

# Prévention et prise en charge de la blessure liée à la course à pied

ANTOINE GODIN<sup>a</sup>, Pr VINCENT GREMEAUX<sup>b,c</sup>, GUILLAUME SERVANT<sup>d</sup>, CYRIL BESSON<sup>b,c</sup>, Dr FRANÇOIS FOURCHET<sup>d</sup> et Dr LAURENT MOUROT<sup>a</sup>

Rev Med Suisse 2022; 18: 1874-9 | DOI : 10.53738/REVMED.2022.18.798.1874

La blessure liée à la course à pied est un phénomène complexe, multifactoriel dont l'explication reste difficile. Cependant, des outils à disposition des cliniciens permettent d'agir de manière préventive (primaire ou tertiaire) et d'optimiser la rééducation afin de réduire les conséquences de la blessure et le délai avant la reprise de l'activité. Ces outils portent principalement sur le suivi de la charge d'entraînement et l'utilisation clinique de l'analyse biomécanique de la foulée. Ils sont toutefois aujourd'hui mal connus par les praticiens alors que leur utilisation permet de répondre à l'enjeu de la prise en charge du coureur comprenant un retour le plus rapide possible à la pratique, mais également la prévention d'une potentielle récurrence. Cela sous-tend un travail ciblé et une éducation du patient sur les facteurs entraînant la blessure.

## Prevention and management of running-related injuries

*Running related injury is a complex, multifactorial phenomenon that remains difficult to explain. However, there are available tools for clinicians allowing prevention (primary or tertiary) and rehabilitation optimization, thus reducing the consequences of the injury and time before returning to participation. These tools rely mainly on training load monitoring and clinical evaluation of stride biomechanical analysis. Unfortunately, they currently remain poorly known by practitioners, while allowing the opportunity to address the challenge of managing the injured runner, including a faster return to run, but also the prevention of a potential recurrence. It requires targeted intervention and education of the patient on the factors leading to the injury.*

## DÉFINITION, CONCEPTS, ÉPIDÉMIOLOGIE: QUI A-T-ON EN FACE DE NOUS EN CONSULTATION?

La blessure liée à la course à pied (RRI, Running Related Injury) est complexe et multifactorielle,<sup>1</sup> elle est définie comme une «douleur musculosquelettique des membres inférieurs liée à la course à pied (à l'entraînement ou en compétition) qui entraîne une restriction ou un arrêt de l'activité (distance, vitesse, durée ou entraînement) pendant au moins 7 jours, ou 3 séances d'entraînement consécutives programmées, ou qui oblige le coureur à consulter un médecin ou un autre profes-

sionnel de santé».<sup>2</sup> Les RRI sont en majorité liées à la surcharge (75,2%).<sup>3</sup> Un modèle étiologique (figure 1) fait apparaître la surcharge lorsque la capacité d'une structure à supporter la charge est dépassée, suite à un événement aigu ou des événements cumulatifs sans récupération adéquate.<sup>1</sup> Deux facteurs interviennent: a) la capacité de résistance à la charge de la structure avant la session (figure 1, A) et b) la charge cumulée appliquée à la structure lors de la séance d'entraînement (figure 1, D). La combinaison des deux constitue l'erreur d'entraînement (figure 1, E) menant à la RRI.<sup>1</sup> Ces 2 facteurs et leurs déterminants (figure 1) doivent être évalués lors de l'anamnèse, et discutés avec le patient pour l'éduquer afin de prévenir une récurrence.

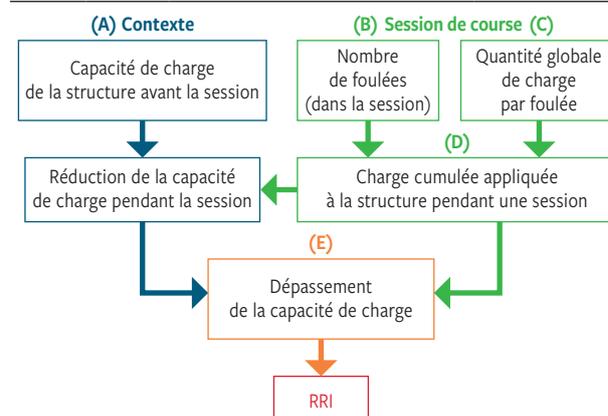
La prévalence des RRI est de 42,7% (26 études, 13182 coureurs, 5362 blessures) et concerne en majorité le genou (28%) et le complexe cheville/pied (26%), indépendamment du genre.<sup>3</sup> L'expérience de course est importante: un coureur régulier a une incidence de 7,7 RRI/1000 heures d'entraînement, mais chez un novice, elle est de 17,8.<sup>4</sup> De plus, 50% des blessures de cette population apparaissent avant les premiers 119 km parcourus.<sup>5</sup>

Le pronostic d'évolution est également différent.<sup>5,6</sup> Elle est plus longue pour les novices, sauf pour les pathologies de stress tibial médial ou méniscales; la récupération des pathologies de hanche présente l'écart le plus conséquent (tendino-

**FIG 1** Modèle étiologique de la RRI

A. Dépend des entraînements précédents, de la récupération, de la nutrition, du sommeil, des antécédents, de l'âge et de la génétique; B. Volume de la session; C. Liée au poids du corps, à la vitesse, au terrain; D. Liée aux caractéristiques anthropométriques, à la technique de course et à la chaussure; E: Erreur d'entraînement.

