique de mise en charge osseuse en accord avec une diminution du volume et/ou de l'intensité de la course à pied.

Alternativement, le programme de mise en charge osseuse peut être aménagé en échangeant 1 ou plusieurs sessions de course à pied par semaine par un entraînement croisé à faible charge (par exemple, le vélo, l'elliptique, le tapis de course avec délestage du poids de corps). Si la mise en charge du membre inférieur sain survient tôt dans la phase de récupération, il est possible d'utiliser une botte sur la jambe blessée afin de la protéger d'une mise en charge accidentelle.

Travail de la foulée pour influencer la mise en charge osseuse

Le travail de la foulée (c'est à dire un entraînement de la technique de course) peut être une voie valable pour réduire la mise en charge osseuse chez les sportifs. Une augmentation de 5 à 10% de la cadence de pas en course à pied (c'est à dire courir avec une foulée plus courte tout en maintenant la même vitesse de course) réduit la probabilité d'une LOC tibiale, malgré l'augmentation conséquente des cycles de mise en charge requises pour

TABLEAU 1		
EXERCICES PLIOMETRIQUES POUR AMÉLIORER LA SANTÉ OSSEUSE (ET LA PUISSANCE MUSCULAIRE) DU MEMBRE INFÉRIEUR CHEZ LES COUREURS		
Exercice	Description	Alternatives de progression
Détente verticale maximale, Countermovement jump, squat sauté	Démarrer avec les pieds écartés à la largeur des hanches, descendre en squat avec le tronc droit, puis sauter immédiatement le plus haut possible	Réaliser des squats jumps avec les pieds plus écartés que la largeur de hanche et les pieds légèrement tournés vers l'extérieur. Amener les genoux à la poitrine en l'air (par exemple, le tuck jump). Evolution possible en réalisant le mouvement sur une jambe
Sauts dans 4 carrés	Se tenir debout dans un carré d'une surface imaginaire ou matérialisée de 4 carrés. Garder les jambes serrées, sauter dans chacun des autres carrés de manière aléatoire, en utilisant de manière prédominante les mollets. Les sauts seront en avant, en arrière, latéraux et en diagonale	Choisir une surface plus grande pour augmenter la distance des sauts, et ajouter des obstacles (par exemple, des haies) pour sauter plus haut. Utiliser un peu plus le mouvement de squat pour sauter afin d'inclure la chaîne cinétique proximale. Evolution possible en réalisant le mouvement sur une jambe
Saut en longueur vers l'avant	Démarrer avec les pieds écartés à la largeur des hanches, s'accroupir en position de squat avec les bras derrière soi, puis sauter vers l'avant le plus loin possible, en s'aidant des bras	Au lieu de répéter des sauts vers l'avant, sauter d'avant en arrière. Evolution possible en réalisant le mouvement en partant d'une jambe et en réceptionnant sur l'autre (par exemple, foulée bondissante). Evolution possible en ajoutant des obstacles à franchir (par exemple, des haies) ou réaliser des rotations de 90° ou 180° en l'air.
Box jump	Faire face à une plateforme surélevée (par exemple, une box jump, un step, un banc), descendre en squat, puis sauter immédiatement vers le haut et l'avant sur la plateforme	Augmenter la hauteur de la plateforme ou enchaîner avec un saut vers l'avant pour atterrir en contrebas de la plateforme sur les deux pieds, avant de sauter immédiatement le plus haut possible (ou sur une seconde plateforme). Evolution possible en réalisant le mouvement sur une jambe
Sauts latéraux	Démarrer avec les pieds proches l'un de l'autre, descendre en squat, puis sauter immédiatement sur le côté le plus loin possible. Répéter dans la direction opposée.	Ajouter des obstacles à franchir (par exemple, des haies) ou une plateforme pour sauter dessus. Evolution possible sur une jambe, en changeant de jambe entre impulsion et réception (par exemple, des foulées bondissantes latérales), ou ajouter des mouvements du tronc vers l'avant et croiser les jambes à la réception (par exemple, un skater jump latéral). Ajouter une composante de saut vers l'avant pour charger en diagonale ou une réception amortie avec flexion maximale. Evolution possible en réalisant le mouvement sur une jambe
Alternance split squat/fentes sautées	Démarrer en fente en position basse avec une jambe en avant, le tronc droit, et le bras opposé en arrière, sauter le plus haut possible, en ramenant le genou arrière vers l'avant et le haut et en lançant les bras dans la direction opposée. Se réceptionner sur la jambe initialement à l'avant. Répéter avec la jambe opposée vers l'avant	Inverser les jambes en l'air pour réceptionner en position de fente avec la jambe opposée vers l'avant, pour réaliser des fentes sautées alternées en un mouvement fluide
Lever de terre unipodal puis saut	Se tenir debout sur la jambe droite avec le genou légèrement fléchi. Se pencher vers l'avant en partant des hanches, en laissant la jambe gauche aller naturellement vers le haut et l'arrière jusqu'à ce que la jambe et la poitrine soient parallèles au sol. Placer le bras gauche vers l'avant et le droit vers l'arrière. Lancer les bras simultanément dans la direction opposée, en ramenant la jambe gauche devant, redressant la poitrine, et sauter le plus haut possible avec la jambe droite. Répéter sur la jambe opposée	Ajouter des sauts vers l'avant ou latéraux au mouvement
*Les exercices sont listés du plus simple au plus difficile, et devraient être réalisés en se concentrant sur une impulsion explosive et une réception en douceur sur la pointe des pieds, avec les hanches et les genoux fléchis. Les séries d'exercices devraient être réalisées toutes les 4 heures pendant 5 minutes (avec des séquences de 40 secondes de répétitions suivies de 20 secondes de repos) au moins 3 jours par semaine. Tous ces exercices peuvent être intensifiés avec le port d'une veste lestée ou de poids dans les mains.		