RRI: Running Related Injury.



(Adaptée de réf. 1).

<sup>a</sup>Physiothérapeute, Unité de recherche EA3920 - Marqueurs pronostiques et facteurs de régulation des pathologies cardiaques et vasculaires, Plateforme exercice, performance, santé et innovation, Université de Bourgogne Franche-Comté, 25000 Besançon, France,

<sup>b</sup>Division de médecine physique et réadaptation, Département de l'appareil locomoteur, Centre de médecine du sport, Swiss Olympic Medical Center, Centre hospitalier universitaire vaudois, 1011 Lausanne, <sup>c</sup>Institut des sciences du sport, Université de Lausanne, 1015 Lausanne, <sup>d</sup>Département de physiothérapie et laboratoire d'analyse du mouvement, Swiss Olympic Medical Center, Hôpital La Tour, 1217 Meyrin/Genève  
antoinegodin.mkde@orange.fr | vincent.gremeaux@chuv.ch | guillaume.servant@latour.ch  
cyril.besson@chuv.ch | francois.fourchet@latour.ch | laurent.mourot@univ-fcomte.fr

pathie du moyen fessier: 124 jours pour le novice, 56 pour le coureur régulier; bursite trochantérienne, 174 vs 70 jours), ainsi que la fasciopathie plantaire (159 vs 35 jours).<sup>5,6</sup> La gestion de la charge d'entraînement et les stratégies de prévention des blessures dans cette population doivent prendre en compte ces différences et une attention particulière doit être portée vers les novices en surpoids, plus à risque.<sup>7</sup>

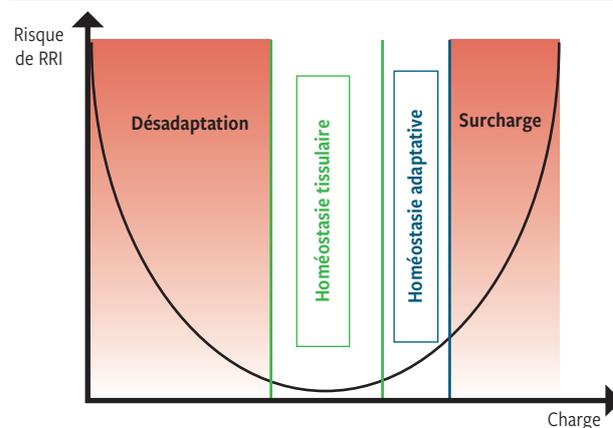
La surface de course et le dénivelé jouent un rôle sur l'incidence des RRI et leur distribution anatomique: elle est plus élevée en trail running (49,5/1000 heures) que sur route (7,7/1000 heures).<sup>3,8</sup> Le trail runner est plus atteint de blessures du complexe cheville/pied (35,5 vs 26%) et musculotendineuses (44,1% des RRI).<sup>3,8</sup> Les tendinopathies représentent 27% et la différence principale avec le coureur sur route concerne la proportion de lésions myoaponévrotiques (15,7 vs 6%, respectivement).<sup>3,8</sup> Le trail runner présente également une proportion importante d'entorses (19,6 vs 1,1%).<sup>3,8</sup> Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence car il existe peu d'études en trail running.<sup>9</sup>

### CHARGE D'ENTRAÎNEMENT: QUEL MODÈLE? OÙ EST L'ERREUR?

Si l'erreur de charge d'entraînement est considérée comme la cause principale de RRI, sa définition et la détection des facteurs de risques restent complexes.<sup>10</sup> Il existe plusieurs modèles pour quantifier la charge d'entraînement et celle appliquée à une structure anatomique. La quantité optimale de charge pour la santé d'un tissu suit une courbe en U (figure 2): si la charge est trop faible, le tissu se désadapte et le risque de RRI est élevé.<sup>11</sup> Si elle est trop importante, le risque de RRI augmente également. Entre ces zones se situe la zone d'homéostasie tissulaire à faible risque. Une quatrième zone dite d'«homéostasie adaptative» est ciblée lors de l'entraînement pour la progression.<sup>11</sup> Elle présente un risque de blessure supérieur à l'homéostasie tissulaire, et dans cette zone, il est important d'évaluer la charge d'entraînement et

**FIG 2** Modèle de l'enveloppe de fonction

RRI: Running Related Injurie.



(Adaptée de réf. 11).

ses variations le plus précisément possible pour optimiser la progression en limitant le risque de blessure.<sup>12</sup>

Cette charge peut être évaluée de différentes manières. Le modèle le plus consensuel repose sur les notions de charges internes et externes.<sup>12,13</sup> La charge externe correspond au stimulus d'entraînement dans sa dimension physique et mécanique: volume (distance, dénivelé, durée, etc.), intensité (vitesse de déplacement, vitesse ascensionnelle), et spécifiquement chez le coureur, le cumul des forces de réaction au sol (Ground Reaction Forces, GRF), des variables cinématiques comme le temps de contact ou le nombre de foulées.<sup>12,13</sup> Toutefois, elle ne représente qu'une partie de l'évaluation qui reste plus complexe, puisque pour des distances équivalentes, la charge interne la plus élevée (réponse psychophysologique au stimulus d'entraînement, mesurable de différentes manières; tableau 1) n'est pas forcément perçue pour la séance présentant la durée la plus importante.<sup>13</sup>

**TABLEAU 1** Différentes manières de quantifier la charge interne

B: bas (se); H: haut(e); M: moyen(ne); POMS: Profile of Mood States; REST-Q-Sport: Recovery Stress Questionnaire for Athletes; RPE: Rated Perceived Exhaustion; sRPE: session Rated Perceived Exhaustion; UA: unité arbitraire; VO<sub>2</sub>: volume d'oxygène.

| Méthodes                                      | Coûts | Matériel | Logiciel | Facilité d'utilisation | Validité | Fiabilité | Utilisation pour interpréter | Utilisation pour prescrire | Variables                                |
|---|-------|----------|----------|------------------------|----------|-----------|------------------------------|----------------------------|--|
| RPE   | B     | Non      | Oui/non  | H                      | M-H      | M-H       | Oui                          | Oui                        | Unique UA                                |
| sRPE  | B     | Non      | Oui/non  | H                      | M-H      | M-H       | Oui                          | Oui                        | Unique UA                                |
| Questionnaire de bien-être                    | B     | Non      | Oui      | M-H                    | M        | M-H       | Oui                          | Oui                        | -  |
| Évaluation psychologique (POMS, REST-Q-SPORT) | B     | Non      | Oui/non  | M-H                    | M-H      | M-H       | Oui                          | Oui                        | -  |
| Mesure de fréquence cardiaque                 | B-M   | Oui      | Oui/non  | H                      | H        | M-H       | Oui                          | Oui                        | Fréquence cardiaque, durée par zones     |
| Consommation d'oxygène                        | H     | Oui      | Oui      | B                      | H        | H         | Oui                          | Oui                        | VO <sub>2</sub> équivalents métaboliques |
| Lactate sanguin                               | M     | Oui      | Oui/non  | M                      | H        | H         | Oui                          | Oui                        | Concentration                            |
| Évaluation biochimique/sanguine               | M-H   | Oui      | Oui/non  | B                      | H        | M-H       | Oui                          | Oui                        | Concentration/volume                     |

(Adapté de réf. 13).

Par ailleurs, la charge externe peut être précisée par le mode de contraction musculaire (par exemple, contractions excentriques dans les parties descendantes), et la charge interne peut être pondérée par la physiologie du tissu auquel s'applique le stress (un tendon et un os réagissent différemment à une activité pliométrique).<sup>14</sup> Ces considérations restent toutefois pour l'instant conceptuelles.<sup>14</sup>

Une proposition de gestion de charge pour éviter la blessure ou lors de la reprise après la blessure se base sur ces considérations tissulaires.<sup>15</sup> Les auteurs séparent le travail centré sur la qualité du tissu (par exemple, renforcement à charge lourde, tempo lent) et le travail spécifique à la performance pour le sport pratiqué (par exemple, sprint ou travail pliométrique avec gammes athlétiques). L'erreur serait d'avoir une pratique centrée sur l'une ou l'autre des dimensions (figure 3).<sup>15</sup>

Ces modèles émergent car la surveillance de la charge externe est insuffisante pour prévenir les RRI. Il existe des données contradictoires concernant l'association des RRI avec la distance parcourue, la durée, le nombre de pas ou la variation de ces paramètres.<sup>10</sup> Ces éléments expliquent l'inefficacité partielle des programmes de course basés sur la progression en distance ou en temps pour prévenir l'apparition de RRI chez le coureur novice.<sup>16</sup>

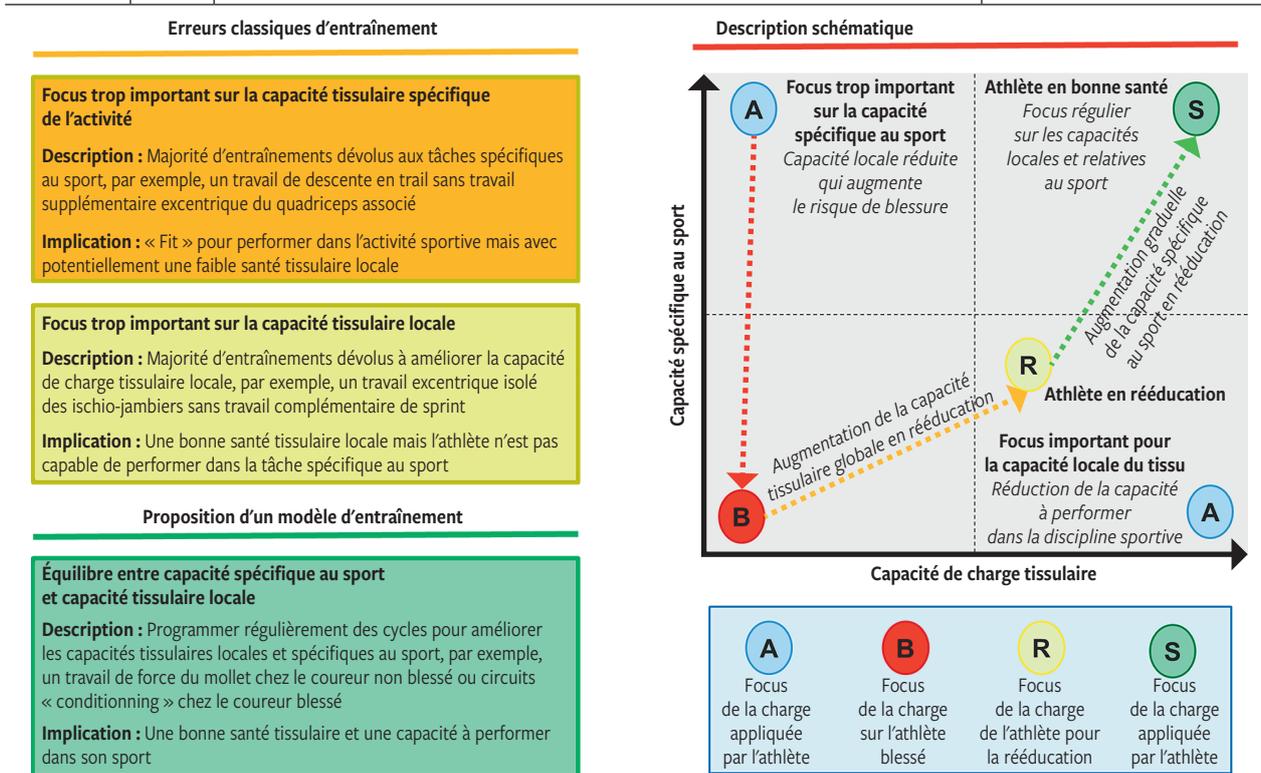
Concernant les marqueurs de la charge interne, il existe un décalage entre leur utilisation pour la performance et leur utilisation pour la prévention des RRI. Par exemple, le lien entre le modèle de charge «TRIMP» (Training Impulse), basé sur la mesure de la fréquence cardiaque, et l'occurrence de la RRI

n'a pas été testé, même si cette approche est reconnue pour le suivi de l'entraînement.<sup>12,13</sup>

Des indices de charges mêlant charge interne et externe sont également utilisés. C'est le cas du modèle de charge de Foster basé sur l'évaluation de la perception de l'effort de l'athlète pour chaque séance multipliée par le volume de la séance.<sup>12</sup> Ils représentent des pistes intéressantes dans la prédiction des RRI, mais les niveaux de preuves sont faibles.<sup>17</sup>

Une limite de ces indices est qu'ils ne prennent pas en compte la pratique antérieure de l'athlète, avec des valeurs seuils de quantité de charge.<sup>18</sup> L'apparition de RRI correspondrait à une diminution de la charge suivie d'une élévation aiguë en rupture avec la charge normale (dite «chronique») où surviendrait la blessure spikes dans la courbe de charge. Dans ce modèle, le rapport de charge aiguë/chronique (Acute Chronic Workload Ratio, ACWLR) est l'outil le plus utilisé dans le suivi.<sup>12</sup> L'ACWLR définirait un ratio optimal de charge (0,8-1,2) où le risque de blessure serait faible.<sup>12</sup> La relation entre l'ACWLR et le risque de RRI suivrait une courbe en U (figure 4). Ce modèle a été testé dans les sports collectifs, mais sa validité en course à pied et les seuils de risque restent à confirmer. Les méthodes de calcul ainsi que la période de charge chronique à étudier pour identifier les erreurs d'entraînement restent à définir.<sup>18</sup> De plus, il existe 2 situations chez les coureurs compétitifs où l'ACWLR est inadapté: a) les charges pics dues à des marathons ou des événements d'ultraendurance qui font suite à des périodes d'affûtage où les charges sont abaissées de 30 à 40%<sup>19</sup> et b) des stages d'entraînements.<sup>20</sup>

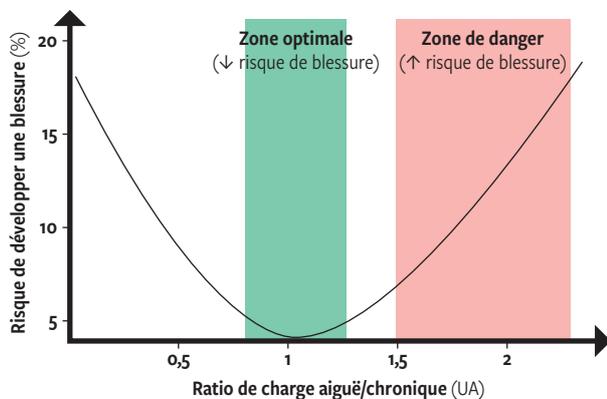
**FIG 3** Définition de l'erreur d'entraînement et modélisation du parcours de l'athlète



(Adaptée de réf. 15).

**FIG 4** Relation entre le ratio charge aiguë/chronique et risque de blessure

↑ : augmentation; ↓ : réduction; UA : unité arbitraire.



(Adaptée de réf. 15).

Le niveau de preuve associé à l'évaluation de la charge interne et externe reste faible.<sup>10</sup> Les indices objectifs et subjectifs de suivi de l'entraînement ne font pas l'objet d'un consensus pour la prévention des RRI par les entraîneurs et les cliniciens (médecin, physiothérapeute). Enfin, dans le modèle étiologique des RRI, une partie de la charge est conditionnée par la biomécanique de la course qui n'est pas prise en compte dans les modèles présentés précédemment.<sup>14</sup>

## BIOMÉCANIQUE ET GAIT-RETRAINING

La biomécanique fait partie du modèle explicatif des RRI en raison de son influence (quantité et répartition) sur la charge mécanique appliquée aux structures.<sup>1,14</sup> Cependant, pour la relation entre paramètres biomécaniques et RRI, les preuves sont limitées, conflictuelles et spécifiques à certaines population.<sup>21</sup> Par exemple, un angle élevé d'adduction de hanche est rapporté chez la coureuse récréative développant un syndrome fémoropatellaire (SFP), ou une cadence basse chez le coureur de cross-country développant une pathologie tibiale (figure 5).<sup>21</sup> Toutefois, ce lien est rétrospectif. Une cohorte prospective centrée sur la cinétique et les paramètres spatiotemporels démontre que seul un Duty Factor bas (ratio temps de contact/temps de vol) est un facteur prédictif de blessure.<sup>22</sup> De même, le pattern de foulée (attaque talon ou avant-pied) ne semble pas influencer l'incidence des RRI.<sup>23</sup> Ces résultats confirment que la biomécanique influence la localisation des RRI, mais n'est pas l'unique facteur étiologique.<sup>1</sup> Des travaux prospectifs montrent toutefois qu'une intervention sur la technique de course peut réduire l'incidence des RRI chez des novices, en diminuant la quantité totale de charge mécanique appliquée par foulée, sans changer sa répartition entre les structures.<sup>24</sup>

S'il n'y a pas de pattern de course clairement corrélé aux RRI, des modifications de la biomécanique de course peuvent être ciblées au cours de la rééducation. Par exemple, le pic d'adduction de hanche des coureurs souffrant d'un SFP peut être diminué par un travail de course sur tapis avec feedback visuel et verbal, alors que le renforcement musculaire n'a pas

montré cet effet.<sup>25</sup> Ces changements apparaissent durables après la période de rééducation, mais il n'existe pas de travaux évaluant la récurrence après le changement de technique de course. Une autre stratégie d'intervention, dite « gait-retraining », vise à modifier la quantité de charge par foulée et à répartir différemment entre les structures, par une pose avant-pied, ou une augmentation de la flexion de tronc, en particulier dans le SFP.<sup>26</sup> D'autres stratégies ciblent la réduction de l'overstride (longueur de la foulée), l'augmentation de la cadence, le changement du pattern de pose de pied (avant, médio- ou arrière-pied), la position du tronc et du bassin (réduction de l'adduction de la hanche ou augmentation de l'extension). Enfin certaines ciblent la réduction des temps de contact (augmentation de la stiffness).<sup>26</sup> Des propositions cliniques ont été faites pour des modifications adaptées à une pathologie spécifique mais restent uniquement basées sur des avis d'expert à ce jour. La modification de la biomécanique vise la décharge d'une structure pour en faciliter la rééducation et modifier les symptômes du patient sans toutefois être définitive, étant généralement abandonnée en fin de rééducation.<sup>26</sup>

Le gait-retraining ne constitue qu'une partie du traitement, dont la globalité peut être résumée par l'acronyme RISK.<sup>27</sup> Le « R » correspond à la réduction de la charge globale (Reduce overall load) et l'adaptation de la charge d'entraînement. Le « I » correspond à l'augmentation de la capacité du coureur à diminuer la charge (Improve capacity to attenuate loads) grâce à la thérapie par l'exercice et l'augmentation progressive de la charge d'entraînement en course. Le « S » correspond au déplacement de la charge vers d'autres structures que celle lésée (Shift load). Le « K » représente l'adaptation du plan de soins aux objectifs du coureur et à ses capacités tissulaires liées à ses antécédents de RRI (Keep adapting to the injured runners goals and capacity). Cet acronyme permet de définir la charge optimale assurant la cicatrisation, l'adaptation de la structure et l'optimisation de la rééducation en termes de temps et de risques de récurrence.<sup>27</sup>

## PATHOLOGIES DE STRESS OSSEUX : UNE ILLUSTRATION DE LA CHARGE OPTIMALE

Les pathologies de stress osseux (Bone Stress Injuries, BSI) illustrent la nécessité de travailler en rééducation et en prévention à l'aide de la charge optimale, en connaissant la réponse physiologique de l'os au stimulus de la course à pied.<sup>28,29</sup> La capacité de l'os à tolérer la charge suit une loi de puissance inverse: une légère augmentation de l'intensité du stress appliqué diminue fortement le nombre de foulées tolérées.<sup>28</sup> Deux problématiques apparaissent: qu'est-ce qui accroît le stress et peut-on en augmenter la quantité tolérée? La course est un stimulus monotone et souvent unidirectionnel. Le stimulus le plus effectif pour la santé osseuse n'est pas la course mais le renforcement musculaire avec des exercices de pliométrie à haute intensité ou à charge lourde avec une dimension multidirectionnelle.<sup>28</sup> L'os présente plus d'adaptations si les périodes de stimulus sont entrecoupées de périodes de décharges (sports portés).<sup>28</sup>

Deux paramètres modulent le stress de l'os. Le premier est la vitesse: à distance égale, courir à 7,2 km/h réduit de 50% le risque de BSI par rapport à 10,8 km/h.<sup>28</sup> La modalité optimale

**FIG 5 Paramètres cinétiques, cinématiques et spatiotemporels reliés à la blessure**

↑: augmentation; ↓: réduction; \*: niveau de preuve très limité (éléments venant d'une étude de qualité basse ou modérée); \*\*: niveau de preuves limité (éléments venant au moins d'une étude de haute qualité ou de deux études de qualité modérée ou basse).

| Paramètres analysés                                       |   | Plan frontal et transverse   | Plan sagittal   |
|---|---|--|---|
| Cinématique et moments articulaires, raideur et impulsion | Tronc   |  |   |
|   | Bassin/hanche   | ↑ Angle pic d'adduction de hanche**  |   |
|   | Genou   | ↑ Moment d'impulsion en abduction du compartiment interne**<br>↑ Moment pic d'adduction du compartiment externe**<br>↑ Angle pic de rotation interne**   | ↓ Angle pic de flexion*<br>↑ Stiffness articulaire du genou** |
|   | Cheville/pied   | ↑ Vitesse pic d'éversion**<br>↓ Vitesse pic d'éversion**<br>↑ Angle pic d'éversion**<br>↓ Amplitude articulaire de l'éversion de cheville**<br>↑ Angle pic d'éversion de l'arrière-pied*   | ↓ Angle pic de flexion dorsale*                               |
| Cinétique   | Variables relatives à l'impact  | ↑ Vertical loading rate (instantané ou moyen)**<br>↑ Impact vertical pic**<br>↓ Asymétrie du pic d'impact vertical**<br>↑ Forces de freinage pic**   |   |
|   | Variables relatives à la pression plantaire   | ↑ Force verticale plantaire pic (en regard du deuxième métatarse)*<br>↑ Force verticale plantaire pic (en regard du cinquième métatarse)**<br>↑ Valeur absolue de l'intégrale de la relation force-temps (en regard du cinquième métatarse)**<br>↓ Déplacement antéropostérieur du centre d'application des forces*/**<br>↓ Vitesse du déplacement antéropostérieur**<br>↑ Distribution des forces selon un vecteur latéral*/**<br>↑ Distribution des forces selon un vecteur médial*<br>↑ Déplacement des forces selon un vecteur latéral (au contact initial, au contact de l'arrière-pied, pied à plat, au décollage du talon)**<br>↓ Vitesse du déplacement médiolatéral** |   |
| Spatio-temporel   | ↓ Cadence**<br>↓ Temps de contact au sol**<br>↑ Asymétrie du temps de contact au sol**<br>↓ Temps avant la valeur pic de la force verticale en regard de la partie latérale du talon* |  |   |

(Adaptée de réf. 21).

serait de s'entraîner à haut volume mais à basse intensité.<sup>28</sup> Le second paramètre correspond à la cadence: l'augmenter d'un pas par minute réduirait de 5% le risque de BSI, indépendamment du sexe et de l'antécédent de BSI.<sup>30</sup> Ces paramètres sont à considérer lors de la prescription de charge d'entraînement et en stratégie de gait-retraining dans la gestion de la BSI.

### UNE TECHNOLOGIE PORTABLE POUR CONCILIER SUIVI DE CHARGE D'ENTRAÎNEMENT ET BIOMÉCANIQUE?

L'analyse de la biomécanique de course reste difficile en routine.<sup>1</sup> Les dispositifs portables (wearables) apparaissent comme des outils permettant d'évaluer la biomécanique durant la pratique par la mesure des forces de réactions au sol ou de variables cinématiques (temps de contact, etc.) dans un contexte de suivi de charge d'entraînement et de rééducation, même si les patients sont fréquemment évalués sur tapis roulant.<sup>31</sup> Ces outils sont de plus en plus accessibles (par exemple, centrales inertielles).<sup>31</sup> Ils permettent de déterminer, en plus des indices de charge externe classique (km, dénivelé, etc.), les schémas de mouvement ou les charges d'entraînement reliées à la biomécanique associées aux blessures, d'identifier les personnes à risque de se blesser ou de récidiver, d'évaluer l'impact des charges d'entraînement sur la biomécanique et de fournir un feedback en temps réel

pour faciliter la rééducation d'une RRI.<sup>31</sup> Ces technologies nécessitent des études pour déterminer les bonnes pratiques associées à leur usage, les variables qu'elles investiguent et leur valeur prédictive de RRI.<sup>32</sup>

### CONCLUSION

La course à pied est une activité associée à un risque élevé de blessures dont la prévention et le traitement sont complexes. Dans ces deux contextes la quantification et la gestion de la charge d'entraînement et celle appliquée à une structure constituent l'enjeu majeur de la prise en charge. L'analyse de la biomécanique de course peut permettre le maintien du coureur dans l'activité pendant la rééducation afin d'éviter une problématique de décharge, et chez le coureur novice une intervention peut réduire la survenue d'une RRI. De futurs travaux sont nécessaires pour inclure au mieux la biomécanique de course dans la gestion de la charge d'entraînement des coureurs et quantifier la charge appliquée spécifiquement au tissu. Les wearables constituent une piste prometteuse pour la réalisation de ses travaux ainsi que pour évaluer les coureurs en situation écologique.

Conflit d'intérêts: Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

**IMPLICATIONS PRATIQUES**

- La blessure du coureur à pied est expliquée majoritairement par une surcharge due à une erreur d'entraînement
- L'évaluation de la charge doit comprendre l'analyse de la charge interne et externe, ainsi que la charge spécifique appliquée à la structure anatomique lésée
- L'éducation du coureur blessé sur la gestion de la charge doit lui permettre d'organiser son entraînement après la rééducation pour performer en minimisant le risque de blessure
- La biomécanique de course doit être analysée pour comprendre la répartition de la charge entre les différentes structures, promouvoir la cicatrisation du tissu grâce au gait-retraining, mais le changement de foulée ne doit pas se poursuivre après la rééducation
- Les dispositifs portables (wearables) constituent une opportunité technologique pour lier biomécanique de course, suivi de charge d'entraînement et évaluation écologique du coureur.

1 \*\*Bertelsen ML, Hulme A, Petersen J, et al. A framework for the etiology of running-related injuries. *Scand J Med Sci Sports*. 2017;27(11):1170-80.

2 Yamato TP, Saragiotto BT, Lopes AD. A consensus definition of running-related injury in recreational runners: a modified Delphi approach. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015;45(5):375-80.

3 Francis P, Whatman C, Sheerin K, Hume P, Johnson MI. The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *J Sports Sci Med*. 2019;18(1):21-31.

4 Videbæk S, Bueno AM, Nielsen RO, Rasmussen S. Incidence of Running-Related Injuries Per 1000 h of running in Different Types of Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2015;45(7):1017-26.

5 Nielsen RO, Rønnow L, Rasmussen S, Lind M. A prospective study on time to recovery in 254 injured novice runners. *PLoS One*. 2014;9(6):e99877.

6 Mulvad B, Nielsen RO, Lind M, Ramskov D. Diagnoses and time to recovery among injured recreational runners in the RUN CLEVER trial. *PLoS One* 2018;13(10):e0204742.

7 Nielsen RO, Bertelsen ML, Parner ET, et al. Running more than three kilometers during the first week of a

running regimen may be associated with increased risk of injury in obese novice runners. *Int J Sports Phys Ther*. 2014;9(3):338-45.

8 Viljoen CT, Janse van Rensburg DCC, Jansen van Rensburg A, et al. One in four trail running race entrants sustained an injury in the 12 months training preceding the 2019 SkyRun race. *Phys Ther Sport*. 2021;47:120-6.

9 Viljoen CT, Janse van Rensburg DC, Verhagen E, et al. Epidemiology of Injury and Illness Among Trail Runners: A Systematic Review. *Sports Med*. 2021;51(5):917-43. DOI: 10.1007/s40279-020-01418-1.

10 \*Fredette A, Roy JS, Perreault K, et al. The association between running injuries and training parameters: A systematic review. *J Athl Train*. 2021 Sep 3. DOI: 10.4085/1062-6050-0195.21.

11 Dye SF. The pathophysiology of patellofemoral pain: a tissue homeostasis perspective. *Clin Orthop Relat Res*. 2005;(436):100-10.

12 \*\*Soligard T, Schwellnus M, Alonso JM, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med*. 2016;50(17):1030-41.

13 \*Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, et al. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement.

*Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12(Suppl2):S2161-70.

14 \*Kalkhoven JT, Watsford ML, Impellizzeri FM. A conceptual model and detailed framework for stress-related, strain-related, and overuse athletic injury. *J Sci Med Sport*. 2020;23(8):726-34.

15 Gabbett T, Sancho I, Dingenen B, Willy RW. When progressing training loads, what are the considerations for healthy and injured athletes? *Br J Sports Med*. 2021;55(17):947-8.

16 Buist I, Bredeweg SW, van Mechelen W, et al. No effect of a graded training program on the number of running-related injuries in novice runners: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med*. 2008;36(1):33-9.

17 Matos S, Clemente FM, Silva R, Cancela Carral JM. Variations of Workload Indices Prior to Injuries: A Study in Trail Runners. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(11):4037.

18 Nakaoka G, Barboza SD, Verhagen E, van Mechelen W, Hespanhol L. The Association Between the Acute:Chronic Workload Ratio and Running-Related Injuries in Dutch Runners: A Prospective Cohort Study. *Sports Med*. 2021;51(11):2437-47.

19 Spilsbury KL, Fudge BW, Ingham SA, Faulkner SH, Nimmo MA. Tapering strategies in elite British endurance runners. *Eur J Sport Sci*. 2015;15(5):367-73.

20 McLean BD, Buttifant D, Gore CJ, et al. Physiological and performance responses to a preseason altitude-training camp in elite team-sport athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8(4):391-9.

21 \*\*Ceysens L, Vanelderden R, Barton C, Malliaras P, Dingenen B. Biomechanical Risk Factors Associated with Running-Related Injuries: A Systematic Review. *Sports Med*. 2019;49(7):1095-115.

22 Malisoux L, Gette P, Delattre N, Urhausen A, Theisen D. Spatiotemporal and Ground-Reaction Force Characteristics as Risk Factors for Running-Related Injury: A Secondary Analysis of a Randomized Trial Including 800+ Recreational Runners. *Am J Sports Med*. 2022;50(2):537-44. DOI: 10.1177/0363546521106639.

23 \*\*Anderson LM, Bonanno DR, Hart HF, Barton CJ. What are the Benefits and Risks Associated with Changing Foot Strike Pattern During

Running? A Systematic Review and Meta-analysis of Injury, Running Economy, and Biomechanics. *Sports Med*. 2020;50(5):885-917.

24 Chan ZYS, Zhang JH, Au IPH, et al. Gait Retraining for the Reduction of Injury Occurrence in Novice Distance Runners: 1-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med*. 2018;46(2):388-95.

25 Neal BS, Barton CJ, Gallie R, O'Halloran P, Morrissey D. Runners with patellofemoral pain have altered biomechanics which targeted interventions can modify: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2016;45:69-82.

26 \*\*Barton CJ, Bonanno DR, Carr J, et al. Running retraining to treat lower limb injuries: a mixed-methods study of current evidence synthesised with expert opinion. *Br J Sports Med*. 2016;50(9):513-26.

27 \*\*Barton CJ. Managing RISK when treating the injured runner with running retraining, load management and exercise therapy. *Phys Ther Sport*. 2018;29:79-83.

28 \*\*Warden SJ, Edwards WB, Willy RW. Preventing Bone Stress Injuries in Runners with Optimal Workload. *Curr Osteoporos Rep*. 2021;19(3):298-307.

29 Hamstra-Wright KL, Huxel Bliven KC, Napier C. Training Load Capacity, Cumulative Risk, and Bone Stress Injuries: A Narrative Review of a Holistic Approach. *Front Sports Act Living*. 2021;3:665683.

30 Kliethermes SA, Stiffler-Joachim MR, Wille CM, et al. Lower step rate is associated with a higher risk of bone stress injury: a prospective study of collegiate cross country runners. *Br J Sports Med*. 2021;55(15):851-6.

31 Willy RW. Innovations and pitfalls in the use of wearable devices in the prevention and rehabilitation of running related injuries. *Phys Ther Sport*. 2018;29:26-33.

32 Benson LC, Clermont CA, Bošnjak E, Ferber R. The use of wearable devices for walking and running gait analysis outside of the lab: A systematic review. *Gait Posture*. 2018;63:124-38.

\* à lire

\*\* à lire absolument