courir une distance donnée avec le nouveau schéma de course. Aussi, un essai prospectif a identifié une faible cadence de pas comme étant un facteur de risque important pour les LOC. A l'inverse, adopter une attaque par l'avant-pied, une autre méthode fréquemment utilisée de modification du schéma de course, ne réduit pas le pic de contrainte tibial et ne réduit pas la probabilité d'un risque de LOC. Par conséquent, adopter une attaque par l'avant-pied n'est pas utile pour les sportifs récupérant d'une LOC tibiale. Une attaque par l'avant-pied augmente également les contraintes métatarsiennes pendant la course à pied. Ré-entraîner un sportif pour augmenter sa cadence de pas peut facilement être mis en place cliniquement et pendant les sessions de course à pied de routine avec l'utilisation de montres connectées disponibles dans le commerce qui donnent un retour en direct de la cadence. Associer une rééducation par la cadence avec un entraînement de sauts et de force pourrait être une stratégie fiable pour réduire le risque chez les athlètes avec un antécédent de LOC tibiale. Une augmentation de la cadence de pas en course à pied ne modifie pas le risque de fracture de stress métatarsienne et n'est pas indiquée.

SYNTHÈSE

Les LOC des diaphyses tibiales et métatarsiennes à bas risque devraient être prises en charge selon une approche basée sur la notion de charge optimale et guidée par la provocation des symptômes (**TABLEAU 2**). A chaque étape de la cicatrisation et de la récupération, la charge optimale ne produit aucun symptôme ni pendant, ni après, ni les jours suivants la mise en charge. Des symptômes à l'un de ces moments suggèrent que la charge est excessive et que cela provoque une irritation mécanique et/ou chimique de la pathologie. La charge optimale est un modèle de récupération active, en opposition à la prescription d'une période stricte de délestage du poids de corps, qui maintient l'équilibre entre le désir de maintenir une condition physique et les changements musculo-squelettiques concomitants. Malgré cela, il n'est pas

établi qu'une approche de charge optimale modifie la chronologie de retour à la course à pied après une LOC des diaphyses tibiale ou métatarsienne ni n'influence le risque d'une LOC ultérieure.

POINTS-CLÉS

Résultats: Les Lésions Osseuses de Contraintes (LOC) chez les coureurs à pied affectent le plus souvent les diaphyses tibiales et métatarsiennes. Les lésions osseuses de contraintes sur ces sites sont considérées "à bas risque" en termes de risque de complications lors de la guérison.

Implications: Les LOC des diaphyses tibiales et métatarsiennes à bas risque chez les sportifs peuvent être prises en charge de manière sécuritaire via une approche dite de charge optimale, consistant en une phase initiale de réduction de la charge suivie d'un programme de retour à la course à pied progressif.

Attention: Il n'y a pas de données prospectives établissant la supériorité d'une approche par charge optimale sur les résultats ou sur un retour plus rapide à la course à pied qu'un traitement prescrivant une période avec décharge du poids de corps.

TABLEAU 2		CHARGE OPTIMALE DANS LA PRISE EN CHARGE DES LOC DES DIAPHYSES TIBIALES ET MÉTATARSIENNES À BAS RISQUE	
Objectif de prise en charge	Diaphyse tibiale		Diaphyse métatarsienne
Obtenir une marche indolore	Réduction de la charge pour obtenir une marche et des AVQ indolores. La présence de douleur (>0/10) quel qu'en soit le moment, que ce soit à l'activité ou au repos, indique une charge excessive		
	Décharge du poids de corps combinée avec des chaussures amortissantes avec ou sans semelles		Décharge du poids de corps combinée avec des chaussures plus rigides ou avec rocker
	Si une marche normale indolore ne peut pas être obtenue malgré une décharge du poids de corps, recommencer avec une décharge complète du poids de corps avec des béquilles ou avec l'utilisation limitée d'une botte de marche		
Soulager la douleur	Analgésiques et/ou AINS pour une durée < à 7 jours seulement si une douleur au repos et/ou la nuit est présente, sans obtenir une marche indolore		
Favoriser la cicatrisation osseuse	Des ultrasons pulsés à basse intensité (appliqués toutes les 4h au regard de la désensibilisation des cellules osseuses et de leur resensibilisation ultérieure) et des téraparatides quotidiens (une hormone humaine parathyroïdienne recombinante), pris au cours des 30 min précédant l'application d'un stimulus mécanique (ultrasons pulsés à basse intensité ou mise en charge osseuse alternative)		
Maintenir les capacités aérobies	Faire du vélo initialement (en poussant avec l'arrière-pied et des semelles rigides pour les LOC métatarsiennes), nager (avec un pull-buoy entre les jambes et sans avoir recours à des palmes, aux culbutes, ou aux poussées sur le mur), et/ou de la course à pied en eaux profondes. Evoluer vers des activité avec plus de poids de corps (par exemple, de l'elliptique, ou un tapis de course à pression positive du bas du corps) une fois qu'une marche indolore est obtenue		
Promouvoir la forme physique musculo-squelettique	Renforcer en chaîne ouverte les ischio-jambiers, le quadriceps et les muscles des hanches dans tous les plans, en appliquant une résistance proximale au site de la LOC		Renforcer les muscles intrinsèques du pied et travailler sur la presse (en poussant par les talons), et renforcer les fléchisseurs et extenseurs du genou et les muscles des hanches dans tous les plans
	Renforcer les fléchisseurs plantaires progressivement, en commençant à la semaine 3-4, selon le grade de la LOC		Pas de flexion plantaire en résistance avec poids de corps tant que la sensibilité de l'os n'est pas résorbée
	Si tolérables, les exercices devraient progresser vers les hautes charges (60% à 80% de la 1RM) avec peu de répétitions (3 à 6 séries de 5 à 15 répétitions)		
Reprendre la course à pied	Commencer une fois que 5 jours consécutifs se sont écoulés sans douleur et que le sportif est capable de réaliser des sauts consécutifs sans douleur. Augmenter le volume (c'est à dire la durée) avant l'intensité (c'est à dire la vitesse) Commencer avec 30 min de marche active avant de les substituer graduellement par une augmentation des temps de jogging (50% de l'allure habituelle), puis de course L'objectif est une mise en charge osseuse progressive, pas le développement des qualités aérobies. Contrôler le nombre de pas total par jour		
Prévenir des risques futurs	Réaliser régulièrement un programme progressif de renforcement musculaire et de sauts, avec une attention portée aux impulsions explosives pour mettre en charge le squelette		
	Prendre en considération le travail de la foulée,, particulièrement en augmentant la cadence chez les coureurs avec des LOC tibiales		...
Abréviations : AVQ. Activités de la Vie Quotidienne : LOC. Lésion Osseuse de Contraintes : AINS. Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens			