



HAL
open science

L'influence de la pose du pied sur les modifications musculo-squelettiques du triceps sural et sur l'apparition d'inflammations plantaires chez le coureur

Charline Visconti

► To cite this version:

Charline Visconti. L'influence de la pose du pied sur les modifications musculo-squelettiques du triceps sural et sur l'apparition d'inflammations plantaires chez le coureur. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03359307

HAL Id: dumas-03359307

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03359307>

Submitted on 30 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE

**L'influence de la pose du pied sur les
modifications musculo-squelettiques du triceps
sural et sur l'apparition d'inflammations
plantaires chez le coureur**

VISCONTI Charline

Directeur de mémoire : M. LE TILLY Philippe

D.E.M.K. Marseille 2021

N°150

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon maître de mémoire Philippe LE TILLY pour ses conseils dans la réalisation de ce travail ainsi que deux kinésithérapeutes fraîchement diplômés de deux ans pour leur aide précieuse qui feront de futurs très bons maîtres de mémoire...

Je remercie après ces quatre années de formation ma binôme Manon RUPPENTHAL sans qui tous les TP effectués n'auraient pas été pareils.

Ainsi que mes Kinettes adorées, pour les merveilleux moments passés en extrascolaire.

Enfin, je remercie ma famille pour leurs encouragements et leur intérêt pour ce mémoire et surtout Rémi Blache, mon soleil quotidien dans cette dernière année étudiante particulière que nous avons vécu...

SOMMAIRE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introduction | 1 |
| 1.1 | Le cadre conceptuel | 2 |
| 1.1.1 | La biomécanique de la course à pied | 2 |
| 1.1.2 | Les patterns de course..... | 7 |
| 1.1.3 | Le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire | 9 |
| 1.2 | Hypothèse..... | 17 |
| 1.3 | Pertinence..... | 18 |
| 1.4 | Objectif | 19 |
| 2 | Méthode..... | 20 |
| 2.1 | Critères de sélection des études pour cette revue | 20 |
| 2.1.1 | Types d'études..... | 20 |
| 2.1.2 | Population/pathologie..... | 20 |
| 2.1.3 | Intervention/type facteurs étiologiques..... | 20 |
| 2.1.4 | Objectifs/critère de jugement | 20 |
| 2.2 | Méthodologie de recherche des études | 21 |
| 2.2.1 | Équation de recherche et cheminement de base..... | 21 |
| 2.2.2 | Sources documentaires investiguées | 22 |
| 2.3 | Extraction et analyse des données | 22 |
| 2.3.1 | Sélection des études..... | 22 |
| 2.3.2 | Extraction des données (catégorie A)..... | 23 |
| 2.3.3 | Évaluation de la qualité méthodologique de études sélectionnées..... | 23 |
| 2.3.4 | Méthode de synthèse de résultats..... | 24 |
| 3 | Résultats..... | 25 |
| 3.1 | Description des études | 25 |
| 3.1.1 | Diagramme de flux | 25 |
| 3.1.2 | Études exclues | 26 |
| 3.1.3 | Tableaux de caractéristiques des études incluses | 26 |
| 3.2 | Risques de biais des études incluses | 38 |
| 3.2.1 | Grilles d'analyse utilisées..... | 38 |
| 3.2.2 | Synthèse des biais retrouvés | 38 |
| 3.3 | Effet de l'intervention..... | 41 |
| 4 | Discussion..... | 42 |
| 4.1 | Analyse des résultats et qualité des preuves..... | 42 |
| 4.1.1 | Population | 42 |
| 4.1.2 | Les pathologies identifiées | 43 |
| 4.2 | Applicabilité en pratique clinique | 59 |
| 4.3 | Biais potentiels de la revue de littérature..... | 61 |
| 5 | Conclusion | 63 |

1 Introduction

Un premier pas, puis un autre et encore un suivant, dans la bonne direction, la course à pied est un élément clé de l'évolution de l'Homme. En effet, c'est un mouvement fondamental puisque la survie et l'évolution des humains sont en grande partie attribuables à notre capacité à courir de longues distances. Il s'inscrit dans un processus simple puisque courir est à la portée de tous mais aussi complexe puisque cette activité sportive requiert aujourd'hui quelques connaissances et le respect de certaines règles pour qu'elle demeure un plaisir.

La popularisation de la course à pied est récente dans la société actuelle, les témoignages sont nombreux et vont toujours dans le même sens, où courir permet dans nos vies dominées par le stress de pouvoir l'évacuer et d'éprouver de la liberté. Pour d'autres la course à pied rime avec lutter, contre la sédentarité, le cholestérol, la prise poids et autres fléaux de notre vie occidentale.

Quel que soit son niveau, courir permet de se revitaliser et de s'oxygéner. Courir c'est vivre en meilleure santé, cela va améliorer l'état mental et celui du corps. Il suffit de s'y mettre, quel que soit l'âge et la condition de départ.

Avec cette évolution, notre corps est donc censé s'être adapté à la course, pourtant « jusqu'à 79% des coureurs modernes se blessent chaque année » [1].

Blaise Dubois, dans son ouvrage intitulé *La clinique du coureur* nous éclaire sur le fait que « 80% des blessures sont liées à une mauvaise quantification du stress mécanique, une surcharge sur les tissus du corps : le trop vite, trop fort. » [2] La majorité des blessures en course à pied sont donc liées au « trop », c'est-à-dire d'exercer sur son corps des stress tissulaires supérieurs à sa capacité à les recevoir.

De ce fait, les blessures sont la conséquence d'une surcharge exercée sur les structures du corps tels que les os, les cartilages, les tendons et les muscles se traduisant par des forces de tension, de compression, de cisaillement et torsion appliquées de façon trop importante durant nos activités.

Les blessures de surutilisation constituent donc un enjeu majeur dans nos sociétés modernes de par leur incidence grandissante et leurs récurrences puisque « 46% des blessures sont récurrentes » [1].

Les blessures courantes en course à pied comprennent le syndrome fémoro-patellaire, les fractures de stress tibiales, la tendinite d'Achille et la fasciite plantaire, « elles résultent toutes d'une surutilisation des membres inférieurs et sont considérées comme des blessures de surmenage » [3].

Nous voyons donc bien dans ces atteintes les plus courantes chez le coureur que toute l'extrémité distale du segment jambier et particulièrement le pied semble donc être directement concernée par les pathologies de surutilisation.

Ayant eu une blessure personnelle en course à pied nécessitant des séances de kinésithérapie, mon praticien m'a conseillé de changer mon schéma de course passant plutôt à une « attaque avant/médio-pied ». Je me suis alors interrogée sur l'importance de la pose du pied dans la course ; s'il était mieux d'avoir une « attaque talon » ou plutôt « avant-pied » et en commençant à lire des articles je me suis rendue compte que mon questionnement était au cœur des préoccupations actuelles des coureurs allant à la fois de ceux de haut niveau aux simples coureurs réguliers et débutants.

Nous pouvons voir dans la littérature une multitude d'articles abordant la pose du pied au sol et il est utile de rajouter qu'un aspect de la course à pied a considérablement changé au cours des 50 dernières années, c'est la chaussure que nous utilisons. En effet, les chaussures modernes sont devenues avec le temps de plus en plus rembourrées et protectrices pour le coureur mais nous pouvons voir depuis quelques années l'essor de la chaussure « minimaliste » proche du « style pieds nus » ou « barefoot » c'est-à-dire reproduisant le plus possible la sensation que l'on aurait si on courait sans chaussures. [3]

Ceci suscite une interrogation quant à ses bienfaits par rapport à la chaussure avec un drop important (différence de hauteur en l'arrière et l'avant de la chaussure). En effet nous pouvons penser que la chaussure minimaliste avec l'absence de drop augmenterait potentiellement les contraintes et diminuerait la stabilité du pied donc quel serait l'intérêt pour la réception du pas de quitter une chaussure confortable pour une chaussure semblable à une course à pieds nus ?

Nous sommes donc face à une discipline de plus en plus démocratisée, touchant à la fois un public de haut niveau sur des compétitions sportives mais aussi un public lambda qui la pratique régulièrement sur de plus ou moins longues distances. Que ce soit par curiosité, par quête de performance ou de prévention, les coureurs font face à une littérature riche en informations et en débats. Effectivement, le schéma de course du sportif et en particulier la pose de son pied sont au centre de nombreux articles. Cela s'explique par le fait que le pied, permettant à la fois l'absorption des contraintes et la propulsion lors du cycle du course, soit le lieu préférentiel de blessures de surutilisation et donc source de nombreuses préoccupations.

Il m'a donc été naturel, en tant que future Masseuse-Kinésithérapeute Diplômée d'État et victime d'une blessure de course à pied, de m'interroger sur l'influence de la typologie d'attaque du pied sur la partie distale du membre inférieur.

La problématique suivante s'est donc formulée : **Quelle est l'influence de l'attaque du pied sur le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire chez le coureur régulier ?**

1.1 Le cadre conceptuel

Lors de mes expériences en réadaptation à l'effort, j'ai pu me rendre compte que la pose du pied chez les patients n'était pas une action forcément spontanée. En effet, j'ai pu entendre la question suivante : « comment dois-je poser mon pied ? ». La réponse de son kinésithérapeute a été une phrase que l'on entend régulièrement : « Posez le pied sans réfléchir. » Puisqu'il est vrai que lorsque l'on commence à s'intéresser un peu à la littérature, nous voyons souvent « la meilleure façon de courir est de courir naturellement ». [2]

Dans le cadre de la course à pied, à chaque pas le corps subit la force de réaction au sol, celle-ci atteint une « valeur moyenne proche de deux fois le poids du corps pour une course à 10 km/h avec une fréquence d'appui de 160 pas/minutes » [4]. Cette force va alors se propager à l'ensemble du corps pour y être emmagasinée puis restituée en partie lors de la poussée et dissipée. Cela va dépendre de la tonicité de notre corps qu'il faut voir comme un ensemble de ressorts les uns sur les autres qui doivent absorber une force puis la restituer. Si les ressorts ne sont pas synchrones, la force sera dissipée à plusieurs niveaux tout en ayant des mouvements parasites associés qui devront être compensés.

Par conséquent, cela va accroître l'énergie à dépenser. Or, plus le coût énergétique est élevé, plus le geste perd en efficacité. Ainsi, la posture permet d'optimiser le rendement en rendant efficace la biomécanique.

1.1.1 La biomécanique de la course à pied

Le cycle va correspondre à un schéma continu et répétitif, en course on parle du cycle de foulées qui désigne une série de mouvements réalisés par les membres inférieurs : il va commencer lorsqu'un pied touche le sol et va se terminer lorsque ce même pied touche à nouveau le sol.

Ainsi, le cycle est donc caractérisé par sa longueur et sa durée et peut être décomposé en deux foulées symétriques droite et gauche correspondant à une succession d'appui unipodal. La foulée peut alors être définie par la mesure sur le sol de la distance entre deux points d'appuis successifs.



[Annexe 1] : Les positions des différents segments au cours des phases successives du cycle de course

Il existe 4 phases dans la foulée : la **suspension**, (précédent l'appui), **l'amortissement**, le **soutien** et **l'impulsion**.

1.1.1.1 La suspension

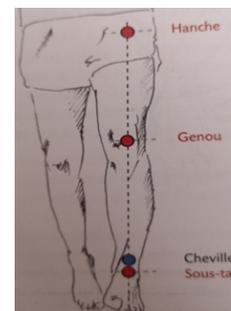
Nous citons la phase de suspension en premier puisqu'elle va conditionner la qualité de la prise d'appui et par conséquent la qualité de la propulsion.

Durant la phase de suspension, le pied ne touche pas le sol, de ce fait, la jambe n'est donc soumise à aucune contrainte d'appui et elle est seulement soutenue par le bassin et la colonne vertébrale. Une fois que le pied a franchi la ligne verticale passant par le bassin, cette chaîne musculaire se compose essentiellement de quatre muscles : le tibial antérieur, le sartorius, le droit fémoral et le psoas. [4]

Il est important de noter que l'organisation de la jambe lors de la phase de suspension détermine l'efficacité du geste et la répartition des contraintes au sein des articulations dès la prise d'appui.

Les défauts de posture lors de cette phase de suspension deviendront des défauts d'empilement lors de la prise d'appui.

Tout d'abord il faut savoir que chaque articulation agit sur l'orientation et le positionnement des différentes parties de la jambe localement et à distance.



[Annexe 2] : Articulations (en rouge) agissant sur l'orientation et l'organisation des segments de la jambe durant la phase de suspension (dans le plan frontal et horizontal)

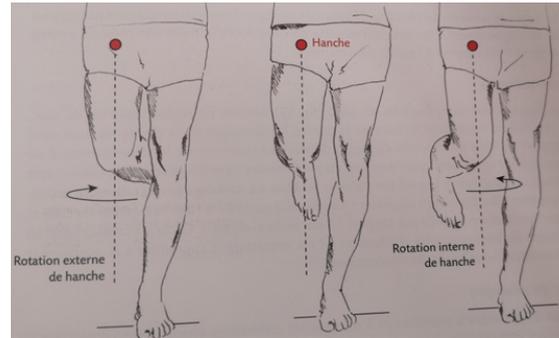
▪ Au niveau de la hanche :

Le **degré d'abduction/adduction** détermine l'écartement des pieds et place les appuis plus ou moins proches du centre de gravité. Il va agir à distance sur l'inclinaison du tibia et sur l'inclinaison latérale de la plante du pied par rapport au sol.

La **rotation de hanche** [Annexe 3] fait pivoter le fémur et agit à distance sur le degré d'ouverture du pied par rapport à l'axe de déplacement. Lorsque le genou est fléchi à 90°, le degré de rotation de la hanche détermine l'orientation du tibia par rapport à ce même axe.

Ainsi :

- Une rotation interne de hanche oriente l'axe du tibia vers l'intérieur, le pied se déplaçant en dehors
- Une rotation externe de hanche oriente l'axe du tibia vers l'extérieur, le pied se déplaçant en dedans
- Une rotation de hanche calibrée place l'axe du tibia parallèle au plan sagittal



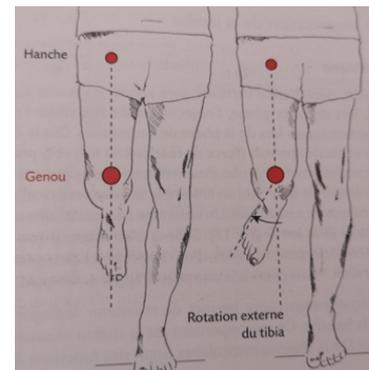
Lorsque le genou tend vers une position d'extension, ce degré de rotation de hanche ne s'observe plus au niveau du tibia mais au niveau du pied par son degré d'ouverture ou de fermeture, ainsi :

- Une rotation externe de hanche ouvre le pied
- Une rotation interne de hanche ferme le pied

▪ Au niveau du genou :

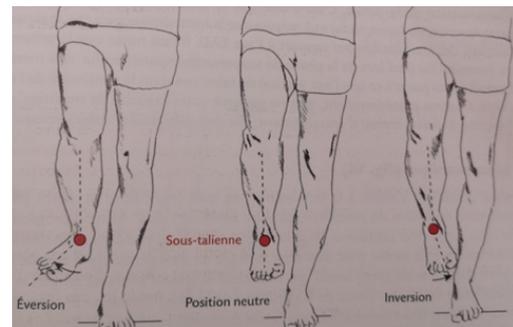
Le degré de rotation du tibia [Annexe 4] permet de régler l'orientation du pied par rapport à l'axe de déplacement, ainsi :

- Une rotation externe du tibia ouvre le pied
- Une rotation interne ré-axe le pied par rapport à l'axe de déplacement



▪ Au niveau de la sous-talienne :

Le degré d'éversion/inversion du pied [Annexe 5] permet de régler l'inclinaison de la plante du pied, en effet, une éversion du pied oriente l'axe longitudinal de celui-ci vers l'extérieur et donc ouvre le pied par rapport au tibia et inversement pour une inversion où le pied va être orienté vers l'intérieur et se fermer par rapport au tibia.



Cette phase de suspension correspond donc à la **phase aérienne** du cycle de la course à pied, où une jambe croise l'autre, elle commence du décollement des orteils et se termine avant que ce même pied n'entre en contact avec le sol.

Cette phase de suspension est réalisée de façon simultanée à la phase d'appui de l'autre jambe et nous pouvons noter que les deux phases aériennes du cycle de la course à pied se côtoient l'espace de quelques instants puisqu'en effet, quand une jambe amorce sa phase aérienne l'autre jambe est sur le point de terminer. C'est ce qui différencie le cycle de course du cycle de marche où il n'y a pas de phase de double appui, lorsque l'on court, les deux pieds ne sont jamais au sol simultanément.

1.1.1.2 L'amortissement

Durant la phase précédente, la jambe est suspendue, dans la seconde qui suit, elle est en appui. De ce fait, les contraintes subies sont totalement différentes.

L'amortissement ou **contact initial** de cette phase d'appui revient à réaliser une décélération verticale. L'objectif de cette étape est de maintenir l'empilement des articulations précédemment acquis lors de la phase de suspension, or dès le début de la prise d'appui, une contrainte verticale apparaît, c'est la force de réaction au sol, la pression va donc augmenter au sein des différentes articulations de la jambe, il va falloir lutter contre l'effondrement de la jambe. Pour cela, un ensemble de muscle va être

recruté et il ne sera efficace que si les différentes pièces osseuses sont déjà correctement positionnées d'où l'importance de la phase précédente.

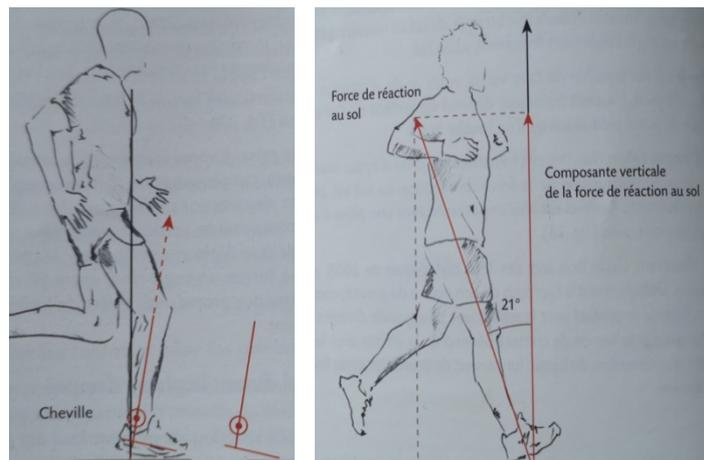
Cette étape est aussi appelée « **attaque du pied** », celle-ci peut se faire par le talon, par le milieu ou par l'avant du pied.

Nous allons nous attarder sur la notion de bras de levier particulièrement importante lors de cette phase. En effet, la cheville et le pied forment un levier de type inter-appui, le segment formé par le pied étant perpendiculaire au tibia, lorsque l'appui est avant-pied, on a un tibia incliné légèrement vers l'avant, donc une force de réaction inclinée vers l'avant, très proche de la verticale ce qui diffère lors d'une pose arrière pied avec un tibia incliné vers l'arrière donc une force de réaction vers l'arrière avec un angle d'environ 20° par rapport à la verticale. [4]

Les variations de l'inclinaison du tibia entre la prise d'appui et la propulsion ont pour conséquence de faire évoluer l'orientation du bras de levier.

Cela lui confère une action qui est double, un amortissement et un emmagasinement d'énergie lors de la prise d'appui qui vont conditionner lors de la phase de propulsion la restitution de l'énergie et le déplacement vers l'avant.

[Annexe 6] : bras de levier lors de la prise d'appui avant-pied (a) et arrière-pied (b)



Nous décrivons les positionnements articulaires et les muscles sollicités plus précisément dans la partie suivante (1.1.2).

1.1.1.3 Le soutien

Durant cette phase de soutien aussi appelée « demi-appui », le pied est en appui sur le sol, le poids du corps va alors se répartir sur l'avant du pied dans le but de préparer la phase suivante qui est celle de l'impulsion. Par conséquent, tout le poids de notre corps est alors focalisé sur une seule jambe et sur une région en particulière du pied. Pendant ce temps, l'autre jambe est en oscillation, en phase aérienne et croise celle-ci dans le plan sagittal.



[Annexe 7] : Phase de soutien

Lorsque l'on est en appui sur une jambe, notre corps s'organise autour de cet appui en plaçant notre centre de gravité au-dessus du pied afin de ne pas tomber, en effet, notre corps se déporte automatiquement vers le côté en appui et cela nécessite de l'énergie. On peut remarquer que l'on produit un minimum de déplacement latéral lorsque le pied en appui est plus proche de notre centre de gravité. Par conséquent, pour optimiser cette phase de soutien il suffit de suivre une ligne de façon à ce que le bord interne des pieds se place de part et d'autre de celle-ci. [4]

Cette phase de soutien est caractérisée par l'absorption de la force et la stabilisation du segment jambier en appui. Cela se traduit notamment par une pronation du pied qui a pour conséquences

d'augmenter la mobilité des articulations du tarse permettant ainsi une adaptation aux terrains irréguliers et de dissiper l'énergie conformément à la surface du sol.

Dans cette phase, le pied est fixé au sol, on va retrouver une flexion dorsale permise par la progression du tibia vers l'avant, contrôlée par la contraction excentrique du triceps sural associée à la pronation, elle-même contrôlée par la contraction excentrique du tibial postérieur et du triceps sural. [25]

La progression du corps continue vers l'avant et le membre en appui se prépare à la propulsion, ainsi la pronation maximale marque la fin de la composante d'absorption de la phase d'appui pour laisser place à la composante de propulsion poursuivant cette phase.

C'est alors qu'une supination commence, lorsque le membre opposé se balance vers l'avant, on observe une rotation pelvienne associée, provoquant une rotation externe du membre en appui. Cela a pour conséquence de provoquer une supination du pied suivi ensuite par la suite le levé du talon. [25]

La flexion plantaire de la cheville se fait grâce à la contraction concentrique du triceps sural, celle-ci se produit lorsque l'avant-pied est fixé au sol contribuant à augmenter la longueur de la foulée et à améliorer l'efficacité de la course. En parallèle la contraction du triceps sural entraîne une inversion et permet donc d'obtenir la composante de supination. Celle-ci va permettre au pied de quitter le sol avec stabilité et ceci est accru par l'extension des métatarsophalangiennes provoquant une augmentation de la tension de l'aponévrose plantaire, stabilisatrice des voûtes plantaires. En association nous retrouvons la contraction des intrinsèques du pied renforçant l'action de l'aponévrose.

Nous pouvons rajouter dans cette phase l'action synergique des ischio-jambiers et du triceps sural dans leur rôle d'extenseur du genou en chaîne cinétique fermée (Paradoxe de Lombard cf. partie 1.1.3.1.1) ainsi que la seconde action des ischio-jambiers associée au grand fessier qui agissent comme des extenseurs de la hanche, ils sont actifs pendant toute la phase d'appui lorsque le corps progresse vers l'avant sur le membre fixe. [25]

Notons que la stabilité du membre inférieur au premier contact est assurée par les adducteurs de la hanche, ces derniers restent actifs tout au long du cycle de course. [25]

1.1.1.4 L'impulsion

L'impulsion correspond à la dernière étape de la phase d'appui, elle débute dès lors que le talon quitte le sol et va se terminer lorsque les orteils se décollent du sol à leur tour.



[Annexe 8] : Phase d'impulsion

De par la propulsion vers l'avant, le talon va commencer à s'élever ; les muscles fléchisseurs plantaires en sont alors les protagonistes, en synergie avec les stabilisateurs de la cheville pour réaliser une flexion plantaire maximale afin de donner la propulsion nécessaire au décollement des orteils et ainsi qu'une restitution d'énergie optimale.

Alors que le pied se prépare à quitter le sol, l'extension du genou et de la hanche est nécessaire pour augmenter la poussée du corps. Le droit fémoral se contracte de manière concentrique juste avant le pincement des orteils pour maximiser l'extension du genou. Les ischio-jambiers se transforment quant à eux en fléchisseurs et stabilisateurs du genou et en extenseurs actifs de la hanche.

À la fin de cette phase, le triceps sural cesse de fonctionner et la contraction du tibial antérieur commence pour laisser place à nouveau à la suspension.

Ces phases successives du cycle de course à pied sont présentes chez tous les coureurs cependant nous pouvons constater la présence d'une variabilité interindividuelle. En effet chaque coureur adopte une manière de courir différente, on parle de pattern de course.

1.1.2 Les patterns de course

Dans la course à pied il est possible de différencier des **patterns** ou **schémas de course**, on trouve couramment dans la littérature le coureur « terrien » attaquant le sol plutôt avec le talon avant de dérouler l'intégralité du pied parallèlement au coureur « aérien » qui lui attaque le sol préférentiellement avec le médio pied ou l'avant du pied.

Cela caractérise alors deux types de foulée avec une foulée dite vers l'arrière pour le terrien et une foulée vers l'avant pour le coureur aérien.

Nous allons nous concentrer sur la typologie de pose du pied, d'après l'étude de S. Hashizume and T. Yanagiya [5] ce dernier est classé en 3 types selon « le point d'application de la force de réaction au sol, par rapport à la longueur du pied au moment du contact du pied. »

On se retrouve avec **l'attaque talon/arrière pied** ou Rearfoot Strike (RFS), l'attaque **médio pied** ou Midfoot Strike (MFS) et l'attaque par la **pointe/avant pied** ou Forefoot Strike (FFS).

Des études antérieures telle que celle réalisée par J.P. Kulmala, J. Avela, K. Pasanen [6] ont montré que « environ 75% des coureurs de longue distance utilisent la stratégie RFS, tandis que le reste des personnes courent en utilisant soit la stratégie MFS soit la stratégie FFS. »

Selon la prise d'appui, le système musculaire mis en jeu est différent.

Tout d'abord, il faut savoir que pour lutter contre la gravité, en chaîne cinétique ouverte (CCO), un ensemble de muscles s'associe et forme ce que l'on appelle la chaîne musculaire d'extension composée du triceps sural (cheville), du quadriceps (genou) et du grand fessier (hanche), cette chaîne va permettre d'étendre la jambe.

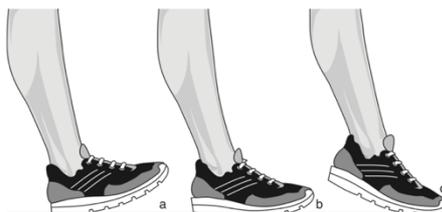
A l'inverse, un ensemble de muscle va permettre de replier la jambe en CCO et former la chaîne musculaire de flexion composée du tibial antérieur (cheville), des ischios-jambiers (genou) et du psoas (hanche).

Il est possible d'objectiver la pose du pied au sol grâce à des diverses techniques :

Tout d'abord, le pied est filmé lors de la foulée, la pose du pied sera définie par l'angle formé au moment de l'impact par l'horizontal du sol et de la semelle. On classera en pose avant-pied si l'angle formé est inférieur à $-1,6^\circ$ (soit une cheville en flexion plantaire lors de l'arrivée sur le sol), une pose médio-pied si l'angle à la réception est compris entre $-1,6^\circ$ et 8° et en attaque talon si l'angle est supérieur ou égal à 8° . [7]

Une autre technique consiste en l'enregistrement des forces exercées par le coureur lors de sa pose du pied, c'est « l'indice de frappe » grâce à une plateforme dynamométrique, elle utilise le centre de pression lors de l'atterrissage par rapport à la longueur maximale de la chaussure. Le coureur avant-pied a au moins 67%, le médio-pied entre 34 et 67% et l'arrière pied a moins de 33%. [7]

Nous allons décrire avec plus de précisions ces trois patterns de courses [Annexe 9].



[Annexe 9] : 3 typologies de pose du pied au sol, de gauche à droite : arrière-pied (a), médio-pied (b), avant-pied (c).

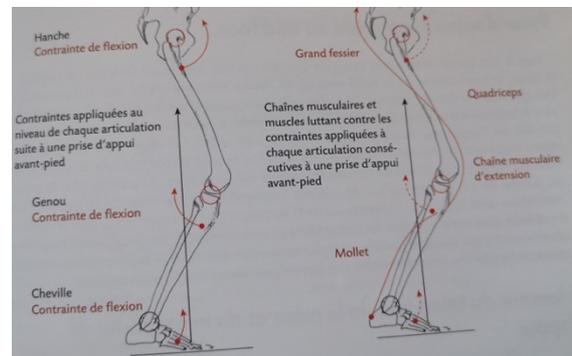
1.1.2.1 Attaque avant-pied ou forefoot strike (FFS)

L'attaque par l'avant du pied dite par la pointe est définie par le fait que c'est le **tiers-avant du pied** (ou plante du pied) qui se pose en premier sur le sol. Elle va être caractérisée par un contact initial qui se fait au niveau des métatarses, au-dessous de la tête du 4^e et du 5^e métatarse, suivi par une pose plus ou moins importante du reste du pied avant de repartir avec une impulsion par l'avant-pied. Ce pattern concernerait **5% des coureurs**. [8]

Comme évoqué précédemment, l'angle de pose du pied est inférieur à $-1,6^\circ$, on se retrouve avec un pied en flexion plantaire, suivi d'une descente du talon. Cela va se faire sous le contrôle des fléchisseurs plantaires par travail excentrique, de ce fait cela va permettre au triceps sural composé des gastrocnémiens et du soléaire qui se terminent par le tendon d'Achille d'emmagasiner l'énergie élastique et de la restituer pour la phase suivante qui est l'impulsion. S'ajoute à cela, pour éviter que le pied ne s'effondre au sol, le maintien des arches est assuré par l'aponévrose plantaire et les muscles intrinsèques du pied.

De plus, cette attaque induit une pose sous le centre de gravité avec les trois articulations (hanche, genou, cheville) qui subissent une **contrainte en flexion**. Le grand fessier agit au niveau de la hanche, le quadriceps au niveau du genou et le triceps sural au niveau de la cheville.

[Annexe 10] : Prise d'appui avant pied, contraintes appliquées et chaînes musculaires sollicitées



Il s'agit donc d'une **chaîne en flexion**. Cette dernière

permet notamment d'amortir les contraintes par dissipation de l'onde de choc. S'ajoute à cela que lors de cette prise d'appui-avant pied, « le bras de levier est plus important ce qui permet un plus grand contrôle de l'amortissement » [4] comme expliqué dans la partie 1.1.1.2.

Il paraît donc biomécaniquement, en raison des éléments musculaires et des bras de levier mis en jeu que la prise d'appui avant pied serait la plus adaptée pour la phase d'amortissement.

1.1.2.2 Attaque médio-pied ou mid-foot strike (MFS)

L'attaque médio-pied est caractérisée par une **attaque quasiment pied à plat** où trois zones osseuses sont en contact avec le sol en formant un trépied : le talon, le bord interne et de la bord externe de l'arche antérieure soit la tête des métatarsiens. La seule variable est l'angle que forme la plante du pied avec le sol, dans ce cas il est compris entre 8 et $-1,6^\circ$. En effet, il peut être plus ou moins important, faisant alors varier la surface de la plante du pied en contact avec le sol. Plus le talon est décollé, plus la surface de contact avec le sol est réduite, à l'inverse plus le talon est proche du sol, plus la surface de contact augmente.

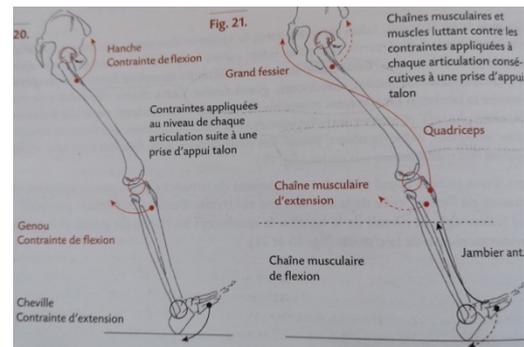
Ce pattern concernerait 15% des coureurs. [8]

Les caractéristiques de la biomécanique de cette pose du pied sont similaires à celle de l'attaque par l'avant-pied, c'est pourquoi dans la majorité des études ces deux typologiques de pose sont regroupées dans la même catégorie et parfois réunies sous le terme de **non-rearfoot strike (NRFS)**.

1.1.2.3 Attaque arrière-pied ou rearfoot strike (RFS)

L'attaque arrière pied, dite aussi par le talon est définie par le fait que le contact initial du pied avec le sol se fait par le talon.

L'angle du pied est supérieur ou égal à 8°, ce qui se traduit par une arrivée du pied en flexion dorsale. Par conséquent, lors d'une prise talon, les articulations de la hanche et du genou subissent une **contrainte de flexion** et celle de la cheville une **contrainte d'extension** (flexion plantaire). Le grand fessier agit au niveau de la hanche, le quadriceps au niveau du genou et le tibial antérieur au niveau de la cheville, en effet, c'est lui de part un travail excentrique qui va retenir la pose du pied au sol, pour éviter qu'il ne s'écrase brutalement.



[Annexe 11] : Prise d'appui arrière pied, contraintes appliquées et chaînes musculaires sollicitées

De plus, lors d'une prise arrière-pied, le genou est pratiquement en extension et le contact du pied avec le sol se situe en avant du centre de gravité, cette orientation de la jambe associée à son extension de genou ainsi qu'à la flexion dorsale de la cheville implique qu'à chaque pose du pied, « la jambe subit la force de réaction au sol en comprimant les articulations et en limitant l'absorption musculaire de l'onde de choc. » [4]

Il paraît donc biomécaniquement, que la prise d'appui par le talon ne serait pas la plus adaptée pour la phase d'amortissement. Cependant ce pattern de course **concernerait environ 80% des coureurs.** [8]

1.1.3 Le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire

Nous allons nous focaliser sur les répercussions anatomiques de ces différents patterns de course au niveau de la partie distale du corps et plus précisément nous allons concentrer notre étude en partant du pied et en remontant jusqu'à l'articulation du genou.

Il est important de noter que c'est au niveau de ce segment du corps qu'un système complexe existe où de nombreuses structures musculaires, fibreuses et tendineuses sont en relation avec les os et les articulations. Il s'agit du **système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire.**

Comme son nom l'indique il est composé d'un point de vue musculo-tendineux du triceps sural, du tendon d'Achille, des muscles plantaires courts et de l'aponévrose plantaire ; d'un point de vue ostéo-articulaire du genou, de la talo-crutale, du calcaneus pour aller jusqu'à la tête des métatarsiens en passant par la face plantaire des os du tarse. [Annexe 12]

Il s'agit d'un ensemble puisque tous ces éléments sont étroitement intriqués les uns avec les autres, en effet, ils forment une continuité partant du genou depuis l'insertion du triceps sural jusqu'aux orteils avec la terminaison des muscles plantaires et les expansions de l'aponévrose plantaire. Nous allons décrire avec

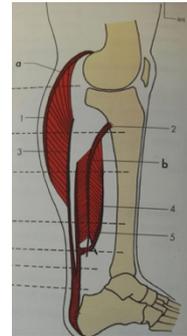


plus de précision chacun de ses éléments, puisqu'ils forment un système, par conséquent, une atteinte d'un de ces éléments à des répercussions sur le fonctionnement de tout cet ensemble.

1.1.3.1 Le triceps sural (TS)

1.1.3.1.1 Anatomie et cinésiologie

Le triceps sural fait partie des muscles extrinsèques de la jambe, en effet il occupe la loge postérieure superficielle de la jambe constituant ainsi le galbe du mollet. C'est un muscle long composé de trois corps musculaires : les **deux gastrocnémiens** et le **soléaire**.



[Annexe 13] : Trajet des fibres musculaire du gastrocnémien (a) et du soléaire (b)

D'un point de vue **morphologique**, le gastrocnémien médial et latéral délimitent ensemble les bords inférieurs du losange de la région poplitée. Le gastrocnémien médial descend plus bas que son homologue latéral et est généralement plus volumineux. En dessous, nous trouvons un méplat qui se prolonge jusqu'au tendon d'Achille.

Le soléaire, plus profond que les gastrocnémiens, va déborder de chaque côté de ces derniers et quelques fois avec un sillon bien marqué.

Ces muscles se terminent par le tendon d'Achille qui va s'amincir en descendant vers le talon puis se ré-élargir au niveau de son insertion terminale.

D'un point de vue purement **anatomique**, les **gastrocnémiens** sont des muscles bi-articulaires. Ils s'insèrent au niveau de l'articulation du genou, sur la moitié supérieure de l'épicondyle médial pour le gastrocnémien médial et sur l'épicondyle latéral pour le gastrocnémien latéral. Ils vont remonter pour passer en pont sur la face supérieure du condyle correspondant et offrent des expansions sur les coques condyliennes.

Les fibres vont adopter une direction vers le bas, nous avons en fait une lame tendineuse d'origine (qui part du condyle) et à partir de celle-ci partent des fibres pennées sur toute la face antérieure. Elles ont un trajet en bas et légèrement en avant, elles se dirigent vers la face postérieure d'une lame tendineuse de terminaison. Cette dernière descend verticalement et va être rejointe par la lame tendineuse de terminaison du soléaire pour former par la suite, le tendon d'Achille.

Le **soléaire** est mono-articulaire, il s'insère sur la ligne oblique face postérieure du tibia, pas tout à fait jusqu'en haut ; sur la partie moyenne du bord médial de la face postérieure du tibia et sur la face postérieure du col de la fibula. Entre ces insertions on a une lame tendineuse de liaison. [Annexe 13] Comme pour les gastrocnémiens, on va retrouver une lame d'origine qui descend dans la loge postérieure de la jambe, en arrière des muscles profonds et elle va donner naissance à deux groupes de fibres :

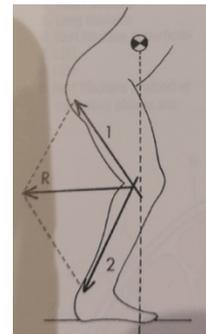
- Les fibres postérieures : elles possèdent un trajet en bas et en arrière, elles vont se terminer sur la lame principale de terminaison, celle-ci rejoignant la lame de terminaison des gastrocnémiens (cet ensemble formera le tendon d'Achille).
- Les fibres antérieures : elles possèdent un trajet en bas et en avant et vont se terminer sur une lame accessoire de terminaison.

La réunion des lames de terminaison des gastrocnémiens et de celle du soléaire vont former alors le tendon d'Achille se terminant à la face postérieure du calcaneus (détaillé plus précisément par la suite).

D'un point de vue **cinématique**, les gastrocnémiens agissent comme le principal générateur d'énergie pour les mouvements de course et de saut, ils sont constitués de fibres musculaires à contractions rapides et lentes ce qui lui confèrent des capacités à répondre rapidement à une demande de contractions musculaires mais aussi capables de durée dans le temps.

Ils interviennent au niveau du genou comme fléchisseurs et au niveau de la cheville avec le soléaire comme le principal fléchisseur plantaire, s'ajoute à cette action une composante adduction et supination faisant alors du triceps sural un inverseur du pied.

Nous pouvons rajouter qu'en chaîne cinétique fermée (CCF), lors d'une contraction synergiste avec les ischios-jambiers, les gastrocnémiens permettent l'extension du genou [10] : c'est le paradoxe de Lombard où des muscles fléchisseurs de genou en chaîne cinétique ouverte (CCO) se retrouvent extenseurs de cette articulation en CCF dans les 30 derniers degrés. [Annexe 14]



[Annexe 14] : action des ischios-jambiers (1) et des gastrocnémiens (2) en CCF

Le soléaire quant à lui contient principalement des fibres musculaires à contractions lentes, avec une faible fatigabilité, il est responsable du maintien de la force et de l'endurance d'une flexion plantaire prolongée. D'une façon plus statique, il permet le contrôle de l'inclinaison du tibia vers l'avant qu'il ajuste perpétuellement pour maintenir l'équilibre du corps. [9]

Il est important de préciser que ce muscle est riche en tissu conjonctif ce qui le rend très résistant aux sollicitations passives répétées [10] mais aussi sollicitations actives puisqu'il est capable en unipodal de supporter tout le poids du corps par sa simple contraction. C'est pourquoi à la cotation 3 du TMI, il est testé en charge et non contre simple pesanteur, ceci souligne alors la force de ce muscle.

1.1.3.1.2 Anatomopathologie

De part ces fonctions et son rôle protagoniste qu'a le triceps sural dans la course à pied, ce muscle il est soumis à de multiples contraintes conduisant de façon fréquente à des lésions.

En effet, parmi celles-ci on retrouve les **lésions myo-aponévrotiques** du triceps sural (le claquage du mollet) « à apparition subite la plus courante chez le coureur d'endurance ». [2]

La zone classique d'atteinte est située à la jonction entre le soléaire et le gastrocnémien médial mais elles peuvent aussi se trouver ailleurs notamment au plan profond des fléchisseurs plantaires. Le claquage implique une déchirure plus ou moins importante des fibres musculaires entraînant une douleur à l'étirement, à la contraction et à la palpation.

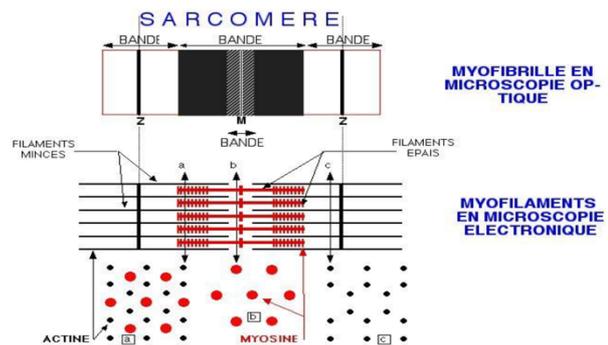
Plus communément, la simple douleur au mollet qui témoigne une lésion musculaire pure est l'une des lésions les plus rencontrées, en effet « environ 20% des coureurs signalent une douleur au mollet avant la blessure ». [11]

Nous pouvons citer la **courbature** qui correspond à des micro destructions de la strie Z au niveau sarcoplasmique [Annexe 15], ces dernières entraînent un processus de remaniement physiologique de cicatrisation qui amène une micro réaction trophique avec un apport liquidien dû à l'augmentation de

la micro circulation inter fibrillaire. Ces modifications amènent aussi un processus de phagocytose avec destruction et remaniement des cellules musculaires.

[Annexe 15] : Représentation schématique de l'unité contractile du muscle : le sarcomère

Nous allons avoir une augmentation des substrats liquidiens à l'intérieur de la fibre musculaire, cela va entraîner un gonflement local, on parle d'œdème interstitiel. C'est ce dernier qui est responsable des douleurs plus ou moins importantes ressenties par le sujet ainsi que de la sensation de fatigue musculaire.



La courbature est la conséquence de contractions excentriques trop intenses par rapport à la situation naturelle. La douleur dure globalement 48h, quand l'œdème diminue, cette dernière diminuera aussi.

Nous pouvons également citer la **contracture** myométabolique qui correspond à une augmentation de la tension myométabolique due à une ou plusieurs unités motrices qui sont restées en maintien d'accrochage pontique permanent après une contraction. Cette dernière présente plusieurs caractéristiques ; en effet, elle est douloureuse à la pression, elle a un rénitente (résistance à la pression transversale) augmentée et elle entraîne une limitation de la course externe du muscle.

Il arrive fréquemment dans un muscle que l'on ait à la fois des courbatures et des contractures car lorsque le tissu musculaire souffre, il se contracte pour diminuer son activité sensorielle et pour augmenter sa circulation afin de se soigner, le sujet va contracturer pour se protéger des courbatures.

Comme évoquer précédemment, les gastrocnémiens et le soléaire vont fusionner ensemble pour former « le plus épais et le plus solide tendon de l'organisme » [12] : le tendon d'Achille lequel nous allons maintenant détailler.

1.1.3.2 Le tendon d'Achille (TA)

1.1.3.2.1 Anatomie et cinésiologie

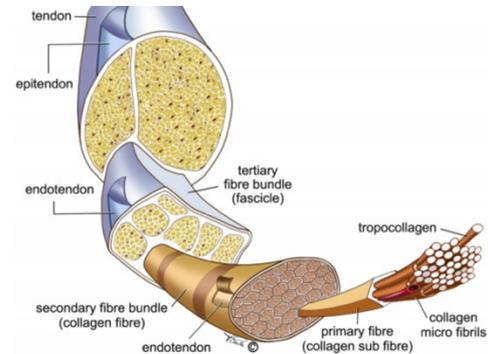
Ce tendon va permettre l'insertion distale du triceps sural se terminant sur la face postérieure du calcaneus dans sa moitié inférieure. Nous pouvons noter la présence de fibres de ce tendon qui vont passer sous le calcaneus et vont se jeter sur l'aponévrose plantaire moyenne et sur le court fléchisseur des orteils.

Il va être un élément de liaison puisqu'il est à la fois capable de transmettre au calcaneus les forces développées par le triceps sural pouvant ainsi moduler la mobilité de la talo-crurale mais aussi de recevoir les forces provoquées par l'impact du pied au sol et de pouvoir les restituer puisqu'en effet, le tendon est le principal récupérateur d'énergie, il permet d'emmagasiner de l'énergie lors de la pose du pied pour la restituer au moment de la propulsion.

Ce tendon mesure « environ 15cm de long » [12], il commence à la jonction musculo-tendineuse qui se situe au niveau du milieu du mollet. Chez plus de la moitié des sujets, le soléaire contribue à 52% au tendon d'Achille et les gastrocnémiens à 48% ; chez 35%, les gastrocnémiens et le soléaire y contribuent à hauteur de 50% et chez les 13% restant, ce sont les gastrocnémiens qui formeront les deux tiers du tendon. [12]

D'un point de vue **macroscopique**, le tendon est constitué de l'enthèse, en continuité avec l'os, c'est une partie fibro-cartilagineuse avasculaire. Elle se prolonge par le corps du tendon, lui-même étant formé par des faisceaux de fibres, chacun entouré par une membrane appelée l'endotendon, celle-ci se prolonge d'un côté jusqu'au périmysium pour former la jonction musculo-tendineuse et d'un autre vers le périoste pour former la jonction ostéo-tendineuse.

L'ensemble des faisceaux de fibres forme le tendon, il est entouré par une gaine synoviale nommée épi tendon ou para tendon, elle contient un liquide lubrifiant : la synovie permettant protection et glissement des faisceaux entre eux. [Annexe 16]



[Annexe 16] : Structure d'un tendon

Les fibres du tendon s'enroulent en spirale de telle sorte que les fibres du côté tibial passent obliquement vers le côté latéral et inversement, « il se tord par 90° » [12] et cette rotation commence « au-dessus de la région où le soléaire tend à rejoindre la composante gastrocnémienne. » [12]

Celle-ci produit une zone de tension intra-tendineuse, plus marquée « 2 à 5 cm au-dessus de son insertion calcanéenne » [13], c'est une zone de faible vascularité faisant alors de cette zone un site commun de tendinopathies et de rupture.

D'un point de vue **microscopique**, les tendons paraissent blancs parce qu'ils sont surtout avasculaires. Un tendon est composé principalement de fibres de collagène de type I (30%), de fibres d'élastine (2%) au sein d'une matrice extracellulaire (68%). Celle-ci est composée d'eau pour ses deux tiers et le tiers restant de cellules ténocytes et autres composants comme les mucopolysaccharides et les protéoglycanes. [14]

Le tendon d'Achille est constitué de fibres typiques de collagène de type I nommés tropocollagènes, entre celle-ci il y a la présence de « ponts » ; ces liaisons vont conférer une grande stabilité mécanique au collagène donnant au tendon « ses caractéristiques de résistance et de rigidité. » [15]

1.1.3.2.2 Anatomopathologie

Ce tendon étant capable de supporter des charges de tension impressionnantes, on rappelle qu'il est « le tendon le plus résistant du corps humain » [2] c'est malheureusement aussi le tendon le plus souvent atteint chez les coureurs à la fois de longue et de courte distance : on parlera généralement de **tendinopathie d'Achille**.

Le tendon peut dans un premier temps s'enflammer au niveau de son corps, on utilisera le terme de **tendinite**, puis, parfois il pourra donner lieu à un tissu cicatriciel, on adoptera le terme de **tendinose** pour qualifier l'état du tendon : « une raideur à l'arrière du pied, à la manière d'un élastique en tension est alors constatée ». [2]

La surcharge à laquelle le tendon est soumis peut aussi occasionner de l'inflammation au niveau de son insertion sur l'os, on parlera alors de **d'enthésopathie**.

Cette surcharge peut aussi donner lieu à des microlésions et/ou des compressions de la bourse située entre l'os du calcaneus et le tendon et parfois une exostose calcanéenne appelée syndrome de Haglund ou « la bosse du coureur ».

Nous allons nous intéresser particulièrement à la tendinopathie d'Achille puisque cette atteinte est une cause fréquente de handicap voire d'arrêt de la pratique chez le coureur, en effet, au cours des trois dernières décennies « une multiplication par 10 du nombre de blessures liées au tendon d'Achilles a été signalée chez les coureurs ». [16]

Comme il l'a été évoqué précédemment, l'insertion distale du tendon d'Achille se fait sur l'os calcanéus, ce dernier joue un rôle central dans le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire puisqu'il est au « carrefour » entre les contraintes verticales de la jambe et leur répartition horizontale et inversement. C'est aussi au niveau du calcanéus que l'on va retrouver l'insertion des muscles plantaires courts ainsi que de **fascia plantaire (FP)**.

Nous allons maintenant étudier sur la partie terminale de ce système.

1.1.3.3 Le calcanéus et la plante du pied

1.1.3.3.1 Anatomie et cinésiologie

Au niveau de l'insertion distale du tendon d'Achille sur l'os calcanéus, nous pouvons noter la présence d'un « vide » entre l'insertion tendineuse du triceps sural et le talus reposant sur la face supérieure du calcanéus, cela permet de donner un bras de levier au triceps sural.

En effet, la ligne de gravité tombe à l'aplomb de l'articulation transverse du tarse (entre le tarse postérieur et le tarse antérieur), le calcanéus trouve donc en avant la ligne de gravité et en arrière le triceps sural. Cet espace permet une équidistance entre l'ancrage du triceps sural et la ligne de gravité par rapport au centre du calcanéus, cela permet entre autre au triceps sural d'optimiser son rôle dans l'équilibre du corps.

Sur sa face inférieure, tout à fait en arrière des tubérosités (médiale et latérale) s'insère l'**aponévrose plantaire moyenne**, juste en avant voire adhérent on retrouve le **court fléchisseur des orteils**. Plus en avant, sur l'axe médian nous retrouvons une grosse tubérosité avec le ligament plantaire long, enveloppé par un muscle, le **muscle plantaire**.

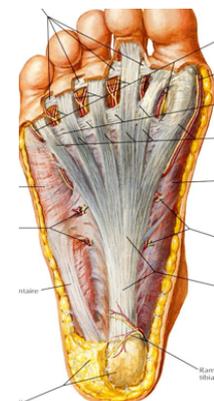
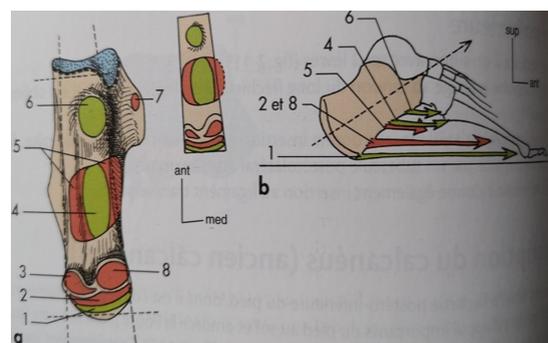
[Annexe 17] : Face plantaire du calcanéus : vues inférieure (a) et latérale (b)

Il est important de noter la particularité de ces trois éléments puisqu'ils reçoivent des **expansions du triceps sural** ce qui permet de créer cette continuité depuis les condyles fémoraux et de former ce système fortement intriqué.

L'aponévrose plantaire est une aponévrose superficielle triangulaire à sommet postérieure au niveau de la tubérosité du calcanéus, elle va recouvrir le court fléchisseur des orteils et se termine par une base antérieure en « cinq bandelettes pré tendineuses au niveau des capsules articulaires et aux gaines des tendons des fléchisseurs des cinq orteils. » [17] [Annexe 18]

De plus, la présence d'expansions au niveau de ses insertions terminales suggère également « une forte relation du fascia plantaire avec les tendons fléchisseurs et les muscles lombricaux du pied. » [18]

L'aponévrose plantaire moyenne est « le faisceau médian, épais et résistant » [17] de l'aponévrose plantaire, en effet, elle se situe entre l'aponévrose plantaire interne et externe plus fines. Il a été retrouvé d'après une étude [19] la présence de



corpuscules de Pacini et de Ruffini, considérés comme responsables de la mécanoréception, cela suggère que l'innervation du fascia plantaire lui confère un rôle dans la proprioception ainsi que dans la stabilité et le contrôle des mouvements du pied.

Grace à ses nombreuses expansions sur les muscles plantaire, cette aponévrose est capable de percevoir l'état de contraction et d'étirement des différents éléments intrinsèques du pied. En effet, si les muscles se contractent excessivement, le fascia plantaire (et les terminaisons nerveuses qu'il contient) peut être trop étiré.

Elle est donc surtout connue pour être un « élément majeur du soutien de la voûte plantaire » [19] mais d'autres fonctions lui ont aussi été conférées comme « de mieux amortir les forces de réaction au sol élevées en resserrant l'armature des tissus mous sur les têtes métatarsiennes » [19], elle permet aussi la stabilisation des arcs transversaux et longitudinaux du pied en vue d'obtenir « une propulsion efficace » [19], pour terminer « elle joue un rôle important dans la transmission des forces du tendon d'Achille à l'avant-pied. » [19]

Par conséquent, les forces produites par les muscles à la fois extrinsèques et intrinsèques du pied sont transmises par l'aponévrose plantaire et agissent ainsi sur les nombreuses articulations de l'arrière, du milieu et de l'avant du pied ; la finalité étant de maintenir la bonne posture du pied en fonction des contraintes auxquelles le pied est soumis.

1.1.3.3.2 Anatomopathologie

De par les divers rôles à la fois statiques et dynamiques évoqués précédemment, le fascia plantaire se trouve exposé à une multitude de contraintes, ceci a pour conséquence de provoquer son inflammation ; on parlera de **fasciite plantaire**.

Cette pathologie serait « la troisième blessure la plus courante chez le coureur » [20], elle se caractérise par une douleur qui apparaît souvent graduellement au niveau de son attache sur le calcaneus, elle peut être exacerbée le matin et se présente souvent sous forme de raideur.

Il existerait plusieurs facteurs intrinsèques et extrinsèques à l'apparition de la fasciite plantaire tels que « des altérations de la voûte plantaire longitudinale, la pronation de l'arrière pied et l'ampleur des charges plantaires. » [20] Parmi tous ces facteurs, les charges plantaires sur la zone calcaneenne ont été décrits comme « l'un des principaux facteurs de risque de développement ». [20] En effet, des charges excessives favorisent son étirement provoquant alors des microtraumatismes, qui à leur tour déclenchent une réponse inflammatoire.

En conséquence, si le stress devient trop important, le fascia peut s'irriter à son attache sur le calcaneus. Cette douleur peut être tolérée sur le long terme mais peut nuire gravement à la pratique des activités sportives.

Il est important de différencier cette pathologie du **syndrome du coussinet graisseux du talon** se traduisant également par une douleur au niveau du talon, en effet celle-ci peut être symptomatique de plusieurs pathologies. Ce coussinet est un « assemblage de cellules graisseuses circonscrites dans de petites alvéoles fibreuses » [2] ; cette structure anatomique a pour rôle de protéger le talon lorsqu'il entre en contact avec le sol. Cette dernière pourrait s'irriter, s'amincir et se fragiliser si elle est soumise à un stress trop important.

Comme le fascia plantaire recouvre le dessous du pied pour se terminer au niveau de la tête des métatarsiens, il semble aussi important d'aborder les pathologies les concernant comme les **fractures de stress métatarsiennes**, le plus souvent situées au niveau diaphysaire, il s'agit de « la deuxième fracture de stress parmi les plus fréquentes chez le coureur. » [2]

Elle se caractérise par une douleur précise et vive à la palpation, « ressentie sur le dessus du pied » [2] ; elle survient lorsqu'une surcharge est appliquée sur le pied. La douleur s'accompagne souvent d'une enflure locale et celle-ci peut être très invalidante.

D'un niveau moins traumatique pour la corticale de l'os nous pouvons rajouter la **métatarsalgie** qui désigne une douleur ressentie sous l'avant du pied, « au niveau du coussinet graisseux des têtes métatarsiennes. » [2] Comme la fracture de stress, cette dernière survient lorsqu'une charge trop importante est appliquée sur le pied ; notamment un appui répété et inhabituel irrite les structures se trouvant dans la région des têtes métatarsiennes.

Nous voyons donc bien à travers cette brève description des principales pathologies rencontrées au niveau de la jambe et du pied que le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire est soumis à de nombreux risques. Par conséquent, avec l'importance que représente la course à pied en termes de volume horaire et kilométrique hebdomadaire pour un grand nombre d'adeptes, il paraît nécessaire de savoir comment poser le pied au sol dans l'optique de conserver au maximum l'intégrité de ce système et de minimiser les contraintes auxquelles il est soumis à chaque foulée.

1.2 Hypothèse

Après cette investigation anatomo-biomécanique, la problématique suivante : **Quelle est l'influence de l'attaque du pied sur le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire chez le coureur régulier ?** évoquée aux prémisses semble être tout à fait légitime.

En effet, nous faisons face à une grande quantité de pathologies concentrées sur le segment distale du corps avec à disposition plusieurs possibilités pour poser le pied au sol.

Ces patterns de course sollicitent différemment les structures aponévro-musculo-tendineuses et plusieurs paramètres sont donc à prendre en compte pour émettre une hypothèse.

D'emblée, nous pouvons réaliser le tableau suivant de suppositions qui surviennent assez naturellement :

| | | Foulée avant-pied (forefoot strike – FFS) + médio-pied (midfoot strike MFS) | Foulée arrière pied (rearfoot strike – RFS) |
|--|-------------------------------|---|--|
| <i>Positions des segments articulaires à la pose du pied</i> | | <i>Genou légèrement fléchi et cheville en flexion plantaire</i> | <i>Genou quasiment en extension et cheville en flexion dorsale</i> |
| Avantages | Genou et triceps sural | Amorti présent : préservation de l'articulation du genou | |
| | Tendon d'Achille et calcanéus | Calcaneus dispensé de choc direct | Tendon en position allongé, le triceps sural n'y met pas/peu de contraintes |
| | Métatarse | | Pas de choc direct, protection du métatarse |
| | FP | | |
| Inconvénients | Genou et triceps sural | Travail en course interne donc contractures ? | Faible amorti : pathologies fémoro-patellaires et fractures de stress tibiale ? |
| | Tendon d'Achille et calcanéus | Le triceps sural lui transmet beaucoup de contraintes et de force donc surmenage ++ : Tendinopathies d'Achille ? | Réception du pas sur le talon donc force de réaction au sol importante |
| | Métatarse | Tête des métatarsiens qui réceptionnent : Métatarsalgies et fractures de stress ? | |
| | FP | Encaisse beaucoup de contraintes excentriques à l'atterrissage et les restitue : Fasciite plantaire ? | Chocs répétés à son insertion : Fasciite plantaire ? |

Par le biais de ce tableau récapitulatif, de façon instinctive nous allons formuler les hypothèses suivantes :

- Un schéma de type avant/milieu pied serait **bénéfique** aux structures osseuses et articulaires (genou, cheville et calcanéus à l'acceptation du métatarse) mais plutôt **délétère** sur les structures musculo-tendineuses (TS, TA et FP)
- Un schéma de type arrière pied aurait quant à lui un effet **néfaste** sur le genou, la cheville et le calcanéus mais un effet plutôt **profitable** aux structures musculo-tendineuse à l'exception du FP

1.3 Pertinence

Nous pouvons nous demander *en quoi cette revue peut-elle être importante pour les patients et les professionnels de santé ?*

Nous allons ici argumenter pourquoi il est primordial de pouvoir connaître l'influence de la pose du pied sur les modifications musculo-squelettiques du segment jambier et plus précisément du triceps sural ainsi que l'apparition d'inflammations plantaires chez le coureur.

Tout d'abord, le genre *Homo* a acquis depuis plus de deux millions d'années [21] des adaptations pour la course de fond, en effet, à ses débuts l'Homme était un chasseur. Bien qu'il soit largement inférieur sur la course de vitesse face à ses proies il est en revanche capable de courir des heures sans s'arrêter, chassant jusqu'à l'épuisement de celles-ci.

Avec le temps, l'Homme a perdu ses capacités physiques au profit du développement cérébral, en effet l'Homme n'a plus besoin de chasser pour s'alimenter et avec la création des transports plus besoin de courir pour se déplacer rapidement.

Cependant, depuis le début du XXI^e siècle, la course à pied a commencé à connaître un véritable essor. Elle est devenue l'une des activités sportives les plus populaires dans le monde entier. Cela s'explique par le fait qu'elle est accessible à tous les âges et à faible coût.

C'est une activité physique polyvalente où l'ensemble du corps est sollicité et elle est associée à des bienfaits pour la santé physique et mentale.

Les dernières décennies avec la popularisation de grands événements de courses et la montée *crescendo* d'adeptes, on a pu voir en parallèle l'augmentation des blessures liées à la course. On s'attend à ce que « 37 à 56% de tous les coureurs subissent chaque année des blessures liées à la surutilisation de la course à pied. » [6] Il faut savoir que l'articulation du genou et le tendon d'Achille sont les sites les plus fréquemment blessés, couvrant à eux deux « environ un quart de l'ensemble des blessures liées à la course à pied. » [6] De plus, « 30 à 90% des blessures mènent à la réduction de l'entraînement voir à l'arrêt de la pratique. » [22]

Afin de pallier cette recrudescence, on a pu voir en parallèle des changements majeurs dans les années 70 avec la création de la première chaussure de course au talon rembourré. Puis, vient ensuite la chaussure moderne toujours avec la présence d'un talon rembourré mais aussi d'une semelle à double densité offrant un soutien à la voûte plantaire ainsi que d'autres caractéristiques censées diminuer le risque de blessures. Cependant dans les années 2000, l'incidence des blessures demeurait quasiment inchangée, allant de « 28 à 79% par an ». [23]

De nombreuses études se sont alors intéressées à la course pied nus où celle-ci serait plus naturelle et meilleure pour la santé. En adéquation avec cette théorie, les chaussures minimalistes ont vu le jour, elles se caractérisent par « un amortissement minimal imposant donc moins de restrictions aux mouvements du pied. » [24]

Les coureurs se retrouvent donc face à une multitude d'articles et d'informations concernant à la fois la pose du pied et le mode de chaussage en relation avec la performance et l'indice de blessures.

Il me paraît donc pertinent en tant que future masso-kinésithérapeute et moi-même adepte de la course à pied de pouvoir répondre avec le plus de justifications et d'éléments possibles à cette question que se pose aussi des millions de coureurs dans le monde.

1.4 Objectif

L'intérêt de ce travail de recherche est d'essayer de mettre en évidence quelles peuvent être les conséquences d'une certaine façon de poser le pied au sol lors de la course à pied. Ceci afin de renseigner le public vers quel modèle d'attaque du pied il peut se diriger dans l'objectif de diminuer son risque de blessure.

Cela peut tout aussi bien servir aux amateurs qui cherchent le pattern de course qui soit potentiellement le moins délétère mais également à tous les coureurs revenant de blessures qui doivent changer leur façon de courir afin de pouvoir reprendre en évitant toute récurrence.

Cette action se fera entre autres grâce au suivi d'un kinésithérapeute qui sera capable de repérer le geste délétère, de le corriger ou voir de le modifier afin que le coureur puisse l'intégrer dans sa pratique régulière.

Ceci a pour but final de réduire l'incidence grandissante des blessures de la jambe et du pied chez le coureur et donc de lui permettre d'être performant plus longtemps.

Modèle PICO :

- **P** (population) : coureurs réguliers
- **I** (intervention) : pose du pied au sol pendant la course
- **C** (comparateur) : aucun
- **O** (outcome ou critère de jugement) : apparition de modifications musculo-squelettiques au niveau du triceps sural et d'inflammations plantaires (tendinopathie d'Achille et fasciite plantaire)

Cette introduction a été bâtie grâce à la littérature grise nous apportant une grande richesse d'informations à la fois anatomiques, contextuelles et biomécaniques.

Cela nous a permis d'instaurer les bases de cette revue de littérature ainsi que de dresser un état des lieux des connaissances scientifiques actuelles dans le domaine.

Nous allons maintenant pouvoir laisser place à une méthodologie de recherche documentaire afin de pouvoir répondre à notre problématique.

2 Méthode

Comme expliqué précédemment, cette introduction a été construite grâce à une recherche documentaire préliminaire nous permettant de visualiser les différents patterns de course et la présence d'un système mettant en scène plusieurs éléments étroitement intriqués dont l'objectif commun est d'assurer la foulée de course à pied.

Cette recherche nous a permis de poser notre question clinique sous la forme du domaine P.I.C.O. (décrit dans la partie 1.4), nous allons maintenant détailler notre méthode pour constituer notre revue.

2.1 Critères de sélection des études pour cette revue

2.1.1 Types d'études

Notre question clinique relève du domaine **étiologique**, en effet nous allons chercher le lien de cause à effet entre la pratique d'un certain pattern de course et les répercussions sur le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire. Nous retiendrons alors quatre grands types de protocoles :

- Études contrôlées randomisées
- Études de cohorte (exposés/non exposés)
- Études cas/témoins
- Études transversales

Un cinquième que nous pourrions retenir selon la littérature en présence : les séries de cas.

2.1.2 Population/pathologie

Notre revue s'étend à tous les coureurs réguliers, cela nous permet de retrouver sous ce terme la notion de « coureur de masse » afin de rassembler les coureurs de haut niveau et les coureurs lambda. Nous ne posons pas de restriction d'âge ou de distinction de sexe.

Ces coureurs présentent un pattern de course clairement identifié et peuvent être symptomatiques ou asymptomatiques d'atteintes touchant le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire. En effet, ce critère a été influencé par la difficulté à réaliser une étude prospective qui imposerait que tous les coureurs soient sains au début de l'enquête. Or, nous serions limités dans nos recherches d'articles par cette condition et en conséquence, nos résultats d'un point de vue quantitatif ne répondraient plus au critère exhaustif qu'exige une revue systématique.

2.1.3 Intervention/type facteurs étiologiques

Nous allons chercher à connaître l'influence d'une pose de pied au sol, de ce fait, le comparateur serait « une pose de pied n'impliquant pas de contraintes sur le segment distal et donc ne faisant pas apparaître nos critères de jugement » or cela est impossible.

Nous opposons deux patterns de course auxquels nous essayons de dresser le portrait de leurs avantages et de leurs inconvénients.

2.1.4 Objectifs/critère de jugement

Le critère de jugement principal regroupe plusieurs atteintes, en effet il rassemble toutes les principales atteintes qui touchent le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire à savoir :

- L'apparition de modifications musculo-squelettiques au niveau du triceps sural
- L'apparition d'une tendinopathie d'Achille

- L'apparition d'une fasciite plantaire

De plus, en considérant que la survenue de modifications de ce système se déclare dans un contexte de contraintes et de surcharge de stress mécanique nous définissons aussi d'autres critères de jugements secondaires tels que l'apparition de pathologies fémoro-patellaires, de fracture de stress tibiale, du syndrome du coussinet et de métatarsalgies/fractures de stress du métatarse.

Nous allons à présent développer le raisonnement nous ayant permis d'aboutir à l'équation de recherche finale par banque de données.

2.2 Méthodologie de recherche des études

2.2.1 Équation de recherche et cheminement de base

Notre problématique qui je le rappelle est la suivante « Quelle est l'influence de l'attaque du pied sur le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire chez le coureur régulier ? » d'un point de vue général, nous mène à établir une liste de mots clés, cette liste a été menée à bien par le biais du thésaurus de référence dans le domaine de la santé à savoir le MeSHinserm.

Cet outil nous permet pour chaque composant de notre P.I.C.O. de lui affecter un ensemble de synonymes reconnus par les banques de données.

Nous obtenons la liste suivante associée à la traduction anglaise :

| | | |
|---------------------------------------|---|---|
| Relatif aux patterns de course | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Attaque du pied ▪ Pose du pied ▪ Avant-pied ▪ Médio-pied ▪ Arrière-pied | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Foot attack ▪ Foot strike pattern ▪ Forefoot ▪ Midfoot ▪ Rearfoot |
| Relatif aux pathologies/modifications | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Triceps sural ▪ Gastrocnémiens ▪ Soléaire ▪ Tendinopathie d'Achille ▪ Tendon d'Achille ▪ Tendinite ▪ Fascia plantaire ▪ Fasciite | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Triceps surae ▪ Gastrocnemius ▪ Soléus ▪ Achilles's tendinopathy ▪ Achilles's tendon ▪ Tendinitis ▪ Plantar fascia ▪ Fasciitis |
| Relatif à la population | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coureurs ▪ Course à pied | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Runners ▪ Running |

Ces mots clés vont nous permettre de cibler notre recherche. En effet, il faut trouver le juste équilibre entre une trop grande précision nous délivrant alors trop peu ou pas d'articles trouvés et une trop faible précision aboutissant à une multitude d'articles mais peu pertinents.

Le choix de ces mots clés détermine alors la précision des résultats espérés. Afin de pouvoir organiser ces mots-clés entre eux, nous les combinons à des opérateurs booléens (AND, OR, NOT), cela nous permet de constituer notre équation de recherche définitive :

((foot attack) OR (foot strike pattern) OR (forefoot) OR (midfoot) OR (rearfoot)) AND ((triceps surae) OR (gastrocnemius) OR (soleus) OR (Achilles's tendinopathy) OR (Achilles's tendon) OR (tendinitis)) OR (plantar fascia) OR (fasciitis)) AND ((runner) OR (running))

Par rapport au tableau précédent c'est comme si le passage d'une ligne à la suivante se faisait par l'opérateur « AND » et le passage d'une colonne à l'autre par l'opérateur « OR ».

2.2.2 Sources documentaires investiguées

Nous avons réalisé en Septembre 2020 une recherche bibliographique à partir de plusieurs sources documentaires :

- *PubMed* : base de données principale : **154** résultats
- *Cochrane* : **11** résultats
- *Researchgate* : **4** résultats
- *Google Scholar* : **4** résultats (en rentrant la question clinique)
- *Sciences directes* : **2** résultats

Nous avons donc un échantillon de données de base de 152 + 11 + 4 + 4 + 2.

Soit un total de 175 articles mêlant base de données scientifiques et littérature grise (Google Scholar).

2.3 Extraction et analyse des données

Un **premier tri** a été réalisé en se basant sur la **date de publication** de l'article. En effet, il a consisté à supprimer les articles apparus avant les 10 dernières années afin de s'aligner sur les « données actuelles »¹ existantes sur le sujet.

2.3.1 Sélection des études

Une fois le premier tri effectué, nous en avons réalisé un **second** qui a consisté à la lecture du **titre** et de l'**abstract** (résumé) de chacun. Ce second tri va consister à ne conserver que les articles, études et données qui correspondent au sujet qui nous intéresse : L'influence de la pose du pied sur les modifications musculo-tendineuses du triceps sural et les apparitions d'inflammations plantaires chez le coureur.

Donc cette première lecture des résultats émanant de la littérature vise à trier simplement selon le sujet même des études.

Ensuite, nous allons effectuer un **troisième** tri plus précis, qui n'est pas purement binaire « garde ou garde pas », en effet nous allons aboutir à **3 grands types de catégories** après une lecture plus précise des articles.

- Celles qui semblent coller parfaitement au sujet et qui vont entrer dans ce que l'on va appeler la bibliographie « vraie » constituant alors notre revue = **Catégorie A**
- Celles qui touchent au sujet mais pas précisément selon le modèle PICO établi mais qui peuvent nous paraître intéressantes dans la compréhension du sujet, celles-ci vont intégrer la bibliographie « autre » qui nous servira de complément d'informations notamment dans la partie discussion = **Catégorie B**
- Celles qui sont hors sujet et qui ne nous intéressent pas : nous les « éliminons » = **Catégorie C**

D'un point de vue pratique, nous avons utilisé Mendeley comme logiciel de gestion bibliographique.

¹ R. 4321-80 du code de déontologie des MK : Qualité des soins (<http://deontologie.ordremk.fr/devoirs-envers-les-patients/r-4321-80-qualite-des-soins>)

Pour terminer, un quatrième tri est effectué parmi les études de la catégorie A, celles qui semblent tout à fait correspondre au sujet, ces dernières ont été analysées en profondeur et nous retiendrons uniquement celles avec :

- Au moins une variable examinée comme le potentiel facteur de risque ou de protection des atteintes de l'extrémité distale du membre inférieur (pose avant, médio et arrière pied)
- Un plan observationnel avec un caractère prospectif, rétrospectif ou transversal
- Au moins une partie anatomique sur laquelle nous cherchons à connaître l'influence de la pose du pied (mollet et pied)

En résumé :

- ⇒ **1^{er} tri** : basé sur la **date** de parution
- ⇒ **2nd tri** : basé sur le **titre et l'abstract**
- ⇒ **3^e tri** : plus précis après lecture des articles nous permettant de créer **3 catégories**
- ⇒ **4^e tri** : plus minutieux parmi les articles des **catégories A**, soumis à des **critères de sélection** dans le but d'obtenir notre bibliographie « vraie »

L'ensemble de notre bibliographie (catégorie A et B) a été conservée dans Mendeley. Le modèle de « l'entonnoir » résumant l'ensemble de la méthodologie suivie pour parvenir à nos études finales incluses dans notre revue est à consulter dans la partie suivante intitulée « diagramme de flux ».

2.3.2 Extraction des données (catégorie A)

L'extraction des données a été opérée sous forme de tableaux des caractéristiques pour chacune des études incluses dans la catégorie A. Ces tableaux regroupent les critères PICO des études de la manière la plus synthétique possible pour permettre une comparaison rapide entre elles puis, ajouté à cela, nous avons intégré une colonne résumant les résultats de l'étude et son intérêt pour cette revue afin d'obtenir notre bibliographie « finale ».

2.3.3 Évaluation de la qualité méthodologique de études sélectionnées

La qualité méthodologique d'une étude repose sur le trépied suivant :

- **La validé interne :**

C'est l'évaluation de la qualité méthodologique des études incluses.

Notre revue traite de la thématique étiologique, c'est la **Newcastle Ottawa Scale (NOS)** qui est l'échelle adéquate à utiliser pour nos études de **cohortes** et études **transversales**, en effet cette dernière vérifie :

- La sélection des groupes de l'étude
- La comparabilité des groupes
- La détermination de l'exposition ou du résultat d'intérêt

La NOS attribue un score avec un nombre d'étoiles (★) proportionnel à la qualité méthodologique de chaque étude. Elle présente huit critères et la note finale attribuée peut s'élever jusqu'à un maximum de 9 points (9★) pour la NOS version cohorte et de 10 points pour sa version transversale. Il faut savoir qu'un score entre 0 et 3 équivaut à une étude de faible qualité méthodologique ; un score entre 4 et 7 étoiles correspond à une qualité moyenne et enfin un score supérieur ou égal à 7 étoiles signifie une haute qualité méthodologique.

Pour les ERC nous utiliserons l'échelle PEDRO sur 10 points et enfin pour les séries de cas nous nous servirons de la JBI cases series sur 10 également.

- **La validité externe :**

Elle réfère également à la méthode mais n'est pas soumise à l'évaluation objective d'une grille, en fait, elle compare la concordance des résultats des études entre elles, c'est-à-dire entre le modèle PICO de la revue et le modèle PICO de l'étude en question.

- **La pertinence clinique :**

Un résultat est pertinent si la taille de son effet est grande et si l'effectif de l'étude est suffisamment important pour avoir une mesure précise de cet effet. Cette pertinence doit nous permettre de savoir si les résultats peuvent être pris en considération (ou pas) dans notre pratique clinique. Enfin, pour qu'il soit réellement pertinent de prendre en charge l'influence d'une pose de pied identifiée comme potentiel facteur de risque d'apparition de certaines affections ou modifications de l'extrémité distale du membre inférieur ; il faut étudier ce qu'un travail préventif peut impacter chez le patient comme chez le soignant (la notion de coût, le caractère facile ou pas de la prise en charge, l'application en routine, la balance bénéfices/risques, et les effets indésirables).

2.3.4 Méthode de synthèse de résultats

La synthèse des résultats est regroupée dans un tableau de caractéristiques (cf. tableau des caractéristiques). Ces informations ont été obtenues par la consultation des parties « Méthode » pour chacune des études constituant de la catégorie A.

Puis, nous avons extrait dans la partie « Résultats », les résultats de ces dernières afin de constituer un second tableau synthétisant le bilan de chacune d'entre elles.

Ensuite, la validité interne ou qualité méthodologique de chacune des études a été vérifiée par le biais de grilles d'analyses :

- La Newcastle Ottawa Scale (NOS) pour les études de cohortes et transversales : le score obtenu (nombre d'étoiles ★) a été associé au tableau des résultats, ceci afin de pouvoir les hiérarchiser selon l'importance de leur niveau de qualité méthodologique (ceci surtout valable pour les études transversales de par leur nombre)
- L'échelle PEDRO pour les essais cliniques randomisés (ECR)
- La JBI cases series pour les études de cas

Après cela, toujours dans le but de rechercher le meilleur niveau de preuve, nous avons recensé les biais respectifs à chaque étude. C'est dans la partie « Discussion » que nous confronterons les résultats étiologiques de nos études à leurs biais retrouvés afin de potentialiser leur implication dans les modifications musculo-squelettiques du triceps sural et sur l'apparition d'inflammations plantaires.

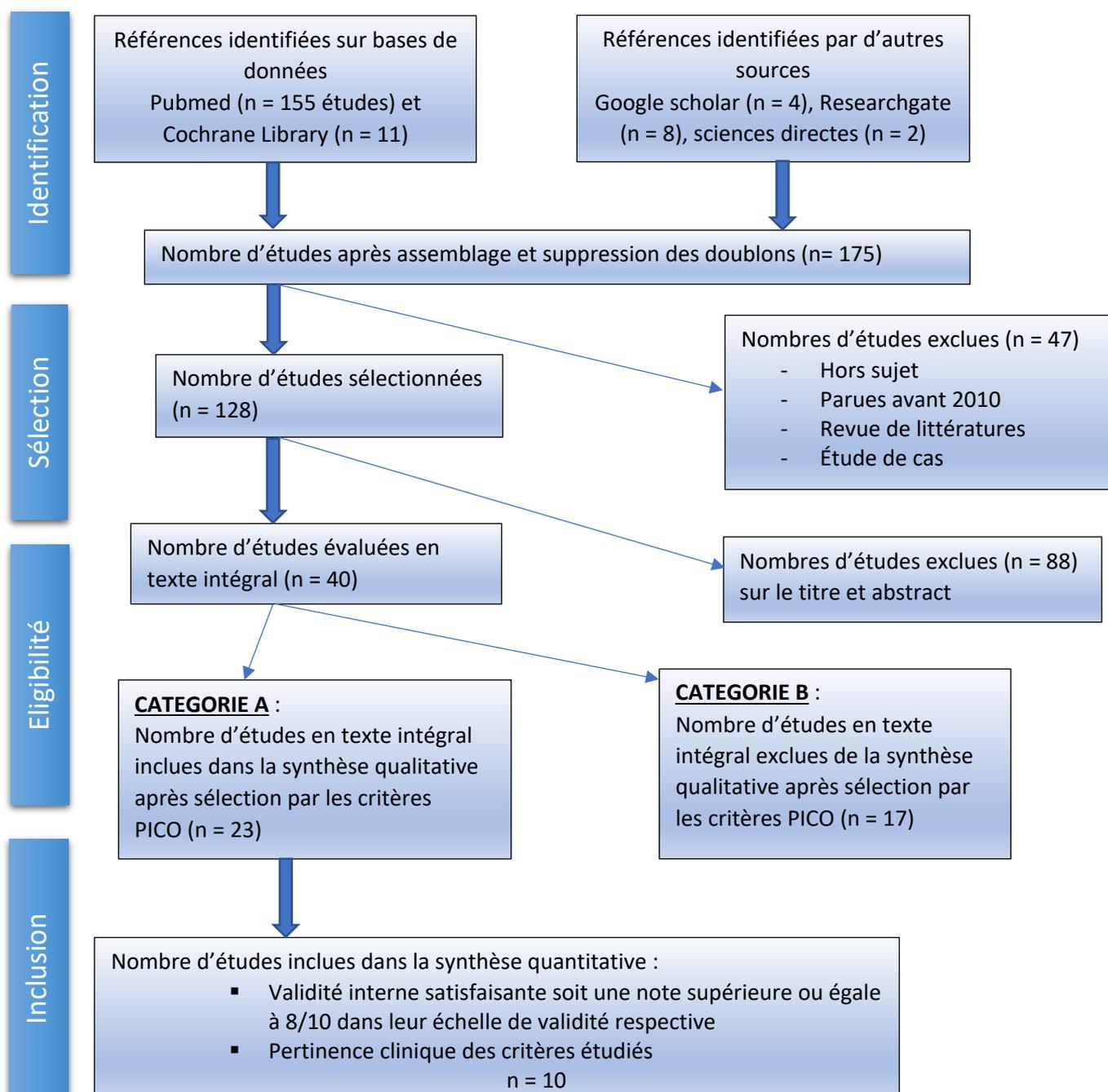
3 Résultats

3.1 Description des études

La vue d'ensemble de la recherche réalisée ainsi que la sélection des études sont résumés par le diagramme de flux qui suit.

Ce diagramme aboutit aux études retenues pour la synthèse quantitative, ces dernières sont celles témoignant de la plus haute validité interne ainsi que de la pertinence clinique des critères étudiés. Elles sont au nombre de 10 et sont les suivantes :

3.1.1 Diagramme de flux



3.1.2 Études exclues

D'après le diagramme de flux, les études exclues sont au nombre de 30 (23-10+17) et sont celles n'ayant pas répondues aux critères d'éligibilités précédemment donnés.

Nous les avons regroupés dans le tableau qui suit :

| Étude | Motif de l'exclusion | Étude | Motif de l'exclusion |
|------------------------|---|-------------------|---------------------------------------|
| Earl2011 | Centrée sur syndrome FP* | Kelly2017 | 6/10 JBI |
| Almenroeden2013 | Centrée sur le « barefoot running » | Histen2017 | Narratif |
| Enders2014 | Centrée sur les propriétés vibratoires des tissus | Hashizume2017 | 5/10 JBI |
| Nihms2014 | Centrée sur l'activité musculaire | Firminger2017 | Hors sujet |
| Kubo2014 | Centrée sur les très longues distances | Becker2017 | Hors sujet |
| Lindsey2014 | Absence de critère de jugement | Rice2017 | Centrée sur la chaussure et la charge |
| Landreneau2014 | Narratif | Kerzozek2018 | 7/10 NOS transversale |
| Cheung2015 | Centrée sur le volume des intrinsèques du pied | Longo2018 | Hors sujet |
| Mark2016 | Centrée sur les très longues distances | Hollander2019 | Centrée sur le « barefoot running » |
| Davis2017 | Centrée sur la chaussure minimaliste | Gonzales2019 | Centrée sur l'action musculaire |
| Lyght2016 | 6/10 JBI | Baquet2019 | Étude de cas |
| Pone2016 | Centrée sur le schéma arrière | Swinnen2019 (1) | 7/10 NOS transversale |
| Teng2016 | Narratif | Swinnen2019 (2) | Centrée sur l'action musculaire |
| Chen2016 | Hors sujet | Hazzawalaa2019 | Centrée sur le « barefoot running » |
| | | Wanzhen2020 | Centrée sur les ligaments |
| | | Yong2020 | Article narratif |

▪ **En vert**, les études exclues mais utilisées comme références dans la discussion

* FP = fémoro patellaire

3.1.3 Tableaux de caractéristiques des études incluses

Dans l'optique d'avoir une vue d'ensemble des résultats de nos études retenues, nous avons donc réalisé un tableau avec les critères PICO, les principales caractéristiques pour chacune d'elles ainsi que les résultats qu'elles présentaient et ce pour chacune des 10 études retenues.

| Hollander2020 | Étude de cohorte rétrospective |
|--------------------------------|--|
| Objectif | Comparer les facteurs de risque de blessures biomécaniques, anthropométriques et démographiques entre différents endroits chez les coureurs récréatifs blessés. |
| Participants Population | Les patients ont été envoyés par leur médecin du sport, leur chirurgien orthopédique, leur médecin de famille ou ont été envoyés par eux-mêmes. L'inclusion des patients dans cette analyse ne s'est pas limitée à l'âge, au sexe, à l'IMC ou aux activités de loisir ou de compétition. Au total, 550 patients ont été inclus comme participants à cette étude : récréatifs blessés (49,6 % de femmes ; âge moyen, 37,0 ± 12,8 ans) |
| | Exclusions : <ul style="list-style-type: none"> - Dossier médical incomplet - Blessures non liées à la course à pied - Maladie neurologique ou neuromusculaire - Blessures primaires multiples couvrant plus d'un endroit de la blessure |

| | |
|---------------------|---|
| Intervention | Sur tapis roulant, les patients ont couru à rythme choisi par eux-mêmes : échauffement de 2-3 min suivi de la collecte des données pour l'analyse (filmés par vidéo haute vitesse pour capturer l'attaque du pied). Les diagnostics finaux ont été établis par un physiothérapeute expérimenté ayant une grande expérience dans le diagnostic et le traitement des I.R.R. (running related injuries). |
| Résultats | <p>La plupart des blessures ont été documentées au genou (n = 141 ; 25,7%), à la jambe (n = 119 ; 21,6%), au pied/aux orteils (n = 85 ; 15,5%) et la hanche (n = 71 ; 12.9%).</p> <p>La plupart des coureurs avaient un schéma arrière-pied (71,1 %), suivi d'une attaque de l'avant du pied (18,5 %) et du milieu du pied (10,4 %).</p> <p>Une association entre :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les blessures du tendon d'Achille avec un schéma milieu du pied ▪ Les blessures de la partie inférieure de la jambe postérieure avec un schéma avant du pied (2,6 fois plus probables) ▪ Les blessures de la hanche/du genou avec un vGRF plus élevé soit arrière pied <p>⇒ L'âge plus avancé, le sexe masculin et un schéma milieu du pied permettent de distinguer une blessure au tendon d'Achille du reste du groupe de blessés</p> <p>⇒ Une attaque avant-pied a permis de l'associer avec les blessures postérieures du mollet</p> <p>⇒ Le sexe féminin et un pic élevé de vGRF étaient associés aux blessures de la hanche, et le sexe féminin uniquement aux blessures de la cuisse</p> |

| Daoud2011 | Étude de cohorte rétrospective |
|--------------------------------|--|
| Objectif | Savoir si les coureurs qui attaquent habituellement le pied avant ont un taux de blessure différent de celui des coureurs qui attaquent habituellement le pied arrière . |
| Participants Population | <p>52 athlètes qui faisaient partie de l'équipe de cross-country de l'université de Harvard entre août 2006 et janvier 2011. Pendant la saison de cross-country d'automne (environ 3 mois), la plupart des coureurs couraient quatre à six courses sur des surfaces naturelles telles que la terre battue et l'herbe : les femmes couraient des courses de 6 et 8 km et les hommes des courses de 8 et 10 km.</p> <p>Inclusions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coureurs expérimentés, suffisamment talentueux pour participer à la Division I de la National Collegiate Athletic Association - Coureurs de moyenne et longue distance qui ont participé à des courses entre 800 m et 10 km, et qui ont suivi des plans d'entraînement similaires développés par le même entraîneur |
| Intervention | <p>Le nombre total de jours de course, le nombre total de kilomètres parcourus, le nombre total de minutes de course, la moyenne des kilomètres par semaine et le rythme moyen de course ont été calculés pour chaque sujet pendant qu'il faisait partie de l'équipe. Tous les athlètes de l'équipe sont tenus de porter à nouveau toutes les blessures, qui ont été diagnostiquées et enregistrées pendant les 9 mois de la saison sportive.</p> <p>Les blessures causées par des accidents (par exemple, chutes et collisions) ont été exclues de cette étude. Les blessures de course restantes ont été regroupées dans les catégories suivantes : tendinopathies ; fasciite plantaire ; fractures de stress ; syndrome de la bandelette iliotibiale ; douleurs au genou ; bursite ; douleurs lombaires ; claquages musculaires ; lésions du cartilage ; entorses ; et douleurs généralisées.</p> |
| Résultats | <p>Les 52 sujets de l'étude (29 hommes/23 femmes) ont parcouru un total de 182 879 miles pendant la période mesurée. 16 soit 31% ont été classé comme FFS et 36 soit 69% RFS. Au cours de cette période, 181 blessures répétitives ont été enregistrées (25% légères, 40% modérées, 35% graves).</p> <p>Blessures graves pour les coureurs de la RFS : 5,80 blessures par 10 000 miles et pour ceux de la FFS : 2,19 blessures par 10 000 miles.</p> <p>⇒ FFS taux de blessures nettement inférieur au RFS</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>⇒ RFS avait 2,6 fois plus de chances d'avoir des blessures légères et 2,4 fois plus de chances d'avoir des blessures modérées</p> <p>⇒ Lorsque les blessures modérées et graves sont mises en commun, les coureurs de l'RFS ont un taux global de blessures presque 2 fois plus élevé que celui des coureurs de l'FFS</p> <p>⇒ Douleur à la hanche, douleur au genou, douleur au bas du dos, blessures de stress au tibia, fasciite plantaire et fractures de stress des os des membres inférieurs à l'exclusion des métatarses) étaient entre 2 et 4 fois plus fréquentes chez les coureurs RFS que chez les coureurs FFS</p> <p>⇒ La course à pied FFS nécessite des muscles du mollet plus forts, les coureurs sont plus susceptibles de souffrir de tendinopathies d'Achille et de contractures du mollet. Elle nécessite également des muscles du pied plus forts donc plus de chance de souffrir de douleurs à l'avant-pied ou de fractures de stress</p> |
|--|---|

| Deng2020 | Étude de type ECR |
|--------------------------------|---|
| Objectif | Explorer les changements du moment de flexion plantaire de la cheville, la vitesse de développement des fléchisseurs plantaires, ainsi que les caractéristiques morphologiques et les propriétés mécaniques du tendon d'Achille (TA) après 12 semaines de réentraînement à la course (GR). |
| Participants Population | <p>42 participants (âge 23,7 ± 2,7 ans) ont été recrutés et répartis au hasard en groupes GR et CON. Au final on a le suivi de 34 patients.</p> <p>Inclusions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coureurs récréatifs de sexe masculin ayant une RFS habituelle et n'ayant jamais essayé de courir dans des chaussures minimalistes avec une FFS - Aucune blessure musculo-squelettique du membre inférieur et aucune maladie neuromusculaire au cours des 3 derniers mois - Une distance de course hebdomadaire de plus de 15 km |
| Intervention | 34 coureurs récréatifs masculins en bonne santé (habituels aux coups de pied arrière) qui n'ont jamais essayé de courir avec des chaussures minimalistes ont été recrutés, et l'intervention a été menée à bien (20 dans le groupe GR contre 14 dans le groupe témoin (CON)). Les participants du groupe GR ont été invités à courir dans des chaussures minimalistes fournies par les enquêteurs avec des modèles de coups de pied avant pendant les 12 semaines de GR progressive. Pendant ce temps, les participants du groupe CON ont reçu l'instruction de courir dans leurs propres chaussures de course , qu'ils connaissaient bien, avec des modèles de coups de pied originaux et des intensités. Les propriétés morphologiques du TA, à savoir la longueur et la section transversale (CSA), ont été obtenues en utilisant un appareil à ultrasons . Un dynamomètre a été utilisé simultanément pour mesurer et calculer le moment de flexion plantaire de la cheville, la vitesse de développement des fléchisseurs plantaires, la force maximale du TA, ainsi que la contrainte et la contrainte du TA. |
| Résultats | <p>Après 12 semaines de GR, les résultats suivants ont été obtenus :</p> <p>(1) Un effet temps significatif dans le moment de flexion plantaire de pointe de la cheville a été observé, montrant une augmentation de 27,5% dans le groupe GR ;</p> <p>(2) Un effet groupe significatif dans la section transversale a été observé : son augmentation était significativement plus importante dans le groupe GR ;</p> <p>(3) Un effet temps significatif dans la force du TA de pointe a été observé, montrant une augmentation de 27,5% dans le groupe GR.</p> <p>L'effet de 12 semaines de GR est une augmentation de la section transversale du TA, de la force musculaire des fléchisseurs plantaires de la cheville, et de la force du TA de pointe pendant un test de contraction isométrique volontaire maximale.</p> |

| Wearing2019 | Étude de type transversale | |
|--------------------------------|--|---|
| Objectif | L'objectif de cette étude était donc d'utiliser des ultrasons en mode transmission pour étudier l'influence des schémas habituels de l'attaque du pied en course sur les propriétés du tendon d'Achille pendant la marche et la course pieds nus. | |
| Participants Population | Vingt-cinq coureurs récréatifs en bonne santé (12 femmes, 13 hommes) ont été recrutés. 15 coureurs (âge : 27 ± 11 ans) : un schéma habituel de RFS pendant la course et 10 (âge : 29 ± 11 ans) : un schéma habituel de FFS pendant la course. | |
| | Inclusions : | Exclusions : |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Non-fumeurs - Non médicamenteux - Courir un minimum de 4 h (>30 km) par semaine | <ul style="list-style-type: none"> - Blessure au tendon d'Achille ou de pathologie des membres inférieurs au cours des 6 mois précédents |
| Intervention | Une sonde ultrasonore à cinq éléments, construite sur mesure, comprenant un émetteur d'impulsions à large bande de 1 MHz et quatre régulièrement espacés a été positionné sur la ligne médiane de la partie postérieure du tendon d'Achille droit pendant la bipédie silencieuse position. L'émetteur de la sonde était situé à environ 1 cm au-dessus de la surface supérieure du calcaneum. La sonde a été maintenue en contact étroit avec la peau par d'un moyen de couplage adhésif et de sangles élastiques. | |
| Résultats | Cette étude a démontré une plus grande rigidité du tendon d'Achille chez les attaquants habituels de l' avant-pied non blessés par rapport aux attaquants habituels de l'arrière-pied. Ils ont attribué cette propriété matérielle améliorée du tendon à la charge accrue induite par l'attaque chronique de l' avant-pied . | |

| Chen2019 | Étude de type transversale | |
|--------------------------------|--|---|
| Objectif | Le but de cette étude était d'utiliser l'élastographie par ondes de cisaillement ultrasonores pour documenter l'élasticité du fascia plantaire chez les coureurs en utilisant les modèles de l'avant-pied. | |
| Participants Population | Au total, 35 coureurs de loisir (21 arrière-pied et 14 avant-pied) ont été recrutés pour l'étude. Le rapport entre ceux de l'arrière-pied et ceux de l'avant était d'environ 3/2, en raison de leur disponibilité dans la communauté locale de course. | |
| | Inclusions : | Exclusions : |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Âgé de 18 à 35 ans - Avoir un kilométrage hebdomadaire d'au moins 15 km - Avoir une expérience de la course à pied d'au moins deux ans avant l'expérience - Avoir été attaquant pied arrière au début de sa carrière de coureur - Ne pas présenter de symptômes ou de blessures aux membres inférieurs au moment de l'inscription - Ne pas souffrir de maladies musculo-squelettiques, telles que des troubles rhumatoïdes | <ul style="list-style-type: none"> - Présenter une voûte plantaire anormale - Ils avaient modifié leur schéma d'attaque du pied au cours des six mois précédant les expériences - Ils utilisaient actuellement des orthèses, des prothèses ou des chaussures à fonction de contrôle du mouvement - Ils avaient subi une opération chirurgicale des membres inférieurs au cours des six mois précédant les expériences - Ils couraient habituellement pieds nus - Indice de voûte plantaire > 0,26 (planus) ou < 0,21 (cavus) ont été exclus |
| Intervention | L'étude a consisté en deux sessions avec un intervalle de 5 minutes de repos : une session d'élastographie par ondes de cisaillement et une session de tapis roulant. L'objectif de la séance sur tapis roulant était de confirmer le type de voûte plantaire et le schéma d'attaque du pied pour les participants. Après l'épreuve de marche, les participants ont couru sur le tapis roulant pendant 3 minutes en utilisant une vitesse choisie par eux-mêmes dans leurs propres chaussures de course. Aucune instruction sur une forme spécifique de course (par exemple, un modèle spécifique d'attaque du pied) n'a été donnée aux participants. | |

| | |
|------------------|---|
| Résultats | L'élastographie par ondes de cisaillement a montré que les attaquants de l'avant-pied présentaient une élasticité réduite du fascia plantaire par rapport aux attaquants de l'arrière-pied. Un fascia moins élastique est moins résistant à la déformation et peut rendre les coureurs vulnérables aux blessures causées par un étirement excessif des tissus (par exemple, la fasciite plantaire). |
|------------------|---|

| Ribeiro2011 | Étude de type transversale | | | | | |
|---|--|--|---------------------|---------------------|---|--|
| Objectif | Évaluer/comparer l'alignement de l'arrière-pied et l'indice de voûte longitudinale médiane pendant les postures statiques chez les coureurs, avec et sans symptômes et antécédents de fasciite plantaire (PF) . | | | | | |
| Participants Population | <p>105 coureurs de loisir des deux sexes, âgés de 20 à 55 ans, ont été évalués sur une période d'un an. Le groupe contrôle (CG) était composé de 60 coureurs n'ayant aucun antécédent ou symptôme de PF.</p> <p>Les volumes d'entraînement hebdomadaires moyens étaient de 40 km pour le groupe PFH (plantar fasciitis histories) et de 45 km pour le groupe PFS (plantar fasciitis symptoms), alors que leur temps moyen de pratique à la course était de 7 et 6 ans pour le groupe PFH et PFS. Pour le groupe CG, le volume d'entraînement hebdomadaire moyen était de 45 km et la durée moyenne d'entraînement de 4 ans.</p> <table border="1"> <tr> <td>Inclusions :</td> <td>Exclusions :</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> - Avoir couru au moins 20 km par semaine pendant au moins un an - Avoir de l'expérience dans les compétitions de course de longue distance - Avoir un schéma de pose régulier de l'arrière-pied - Avoir un écart maximum de 1 cm entre les longueurs de jambes </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> - Des antécédents de chirurgie du pied - Des traumatismes ou des fractures de moins de trois mois - Neuropathies - L'obésité - Troubles musculo-squelettiques tels que l'arthrite, les tendinites, les bursites, la spondylarthrite ankylosante et les épines de talon </td> </tr> </table> | | Inclusions : | Exclusions : | <ul style="list-style-type: none"> - Avoir couru au moins 20 km par semaine pendant au moins un an - Avoir de l'expérience dans les compétitions de course de longue distance - Avoir un schéma de pose régulier de l'arrière-pied - Avoir un écart maximum de 1 cm entre les longueurs de jambes | <ul style="list-style-type: none"> - Des antécédents de chirurgie du pied - Des traumatismes ou des fractures de moins de trois mois - Neuropathies - L'obésité - Troubles musculo-squelettiques tels que l'arthrite, les tendinites, les bursites, la spondylarthrite ankylosante et les épines de talon |
| Inclusions : | Exclusions : | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Avoir couru au moins 20 km par semaine pendant au moins un an - Avoir de l'expérience dans les compétitions de course de longue distance - Avoir un schéma de pose régulier de l'arrière-pied - Avoir un écart maximum de 1 cm entre les longueurs de jambes | <ul style="list-style-type: none"> - Des antécédents de chirurgie du pied - Des traumatismes ou des fractures de moins de trois mois - Neuropathies - L'obésité - Troubles musculo-squelettiques tels que l'arthrite, les tendinites, les bursites, la spondylarthrite ankylosante et les épines de talon | | | | | |
| Intervention | <p>45 coureurs ont reçu un diagnostic de PF unilatéral confirmé par échographie.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 30 ont des symptômes de douleurs ce sont les PF aigu ou PFS - 15 n'ont plus de symptôme douloureux ce sont les PF en phase rémission ou PFH <p>Évaluations de l'alignement de l'arrière-pied & évaluations de la voûte plantaire longitudinale médiane.</p> | | | | | |
| Résultats | <p>Les résultats portent que chez des sujets arrière pied. Ils ont indiqué que tous les groupes présentaient des désalignements similaires de l'arrière-pied en valgus. Cependant, les indices de voûte plantaire longitudinale médiane étaient :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plus élevés pour les deux groupes de PF (PFS et PFH) par rapport aux témoins - Aucune différence n'a été constatée entre les groupes de PF <p>Les individus atteints de PF ont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une diminution de l'amplitude de leurs mouvements de dorsiflexion de la cheville associée à une moindre flexibilité du groupe musculaire triceps sural et à une diminution de l'extension des orteils - Une élévation de la voûte plantaire conduirait à des contraintes plus importantes de l'aponévrose plantaire pour maintenir l'architecture de la voûte en position statique <p>⇒ Le maintien de cette posture pendant de longues périodes pourrait entraîner des microtraumatismes du fascia plantaire et, par conséquent, l'apparition de la PF, celle-ci étant alors d'autant plus favorable chez le coureur avant pied.</p> | | | | | |

| Wei2019 | Étude de type transversale | |
|--------------------------------|--|---|
| Objectif | Comparer les caractéristiques de la charge plantaire entre les coureurs habituels de la RFS et de la NRFS (non RFS) . | |
| Participants Population | 78 hommes en bonne santé ont participé à cette étude. L'indice de pose du pied a été utilisé pour vérifier le RSF ou FFS de chaque participant. Tous étaient dominants de la jambe droite, définie comme la jambe préférée d'une personne lorsqu'elle frappe un ballon. Ils étaient recrutés à l'Université des sports de Shanghai et dans les groupes de course à pied. | |
| | Inclusions : | Exclusions : |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Dominant de la jambe droite - 10 à 15 km par semaine | <ul style="list-style-type: none"> - Être une femme pour éliminer les différences anatomiques et biomécaniques - Troubles musculo-squelettiques, visuels, vestibulaires et/ou d'autres problèmes médicaux dans les six mois précédant l'étude |
| Intervention | Chaque participant s'est échauffé pendant 5 minutes sur un tapis roulant à sa vitesse de course préférée. Le test a été effectué sur une piste intérieure de 15 m. 41 sont RFS et 37 FFS. | |
| Résultats | <p>Des schémas d'attaque variés ont des caractéristiques de charge plantaire différentes.</p> <p>RFS ont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un MF (maximum force) et un FTI (force time integral) total plus élevé - Les charges plantaires sont surtout centrées sur les régions de l'arrière-pied et du milieu du pied - La force peut être transmise à l'articulation du genou et entraîner des blessures au niveau du tibia et de l'articulation fémoro-patellaire <p>Les coureurs habituels de la NRFS ont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Des charges plantaires totales plus faibles que les coureurs habituels de la RFS - Mais des charges plus élevées à l'avant-pied peuvent être associées à des fractures de stress métatarsien et à des dommages compensatoires au tendon d'Achille et aux souches du triceps sural | |

| Shih2013 | Étude de type transversale | |
|--------------------------------|---|--|
| Objectif | Savoir si le schéma d'attaque est plus important que les conditions pieds nus ou chaussés pour les coureurs sur la prévention des blessures en course à pied. | |
| Participants Population | Douze participants masculins en bonne santé. | |
| | Inclusions : | Exclusions : |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Coureurs habituels avec une attaque talon - Age = 24,2 +/- 1,3 ans | <ul style="list-style-type: none"> - Maladie neuromusculaire au cours des six derniers mois |
| Intervention | Les participants ont été invités à effectuer une course pieds nus et chaussés avec des coups d'avant et arrière pied sur le tapis roulant dans un ordre contrebalancé. Chaque épreuve comporte quatre conditions, chacune consistant en 1 min de course et 2 min de repos entre les intervalles de course. Les participants se sont échauffés et se sont entraînés à la course de l'avant-pied avant les quatre conditions de l'expérience. | |
| Résultats | <ul style="list-style-type: none"> - Taux de charge moyen et le taux de charge maximal étaient similaires dans les conditions de marche pieds nus et chaussés mais sensiblement plus élevés dans les cas d'attaque de talon ⇒ Donc les membres inférieurs présentaient des caractéristiques similaires dans le même schéma d'attaque, que ce soit pieds nus ou chaussé. - Les coureurs ayant subi un choc à l'avant-pied avaient une réduction significative du taux de charge, ce qui est considéré comme un facteur important pour les blessures en course à pied - Pas de différences significatives entre les conditions de pieds nus et de pieds chaussés ⇒ Donc sur la base de ces résultats, le port de chaussures n'est pas forcément important pour un coureur | |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - En revanche, ceux qui courent pieds nus et utilisent le modèle talon, les taux de charge sont significativement plus élevés que pour les coureurs chaussés qui courent avec le talon - D'après les signaux d'électromyographie, les gastrocnémiens ont montré une activité significativement plus élevée pour les coups de pied avant <p>⇒ L'augmentation de l'activité musculaire lors de la course représente la charge croissante sur ce muscle donc un entraînement excessif dû à la contraction excentrique après l'atterrissage du pied peut provoquer une tendinite du tendon d'Achille ou du tibial postérieur.</p> |
|--|---|

| Kumala2013 | Étude de type transversale |
|--------------------------------|---|
| Objectif | Examiner si les coureurs qui utilisent le modèle FFS présentent une charge différente au niveau des membres inférieurs , en particulier des genoux , que ceux qui utilisent le modèle RFS. |
| Participants Population | <p>Au total, 286 athlètes de sports d'équipe (227 femmes et 66 hommes), les schémas de d'attaque du pied ont d'abord été identifiés visuellement, puis confirmés par l'analyse du mouvement en calculant l'angle de pose du pied. Enfin, 19 femmes et 4 hommes ont montré un schéma FFS acceptable. En raison des différences liées au sexe dans la mécanique de la course, seules les femmes ayant une FFS ont été sélectionnées pour une analyse plus approfondie ayant un poids et une taille similaires a été sélectionné (n = 19) et un groupe similaire pour les RFS (poids et taille).</p> <p>Exclusions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Problèmes musculo-squelettiques antérieurs : tels qu'une blessure ou une opération récente - Ceux qui ont montré des changements dans la forme de l'impact du pied entre les parcours de course n'ont pas été acceptés pour le groupe FFS |
| Intervention | Dix-neuf athlètes féminines avec un modèle naturel de l'avant-pied (FFS) et des femmes jumelées avec un modèle de l'arrière-pied (RFS) (n = 19) ont subi une analyse de course en 3D. Les angles et les moments des articulations, la force et les contraintes de contact fémoro-patellaire et les forces du tendon d'Achille ont été analysés et comparés entre les groupes. |
| Résultats | <p>Les coureurs FFS présentent à la fois une contrainte fémoro-patellaire et un moment dans le plan frontal du genou inférieurs à ceux des RFS, ce qui peut réduire le risque de blessures au genou liées à la course.</p> <p>D'autre part, l'augmentation parallèle de la flexion plantaire de la cheville et de la charge du tendon d'Achille peut augmenter le risque de blessures à la cheville et au pied.</p> |

| Huang2019 | Étude de type série de cas | |
|--------------------------------|---|---|
| Objectif | Examiner l'effet du schéma d'attaque du pied, de la cadence de pas et des modifications l'inclinaison antérieure du tronc sur la charge d'impact chez les coureurs. | |
| Participants Population | 19 coureurs masculins en bonne santé ont été recrutés (âge : 21,74 ± 2,64 ans, kilométrage hebdomadaire : 17,92 ± 10,15 km) dans des clubs de course locaux. Il y a 15 coureurs avant-pied et 4 de l'arrière-pied. | |
| | Inclusions : - Coureurs ferrés (mini 10km par semaines pendant au moins 6 mois) | Exclusions : - Présence de blessures ou des troubles actifs susceptibles d'affecter leur démarche et leur mécanique de course - Si opération des membres inférieurs ou du dos, ou présentant une déficience cognitive susceptible d'entraver l'apprentissage moteur - Les participants ayant simultanément une autre étude de leur course |
| Intervention | On leur a demandé de courir avec leurs chaussures habituelles à leur propre rythme durant cinq minutes, ce qui constituait un essai de base. Cet essai de base a été immédiatement post-traité afin de déterminer les paramètres de course de base de chaque participant et de fixer l'inclinaison antérieure du tronc et l'augmentation de la cadence de pas cibles pour les essais de modification de la démarche ultérieurs. L'essai de base est l'une des douze combinaisons de marche possibles. Ensuite, chaque participant a effectué les 11 autres combinaisons de marche supplémentaires après l'essai de base, c'est-à-dire trois coups de pied (arrière-pied, milieu du pied et avant-pied), deux pas (naturel et augmenté de 10 %) et deux postures d'inclinaison antérieure du tronc (naturel et augmenté de 10 %). La séquence d'essai a été randomisée, et les participants ont couru pendant cinq minutes au cours de chaque essai. | |
| Résultats | <ul style="list-style-type: none"> - La pose de l'avant-pied (sans changer la cadence de pas et à l'augmentation de celle-ci) peut réduire le risque de fractures de stress tibial - Alors que la pose de l'avant-pied avec une modification accrue de la cadence de pas peut diminuer les taux de charge d'impact, il existe certains risques potentiels qui doivent être pris en compte avec une telle modification de la démarche, comme une augmentation parallèle de la FP de la cheville et une augmentation de la charge du tendon d'Achille, qui peuvent augmenter le risque de blessures à la cheville et au pied ⇒ Dans l'ensemble, l'attaque de l'avant-pied combinée à une augmentation de la cadence de pas a conduit aux taux de charge d'impact les plus faibles, et l'attaque de l'arrière-pied combinée à une inclinaison antérieure du tronc a conduit aux taux de charge d'impact les plus élevés ⇒ Une charge d'impact plus faible est étroitement liée à une diminution des fractures de stress tibial, à la fasciite plantaire, à la douleur fémoro-patellaire, au syndrome chronique du compartiment d'effort. | |

Afin de faciliter la comparaison entre ces 10 études nous avons réalisé un tableau récapitulatif à la page suivante.

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES

| Etude | Méthode | | Participants | | | | | Intervention | Outcome | Score |
|----------------------|-----------------------|--------|---|--------------|--|---|----------------|---|--|------------|
| | Design | Taille | Lieu | Articulation | CI | CE | Âge | | | |
| <i>Hollander2020</i> | Cohorte rétrospective | 550 | Harvard medical school Cambridge/ Medical school Hamburg | MI | <ul style="list-style-type: none"> - Coureurs récréatifs blessés - Envoyés par leur médecin du sport, chirurgien orthopédique, leur médecin de famille ou par eux-mêmes | <ul style="list-style-type: none"> - Dossier médical incomplet - Blessures non liées à la course à pied - Maladie neurologique ou neuromusculaire - Blessures primaires multiples couvrant plus d'un endroit de la blessure | 37 ± 12,8 ans | | <p>Blessures au genou > jambe > aux pieds/orteils > hanche 70% des coureurs = RFS ; 18,5% = FFS et 10,4% = MFS Association entre les blessures du TA avec FFS et MFS ; les blessures de la jambe postérieure avec FFS et les blessures hanche et genou avec RFS</p> | NOS 4/9 |
| <i>Daoud2011</i> | Cohorte rétrospective | 52 | Harvard University Cambridge | MI | <ul style="list-style-type: none"> - Coureurs expérimentés participant à la Division I de la National Collegiate Athletic Association - Coureurs de moyenne et longue distance (entre 800 m et 10 km) ayant suivi des plans d'entraînement similaires par le même entraîneur | | 19 ± 1 an | | <p>FFS taux blessures << RFS Hanche, genou, bas du dos, blessures de stress au tibia, fasciite plantaire et fractures de stress des os des membres inférieurs (à l'exclusion des métatarses) ++ RFS // TA, contractures du mollet, fractures de stress avant pied ++ FFS</p> | NOS 7/9 |
| <i>Deng2020</i> | ECR | 34 | Shanghai University of Sport/University of Freiburg | Cheville | <ul style="list-style-type: none"> - Coureurs récréatifs hommes RFS habituelle et n'ayant jamais couru dans des chaussures minimalistes avec une FFS - Une distance de course hebdomadaire de plus de 15 km | Blessure musculo-squelettique du membre inférieur et aucune maladie neuromusculaire au cours des 3 derniers mois | 23,7 ± 2,7 ans | 20 € GR (chaussures minimalistes) 14 € CON (témoins) pendant 12 semaines | <p>Aug de la section transversale du TA chez GR Aug de la force des fléchisseurs plantaires chez GR de 27,5%</p> | PEDRO 4/10 |

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|-----|---|----------|---|--|-------------|--|--|----------|
| Wearing2019 | Transversale | 25 | Harvard Medical School Cambridge | Cheville | <ul style="list-style-type: none"> - Non-fumeurs - Non médicamenteux - Courir un minimum de 4 h (>30 km) par semaine | Blessure au tendon d'Achille ou de pathologie des membres inférieurs au cours des 6 mois précédents | 28 ± 11 ans | Une sonde à ultrasons a été posée sur le tendon d'Achille | Une plus grande rigidité du tendon d'Achille pour la FFS et cette propriété matérielle améliorée due à la charge accrue induite par l'attaque | NOS 9/10 |
| Chen2019 | Transversale | 35 | University of Michigan / The Hong Kong Polytechnic University | Pied | <ul style="list-style-type: none"> - Avoir un kilométrage hebdomadaire d'au moins 15 km - Avoir une expérience de la course à pied d'au moins deux ans avant l'expérience - Avoir été attaquant pied arrière au début de sa carrière de coureur - Ne pas présenter de symptômes ou de blessures aux membres inférieurs au moment de l'inscription - Ne pas souffrir de maladies musculo-squelettiques, telles que des troubles rhumatoïdes | <ul style="list-style-type: none"> - Présenter une voûte plantaire anormale - Modification du schéma de pose du pied au cours des six mois - Utilisation d'orthèses, de prothèses à fonction de contrôle du mouvement - Opération chirurgicale des membres inférieurs au cours des six mois - Courir pieds nus - Planus ou cavus | 18-35 ans | Une session d'élastographie par ondes de cisaillement et une session de tapis roulant pendant 3 minutes dans leurs propres chaussures de course. | Élasticité réduite du fascia plantaire ++ chez les FFS or un tissu moins élastique est moins résistant donc + vulnérable aux FP | NOS 9/10 |
| Ribeiro2011 | Transversale | 105 | University of Sao Paulo | Pied | <ul style="list-style-type: none"> - Avoir couru au moins 20 km par semaine pendant au moins un an - Avoir de l'expérience dans les compétitions de course de longue distance - Avoir un schéma de pose régulier de l'arrière-pied - Avoir un écart maximum de 1 cm entre les longueurs de jambes | <ul style="list-style-type: none"> - Des antécédents de chirurgie du pied - Des traumatismes ou des fractures de moins de trois mois - Neuropathies - L'obésité - Troubles musculo-squelettiques tels que l'arthrite, les tendinites, les bursites, la spondylarthrite ankylosante et les épines de talon | 20 à 55 ans | Diagnostic de PF échographie (45) Et évaluations de la voûte plantaire | Les individus atteints de PF ont : <ul style="list-style-type: none"> - Une diminution de la FD + une moindre flexibilité du triceps sural ⇔ schéma FFS - Une voûte plantaire + élevée => contraintes + importantes => des microtraumatismes du fascia plantaire => l'apparition de la PF | NOS 8/10 |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------|----|-----------------------------------|-------------------------|--|--|--------------|--|--|----------|
| Wei2019 | Transversale | 78 | Shanghai University of Sport | Genou, cheville et pied | <ul style="list-style-type: none"> - Dominant de la jambe droite - 10 à 15 km par semaine | <ul style="list-style-type: none"> - Être une femme pour éliminer les différences anatomiques et biomécanique - Troubles musculo-squelettiques, visuels, vestibulaires et/ou d'autres problèmes médicaux dans les six mois précédant l'étude | 24 ± 2,5 ans | Le test a été effectué sur une piste intérieure de 15 m avec des semelles à 99 capteurs. 41 sont RFS et 37 FFS. | Les RFS = charges plantaires ++ régions de l'arrière/milieu du pied ; force transmise au genou ⇔ blessures du tibia et de l'articulation fémoro-patellaire. Les NRFS = charges totales plus faibles que la RFS mais des charges ++ à l'avant-pied => fractures de stress métatarsien et à des dommages au TA et TS | NOS 8/10 |
| Shih2013 | Transversale | 12 | National Taiwan Normal University | MI | <ul style="list-style-type: none"> - Coureurs habitués avec une attaque talon - Coureurs masculins | <ul style="list-style-type: none"> - Maladie neuromusculaire au cours des six derniers mois | 24 ± 1,3 ans | Course pieds nus et chaussés avec des coups d'avant et arrière pied. | Taux de charge moyen et maximal + élevés en RFS pieds nus et chaussés // FFS dans les mêmes conditions => Chaussures pas forcément importantes RFS pieds nus > RFS chaussés. TS ++ actifs chez les FFS => charge croissante du TS pouvant entraîner une tendinite du TA et du tibial postérieur | NOS 8/10 |
| Kumala2013 | Transversale | 38 | University of Jyväskylä Finland | Genou et cheville | <ul style="list-style-type: none"> - Femmes avec une FFS et une RFS clairement identifiée et stable dans le temps | <ul style="list-style-type: none"> - Problèmes musculo-squelettiques antérieurs - Ceux qui ont montré des changements dans la forme de l'impact du pied entre les parcours de course n'ont pas été acceptés pour le groupe FFS | 18,6 ± 5 ans | Analyse de course en 3D des moments des articulations, la force et les contraintes fémoro-patellaire et les forces TA ont été comparés | Contrainte fémoro-patellaire FFS < à celle des RFS, ce qui peut réduire le risque de blessures au genou. L'augmentation parallèle de la flexion plantaire de la cheville et de la charge du tendon d'Achille peut augmenter le risque de blessures à la cheville et au pied. | NOS 8/10 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|----|---|-------------------------------|--|---|--------------------|--|--|-------------|
| Huang2019 | Série de cas | 19 | Department of Physical Education/ Department of Health Sciences, University of Jyväskylä Finland | Genou, cheville et pied | Coureurs ferrés (mini 10km par semaines pendant au moins 6 mois) | <ul style="list-style-type: none"> - Présence de blessures ou des troubles actifs - Si opération des membres inférieurs ou du dos, ou présentant une déficience cognitive | 22 ± 2,5 ans | Courir 5min pour les 12 combinaisons : trois coups de pied, deux pas (naturel et augmenté) et deux postures d'inclinaison antérieure | FFS peut réduire le risque de fractures de stress tibial + si modification accrue de la cadence => diminution des taux de charge => mais augmentation charge du TA donc ++ de risque de blessures à la cheville et au pied Charge d'impact plus faible = diminution des fractures de stress tibial, ++ fasciite plantaire, ++ douleur fémoro-patellaire | JBI 8/10 |
|-----------|--------------|----|---|-------------------------------|--|---|--------------------|--|--|-------------|

3.2 Risques de biais des études incluses

3.2.1 Grilles d'analyse utilisées

Comme nous l'avons cité précédemment, pour évaluer la qualité méthodologique des études incluses nous avons utilisé :

- L'échelle **PEDRO** pour les ECR (essai clinique randomisé) (1)
- La **Newcastle Ottawa Scale (NOS)** pour les études de cohortes (2) et transversales (6)
- La **JB1 cases series** pour les séries de cas (1)

Nous avons utilisé l'échelle PEDRO et la NOS pour les cohortes à titre informatif à notre égard afin de connaître la validé interne de ces dernières pour pouvoir se rendre compte de la pertinence des propos et des résultats avancés. En effet, les scores obtenus vont nous donner des informations sur la façon dont l'étude a été menée, révélant les « forces » méthodologiques mais également les biais potentiels. Biais qui pourront alors nous amener à nuancer nos interprétations de leurs résultats.

En ce qui concerne les études transversales et les séries de cas, nous avons utilisé leur échelle respective dans les mêmes intentions que précédemment mais en plus de cela, la note obtenue sur 10 nous a permis de les sélectionner. En effet, nous avons inclus seulement les études ayant une note supérieure ou égale à 8/10 dans les deux protocoles.

Afin de mieux comprendre sur quoi se base ces grilles d'analyse, nous détaillons leurs items qui nous permettent l'attribution des points ou des étoiles.

3.2.2 Synthèse des biais retrouvés

Les biais des études inhérents aux différentes échelles utilisées sont retrouvées en Annexes 27, 28, 29 et 30. Nous avons effectué des tableaux permettant de mettre en évidence les potentiels biais de chaque étude.

| PEDRO | | |
|--|-----------------|-----------|
| <i>Study</i> | <i>Deng2020</i> | |
| | YES | NO |
| 1. Les critères d'éligibilité ont été précisés | X | |
| 2. Les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement) | X | |
| 3. La répartition a respecté une assignation secrète | | X |
| 4. Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants | X | |
| 5. Tous les sujets étaient "en aveugle" | | X |
| 6. Tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle" | | X |
| 7. Tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels | | X |
| 8. Les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes | X | |
| 9. Tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter" | X | |
| 10. Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels | X | |
| 11. Pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité | X | |

NEWCASTLE-OTTAWA SCALE (cohortes rétrospectives cas/témoins)

| Study | Selection | | | | Comparability | | Outcome | |
|---------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---|------------------------------|--|----------------------|
| | 1) Is the case definition adequate? | 2) Representativeness of the cases | 3) Selection of Controls | 4) Definition of Controls | 1) Comparability of cases and controls on the basis of the design or analysis | 1) Ascertainment of exposure | 2) Same method of ascertainment for cases and controls | 3) Non-Response rate |
| Hollander2020 | ★ | ★ | | | | | | ★ |
| Daoud2011 | ★ | | | ★ | ★★ | ★ | ★ | ★ |

NEWCASTLE-OTTAWA SCALE (transversales)

| Study | Selection | | | | Comparability | | Outcome | |
|--------------|---|----------------|--------------------|------------------------------|--|--------------------------|---------------------|--|
| | 1) Representativeness of the exposed cohort | 2) Sample size | 3) Non-respondents | 4) Ascertainment of exposure | 1) Comparability of cohorts on the basis of the design or analysis | 1) Assessment of outcome | 2) Statistical test | |
| Wearing2019 | ★ | ★ | ★ | ★★ | ★ | ★★ | ★ | |
| Kumala2013 | | | ★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★ | |
| Shih2013 | | | ★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★ | |
| Ribieiro2011 | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★★ | ★ | |
| Wei2019 | | | ★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★ | |
| Chen2019 | ★ | ★ | ★ | ★★ | ★ | ★★ | ★ | |

JBI cases series

| Study | Huang2019 | |
|--|-----------|-------|
| | YES | NO/UC |
| 1. Were there clear criteria for inclusion in the case series? | X | |
| 2. Was the condition measured in a standard, reliable way for all participants included in the case series? | X | |
| 3. Were valid methods used for identification of the condition for all participants included in the case series? | X | |
| 4. Did the case series have consecutive inclusion of participants? | X | |
| 5. Did the case series have complete inclusion of participants? | X | |
| 6. Was there clear reporting of the demographics of the participants in the study? | X | |
| 7. Was there clear reporting of clinical information of the participants? | | X |
| 8. Were the outcomes or follow up results of cases clearly reported? | X | |
| 9. Was there clear reporting of the presenting site(s)/clinic(s) demographic information? | | X |
| 10. Was statistical analysis appropriate? | X | |

De potentiels biais sont visibles à lecture des tableaux ci-dessus, cependant à la lecture des études nous avons repéré d'autres biais qui ne sont pas forcément mis en évidence par leur échelle respective, par conséquent nous avons regroupé tous les potentiels biais possibles dans le tableau suivant.

| | |
|---------------|---|
| Hollander2020 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : sur les contrôles, il n'y en a pas car c'est une étude observationnelle qui ne préjuge pas d'un meilleur pattern de pose de pied ; les coureurs sont sélectionnés sur un fait commun : la blessure et une fois inclus on fait leur analyse afin de les classer. Les auteurs dans l'idéal auraient dû recruter 550 coureurs ne présentant pas les pathologies étudiées et explorer leur pattern de course. Cela signifie que les facteurs de risques identifiés ne peuvent être interprétés comme étant seulement associés à une localisation de blessure donnée par rapport à d'autres localisations du fait de l'absence de témoins stricts, en revanche elle nous permet de présumer de la supériorité ou non d'un schéma de pose du pied - Biais de comparaison : même justification que précédemment - Biais d'exposition : de par l'absence de cas de contrôle, il n'y a aucune mise en aveugle sur le recueil des données |
| Daoud2011 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : on a 52 athlètes, haut niveau, haute intensité (compétition) donc pas représentatifs des coureurs lambda - Biais potentiel d'information : chaque athlète devait rentrer ses données informatiquement (distance parcourue, temps effectué, rythme moyen...) et étaient tenus de déclarer toute blessures (mais diagnostiquées par une équipe de médecins et kinésithérapeutes) |
| Deng2020 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : RFS habituels - Biais de répartition : la répartition n'a pas respecté une assignation secrète - Biais d'évaluation : tous les sujets, les thérapeutes et les examinateurs n'étaient pas en aveugle |
| Wearing2019 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : coureurs volontaires - Biais d'évaluation : étude faite sur un tapis roulant* et pieds nus, pouvant favoriser une course plus antérieure |
| Chen2019 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : coureurs volontaires - Biais d'évaluation : étude faite sur tapis roulant* |
| Ribeiro2011 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : coureurs volontaires et habituels RFS - Biais de diagnostic : détermination de l'exposition se fait par le biais d'images échographique évaluateur dépendant |
| Wei2019 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : groupe sélectionné d'utilisateurs exclusivement masculins - Biais d'évaluation : étude faite sur tapis roulant* |
| Shih2013 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : très faible nombre de participants dont la taille de l'échantillon n'a pas été justifiée et sans description précise des sujets qui sont exclusivement masculins habituels RFS - Biais d'évaluation : étude faite sur tapis roulant* |
| Kumala2013 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : on partait de 286 coureurs pour finir à 19 coureurs, exclusivement femmes avec une pose de pied FFS acceptable sans justification de la taille de l'échantillon final et on y a jumelé 19 autres femmes RFS - Biais d'évaluation : étude faite sur tapis roulant* |
| Huang2019 | <ul style="list-style-type: none"> - Biais de sélection : les informations cliniques des participants ne sont pas toutes clairement exposées et les participants sont des coureurs exclusivement masculins - Biais d'évaluation : étude faite sur tapis roulant* |

Les biais soulignés sont eux qui ont été rajoutés indépendamment de leur échelle respective.

* Les tapis roulants de course sont connus pour imposer des contraintes spatiales et temporelles à la marche. Cependant, des études ont montré des différences négligeables dans l'activité musculaire et le comportement du muscle triceps sural entre le tapis roulant et la marche sur le sol (Cronin et al. 2013 [56]).

3.3 Effet de l'intervention

Nous rappelons que notre objectif est de rechercher l'influence d'une pose de pied lors de la course sur la partie basse du membre inférieur à savoir tout ce qui touche au système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire. Notre critère de jugement principal comprend donc :

- L'apparition de modifications musculo-squelettiques au niveau du triceps sural
- L'apparition d'une tendinopathie d'Achille
- L'apparition d'une fasciite plantaire

De plus, comme expliqué dans la partie 2.1.4 nous définissons aussi d'autres critères de jugements secondaires tels que l'apparition de pathologies fémoro-patellaires, de fracture de stress tibiale, du syndrome du coussinet et de métatarsalgies/fractures de stress du métatarse.

Il est alors important d'attester que sur les 10 études prises en compte pour cette revue de littérature :

- 3 études parlent de pathologies et de blessures sur tout le membre inférieur
- 4 études se focalisent sur la cheville, en particulier ciblées sur le tendon d'Achille pour 2 d'entre elles
- 4 études abordent le pied, dont 2 sont ciblées sur les fasciites plantaires
- 3 études abordent le genou

(Une étude rassemble le genou et la cheville et 2 autres regroupent le genou, la cheville et le pied).

4 Discussion

4.1 Analyse des résultats et qualité des preuves

Cette revue systématique visait à faire un état des lieux des connaissances scientifiques actuelles sur l'influence de la pose du pied au sol concernant le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire, à savoir nous sommes intéressés aux modifications musculo-squelettiques du triceps sural, à l'apparition de tendinites d'Achille, d'inflammation plantaires, de fractures de stress ainsi que la contrainte auxquelles ces dernières articulations étaient soumises.

Tout d'abord, d'une façon générale l'ensemble des introductions de nos études s'entendent pour appuyer nos dires dans la première partie de cette revue que la course à pied est une pratique qui recense de nombreuses blessures chaque année. Ces dernières concernent surtout le membre inférieur et particulièrement la moitié distale à savoir du genou au pied.

Avant de discuter des résultats de nos études, nous allons porter attention aux populations de ces études afin de nous permettre de déterminer une plausible comparabilité d'une population à une autre.

4.1.1 Population

Les pathologies de la course à pied concernent au premier abord aussi bien les hommes que les femmes, le sexe n'est donc pas un facteur de risque déterminant, en effet, la plupart de nos études sont mixtes. Cependant certaines de nos études ont décidé de ne conserver qu'un seul sexe afin d'éviter les biais liés aux différences quant à la mécanique de course entre les hommes et les femmes. En effet, *wei2019*, *Shih2013* et *huang2019* n'ont conservé que des participants masculins et *kumala2013* seules des participantes féminines.

Dans la présentation des populations, outre le genre qui est mentionné, chacune des études mentionnent l'âge des participants, nos 11 études confondues rassemblent des coureurs allant de 13,6 ans à 55 ans. Il paraît intéressant de préciser qu'en regard de la biomécanique, l'âge peut s'avérer déterminant notamment vis-à-vis des modifications osseuses, anatomiques et musculaires liées à la croissance et à la vieillesse physiologique.

Afin d'avoir une vue d'ensemble des populations nous avons mis en avant les données anthropométriques données de chaque étude à travers le tableau suivant :

| | |
|----------------------|---|
| <i>Hollander2020</i> | Age et BMI (IMC) et coureurs RFS et FFS |
| <i>Daoud2011</i> | Age, BMI (IMC), kilométrage hebdomadaire et coureurs RFS et FFS |
| <i>Deng2020</i> | Age, BMI (IMC), kilométrage hebdomadaire et RFS habituelle |
| <i>Wearing2019</i> | Age, BMI (IMC), kilométrage hebdomadaire et coureurs RFS et FFS |
| <i>Chen2019</i> | Age et kilométrage hebdomadaire et coureurs RFS et FFS |
| <i>Ribeiro2011</i> | Age et kilométrage hebdomadaire et RFS habituelle |
| <i>Wei2019</i> | Age, BMI (IMC) et kilométrage hebdomadaire, coureurs RFS et FFS |
| <i>Shih2013</i> | Age et BMI (IMC) et RFS habituelle |
| <i>Kumala2013</i> | Age et BMI (IMC) et coureurs RFS et FFS |
| <i>Huang2019</i> | Age, BMI (IMC), kilométrage hebdomadaire et coureurs RFS et FFS |

Ce tableau nous renseigne sur les éléments donnés dans les études afin de les analyser pour être en mesure de vérifier leur comparabilité. A première vue, nous constatons des données anthropométriques similaires mais une grande hétérogénéité quant à la valeur de ces données, en effet les études regroupent des coureurs étalés sur une grande moyenne d'âge, un nombre

kilométrique hebdomadaire très variable et certaines études n'ont choisi de partir qu'avec des coureurs RFS habituelle.

Afin de minimiser le risque de biais de comparabilité, il nous semble important d'être le plus exhaustif possible et de prendre en compte toutes les données pouvant influencer la survenue des critères de jugement.

En effet, il est nécessaire de prendre en compte l'expérience du coureur, sa fréquence de course, son volume d'entraînement afin d'identifier à quel type de coureur nous avons à faire et ainsi de déceler la présence d'un contexte favorable ou pas à une surcharge mécanique.

De plus, il est important de préciser que du fait que nos études n'aient pas le même schéma d'analyse, nous devons donc prendre en compte les limites de transposition des résultats.

En effet, les études de cohortes *hollander2020* et *daoud2011* ont suivi des coureurs sur une longue durée ayant couru avec leur pattern de course naturel qu'ils ont ensuite déterminé par analyse.

Pour *deng2020* (ECR) nous avons une population ayant une RFS habituelle à qui il est imposé au hasard pendant 12 semaines des conditions de course à pied, nous avons donc une modification du pattern de course de certains coureurs sur du moyen terme.

D'autres études telles que *wearing2019*, *chen2019*, *wei2019* et *kumala2013* (transversales) ont choisi de prendre des RFS et FFS naturels ou seulement des RFS naturels (*Ribeiro2011*) et d'observer à un instant t certaines caractéristiques.

Quant à *huang2019* et *shih2013* (transversales) nous avons des coureurs RFS et FFS naturels à qui les conditions de pose d'appui sont modifiées et imposées à un instant t.

Nous nous doutons donc bien que les résultats d'une étude qui a observé des coureurs avec leur pattern naturel ou alors imposé pendant plusieurs semaines (cohortes et ERC) n'a pas la même fiabilité que des études qui ont observé des résultats à un instant t après modification des paramètres de course à pied (1 séries de cas et 1 transversale).

Nous pouvons considérer comme intermédiaire de fiabilité les 5 transversales restantes qui n'ont pas modifié les paramètres de courses et qui observent à un instant t des résultats.

4.1.2 Les pathologies identifiées

Parmi les dix études incluses nous allons retenir les pathologies suivantes :

- Fracture de stress tibiale
- Contractures du triceps sural
- Tendinopathie d'Achille
- Fasciite plantaire
- Fracture de stress du métatarse

Les blessures du genou sont peu détaillées dans nos études, on parlera surtout de la charge globale à laquelle l'articulation est soumise dans les différents patterns pouvant ainsi préjuger du risque de blessures.

Tout d'abord, par le biais de nos études de cohortes rétrospectives nous allons faire un état des lieux afin de constater à travers les chiffres la répartition et/ou la prédominance de blessures chez certains patterns de courses.

Daoud2011 est une étude portant sur 55 athlètes d'une équipe sportives nous permet d'établir un premier constat sur la pratique régulière et intense de course à pied.

En effet, les femmes ont couru en moyenne 40 miles/week et les hommes ont couru en moyenne 45 miles/week. Au cours de la saison sportive étudiée, un total de 181 blessures répétitives a été enregistrées, dont 46 (25%) étaient légères, 72 (40%) étaient modérées et 63 (35%) étaient graves. Il y a eu 67 lésions traumatiques, dont 36 (54%) étaient légères, 22 (33%) modérées et 9 (13%) graves.

Le pourcentage de blessés (à l'exclusion des blessures légères) était de 74% (femmes = 79%, hommes = 68%), mais si l'on inclut les blessures légères, 84% des coureurs ont subi une blessure répétitive (femmes = 88 %, hommes = 79%). Bien que le taux global de blessures soit plus élevé chez les femmes, le schéma général de la gravité des blessures ne diffère pas entre les sexes.

En ce qui concerne la nature des blessures recensées : les plus courantes sont les affections musculaires (21,5% de toutes les blessures), puis le syndrome de stress du tibia médial (13,8%), les douleurs au genou (7,7%), le syndrome de la bandelette ilio-tibiale (7,2%) et enfin les tendinopathies d'Achille (6,6%).

TABLE 2. Weighted injury rates (per 10,000 miles) of repetitive, traumatic, predicted FFS, and predicted RFS injuries.

| | Female (n = 23) | | | Male (n = 29) | | | All (n = 52) | | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------|
| | FFS (n = 5) | RFS (n = 18) | P | FFS (n = 11) | RFS (n = 18) | P | FFS (n = 16) | RFS (n = 36) | P |
| Repetitive injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 2.06 ± 2.07 | 3.94 ± 0.78 | 0.40 | 1.01 ± 0.65 | 2.27 ± 0.74 | 0.20 | 1.25 ± 0.67 | 3.19 ± 0.55 | 0.025 |
| Moderate | 1.37 ± 1.12 | 5.91 ± 1.25 | 0.007 | 2.23 ± 0.81 | 3.78 ± 1.07 | 0.25 | 2.03 ± 0.66 | 4.96 ± 0.84 | 0.006 |
| Severe | 6.18 ± 3.23 | 3.94 ± 1.04 | 0.51 | 2.02 ± 0.79 | 3.40 ± 0.71 | 0.19 | 2.97 ± 1.01 | 3.70 ± 0.64 | 0.54 |
| Moderate and severe | 7.83 ± 3.41 | 9.81 ± 1.62 | 0.60 | 4.25 ± 1.45 | 7.18 ± 1.17 | 0.12 | 5.00 ± 1.43 | 8.66 ± 1.02 | 0.037 |
| Traumatic injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 1.37 ± 2.32 | 2.27 ± 1.01 | 0.72 | 0.61 ± 0.33 | 3.02 ± 1.34 | 0.08 | 0.78 ± 0.56 | 2.61 ± 0.81 | 0.06 |
| Moderate | 2.75 ± 0.87 | 1.21 ± 0.82 | 0.20 | 0.81 ± 0.28 | 1.13 ± 0.85 | 0.72 | 1.25 ± 0.35 | 1.18 ± 0.58 | 0.91 |
| Severe | 0.69 ± 0.47 | 0.30 ± 0.17 | 0.44 | 0.20 ± 0.19 | 0.94 ± 0.39 | 0.09 | 0.31 ± 0.18 | 0.59 ± 0.21 | 0.32 |
| Moderate and severe | 3.43 ± 1.11 | 1.52 ± 0.81 | 0.16 | 1.01 ± 0.29 | 2.08 ± 0.86 | 0.24 | 1.56 ± 0.42 | 1.77 ± 0.58 | 0.78 |
| FFS injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 0.69 ± 0.47 | 0.61 ± 0.25 | 0.88 | 0.40 ± 0.26 | 0.19 ± 0.14 | 0.47 | 0.47 ± 0.22 | 0.42 ± 0.15 | 0.86 |
| Moderate | 0.69 ± 0.47 | 0.45 ± 0.29 | 0.67 | 1.01 ± 0.50 | 0.94 ± 0.45 | 0.92 | 0.94 ± 0.39 | 0.67 ± 0.26 | 0.57 |
| Severe | 2.06 ± 1.58 | 1.06 ± 0.56 | 0.55 | 0.61 ± 0.32 | 0.38 ± 0.23 | 0.56 | 0.94 ± 0.44 | 0.76 ± 0.32 | 0.74 |
| Moderate and severe | 2.75 ± 1.34 | 1.52 ± 0.59 | 0.40 | 1.62 ± 0.76 | 1.32 ± 0.58 | 0.76 | 1.88 ± 0.65 | 1.43 ± 0.41 | 0.56 |
| RFS injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 0 ± 0 | 2.27 ± 0.62 | 0.0002 | 0.61 ± 0.51 | 1.51 ± 0.61 | 0.26 | 0.47 ± 0.39 | 1.93 ± 0.44 | 0.012 |
| Moderate | 0.69 ± 1.16 | 4.55 ± 1.07 | 0.015 | 0.81 ± 0.47 | 1.89 ± 0.67 | 0.19 | 0.78 ± 0.43 | 3.36 ± 0.68 | 0.001 |
| Severe | 2.75 ± 2.97 | 2.27 ± 0.83 | 0.88 | 1.01 ± 0.46 | 2.65 ± 0.66 | 0.042 | 1.41 ± 0.75 | 2.44 ± 0.53 | 0.26 |
| Moderate and severe | 3.43 ± 3.87 | 6.82 ± 1.35 | 0.41 | 1.82 ± 0.73 | 4.53 ± 0.86 | 0.016 | 2.19 ± 1.00 | 5.80 ± 0.84 | 0.006 |

Values are mean ± SEM.

Bold numbers are significant at $P < 0.05$.

[Annexe 19] : Taux de blessures répétitives, traumatiques et prédictives pour les FFS et RFS

Ce tableau récapitulatif nous permet de visualiser que pour l'ensemble de l'échantillon, les taux de blessures liées aux contraintes **répétitives légères et modérées** (mais non graves) sont **2,5 fois plus élevées** chez les coureurs **RFS** que chez les FFS ($p < 0,05$). De plus, le taux de blessures **répétitives modérées et graves combinées** est **1,7 fois plus fréquent** chez les coureurs **RFS** (8,66 blessures/10 000 miles) que chez les FFS (5 blessures/10 000 miles ; $p = 0,04$). En revanche, les taux de blessures traumatiques ne diffèrent pas de manière significative entre les coureurs RFS et FFS (blessures modérées et graves combinées, $p = 0,78$).

Une comparaison importante à faire est celle des blessures prédictives des patterns FFS et RFS, en effet, les **taux de blessures** chez les coureurs **RFS** sont constamment et significativement plus élevés que chez les FFS et ce avec une fréquence globale de blessures **modérées et graves combinées** de **2,7 fois plus élevée** chez les coureurs RFS (5,80 blessures pour 10 000 miles contre 2,19 blessures pour 10 000 miles chez le FFS) avec une différence hautement significative ($p = 0,0058$).

Enfin, d'après l'étude environ **75 %** des sujets tous confondus, ont subi **au moins une lésion modérée ou grave** due au stress répétitif par an. Ce taux élevé de blessures reflète probablement la nature intense et compétitive de la population étudiée par rapport à la plupart des coureurs récréatifs. En effet, ces athlètes couraient de nombreux kilomètres par semaine, s'entraînaient à des vitesses plus élevées et participaient à des courses fréquentes. Le taux élevé de blessures pourrait également s'expliquer en partie par une surveillance plus approfondie des blessures puisque les coureurs ont accès presque quotidiennement à des entraîneurs sportifs et sont tenus de signaler les blessures.

En dépit de la nature très sportive de la population étudiée ici, tant les coureurs FFS que RFS (pas de MFS retenus dans cette étude) ont été blessés à des taux élevés, mais les différences entre les deux groupes confirment l'hypothèse selon laquelle les schémas d'attaque du pied influencent les taux de blessures.

Malgré tout, les lésions dues aux contraintes répétitives les plus courantes étaient similaires à celles d'autres études chez des coureurs récréatifs lambda comme retrouvé dans l'étude *d'Hollander2020* d'après l'annexe 20.

TABLE 1. Distribution of injury locations and predominant sublocations.

| | No. Injuries/Percentage of Total |
|------------------|----------------------------------|
| Lower back | 31/5.6 |
| Hip/groin | 71/12.9 |
| Thigh | 38/6.9 |
| Posterior | 27/4.9 |
| Knee | 141/25.7 |
| Anterior | 73/13.3 |
| Lateral | 35/6.4 |
| Lower leg | 119/21.6 |
| Anterior | 64/11.6 |
| Posterior | 46/8.4 |
| Ankle | 20/3.6 |
| Achilles tendon | 45/8.2 |
| Foot/toes | 85/15.5 |

Le tableau 1 présente la répartition des blessures selon les endroits et les sublocations prédominantes dans cette étude. La plupart des blessures ont été documentées au niveau du **genou** (n=141 ; 25,7%), de la **jambe inférieure** (n=119 ; 21,6%), du **pied/des orteils** (n=85 ; 15,5%) et de la **hanche/de l'aîne** (n=71 ; 12,9%).

La partie antérieure du genou (n=73) et la partie antérieure de la jambe inférieure (n=64) étaient les plus fréquentes pour les sublocations de blessures.

[Annexe 20] : Distribution de la location des blessures

Les coureurs (à la fois entraînés et récréatifs) sont **hautement touchés par les blessures** au membre inférieur, notamment au genou, à la jambe inférieure et au pied. Un pattern de course **RFS** serait un **facteur favorable** à une **apparition plus fréquente** de blessures.

Daoud2011 nous permet de visualiser que globalement, toute blessure confondue, la course FFS démontre ici un taux de blessures nettement inférieur au **RFS**, en effet, les coureurs RFS ont un **taux global de blessures** presque **2 fois plus élevé** que celui qui court en FFS.

Nous allons donc chercher à comprendre ce qui diffère entre ces deux patterns pouvant causer une pareille différence dans ces chiffres afin de répondre à la question suivante :

Qu'est-ce qui rend la course FFS moins dangereuse que la course RFS dans les populations étudiées ?

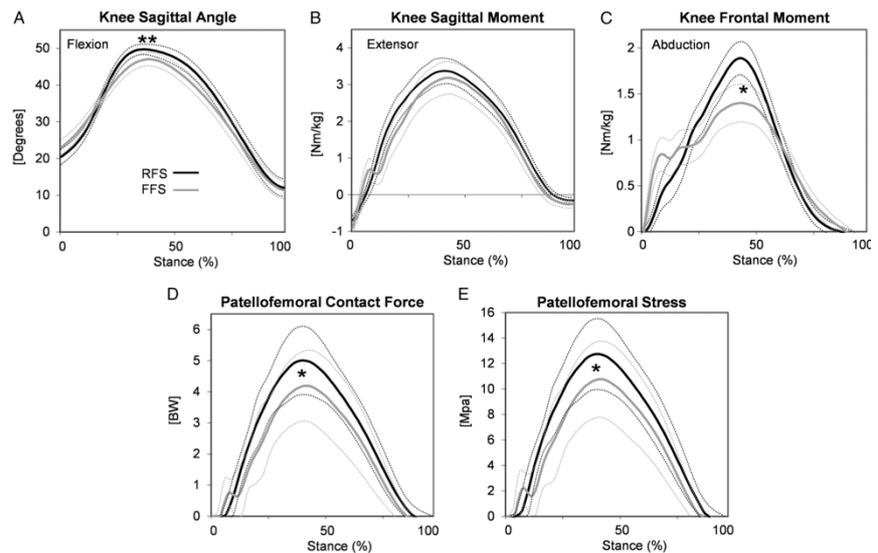
Wei2019 a étudié les charges plantaires des différents schémas d'attaque du pied à travers une étude transversale, cette étude a montré que les RFS ont des charges plantaires plus élevées en arrière et milieu du pied ; en ce qui concerne les FFS les charges sont plus importantes à l'avant du pied. En revanche, globalement, les **charges plantaires totales** sont **plus faibles** chez les coureurs habituels de la **FFS**.

Ceci est appuyé par *Kumala2013* qui nous introduit la notion de **vGRF (vertical ground reaction force)**, ce dernier a un pic **d'impact inférieur de 26 %** (p=0,001) et un **taux de charge moyen inférieur de 47 %** (p=0,001) dans le **FFS** par rapport au RFS.

L'objectif principal de l'étude actuelle était d'examiner si les coureurs **FFS** présentent une **charge plus faible sur le genou** que les coureurs avec un modèle RFS. Les coureurs **FFS** ont montré une **PFCF** (force de contact fémoro-patellaire) et une **PFS** (contrainte fémoro-patellaire) **plus faibles**.

Comme nous l'avions expliqué en introduction, au contact initial avec une RFS le genou se retrouve quasiment en extension, or, cette étude nous apporte que l'on a une amplitude de mouvement articulaire dans le genou en FFS inférieure à celle du RFS.

Cette idée est soutenue par *Arendse et al.* [26] qui ont rapporté une réduction du travail excentrique du quadriceps pendant le FFS par rapport au RFS. Bien que les chercheurs n'aient pas rapporté la PFCF ou la PFS dans leur étude, ils ont observé une amplitude de mouvement de flexion du genou plus faible pendant le FFS. Étant donné que le bras de levier du quadriceps diminue en fonction de l'augmentation de l'angle de flexion du genou [27], une plus grande force excentrique du quadriceps est donc nécessaire pour résister à la flexion du genou qui est engagé après la réception au sol lors de la course avec le modèle RFS.



[Annexe 21] : Cinématique et cinétique du genou

Ainsi un modèle **RFS** entraîne un **travail excentrique majoré du quadriceps** afin de répondre au **plus grand balayage articulaire** de flexion/extension du genou, ceci expliquant pourquoi une **PFCF** et une **PFS** plus **importantes** ont été observées chez les coureurs RFS.

Daoud2011 soutient ces éléments, en effet, elle n'affirme pas que des moments articulaires plus élevés provoquent des blessures mais les études qui ont comparé les moments articulaires chez les coureurs FFS et RFS ont généralement trouvé que les magnitudes de moment net sont plus élevées dans le genou pour les coureurs RFS confirmant que les coureurs FFS ont des moments articulaires plus faible au niveau du genou.

De plus, d'autres résultats suggèrent que le **FFS** démontre un **moment maximal d'abduction du genou** dans le plan frontal significativement **plus faible** que le RFS.

Les facteurs généralement liés à la modification de la mécanique du genou pendant la course comprennent l'alignement statique du plan frontal du genou [28], la hauteur de la voûte plantaire [29] et la force du muscle abducteur de la hanche [30]. Cependant, ces facteurs ne montrent pas différences significatives entre les groupes, ce qui suggère que la différence d'amplitude du mouvement dans le plan frontal du genou est due à une mécanique de course distincte entre les coureurs FFS et RFS.

Ce résultat peut être important d'un point de vue clinique car l'une des théories les plus largement acceptées concernant l'étiologie de la **douleur fémoro-patellaire** suggère que les symptômes sont le résultat d'un **stress excessif** de l'articulation fémoro-patellaire [31]. Or, comme l'explique *Huang2019*, les pics d'impact élevés mesurés en termes de vGRF appliquent des **forces élevées** à la partie inférieure de l'organisme, en particulier aux **tissus squelettiques**. À leur tour, les taux de charge élevés sont potentiellement dangereux pour les tissus squelettiques, pouvant entraîner des dommages structurels qui peuvent s'accumuler au fil du temps.

En conséquence, les résultats de l'étude suggèrent que les coureurs avec un schéma **FFS** présentent une **PFCF** et une **PFS** du genou plus faibles ainsi qu'un **moment du plan frontal** et surtout un **vGRF diminués** par rapport aux coureurs avec un schéma RFS. Cela pourrait permettre une **préservation des structures osseuses et articulaires**, par réduction du stress mécanique appliqué, diminuant le risque de développer des blessures au genou liées à la course.

La douleur fémoro-patellaire étant le trouble le plus courant chez les coureurs [32], la **FFS** pourrait être un **moyen potentiel** de diminuer le risque de blessure au genou en **réduisant la charge sur l'articulation fémoro-patellaire**.

Un moment plus faible dans le plan frontal du genou combiné à un temps de contact plus court en FFS peut vraisemblablement réduire l'impulsion de l'abducteur pendant un seul pas.

Cependant, nous nous devons de nuancer ce propos, en effet, bien que la charge maximale du genou par pas ait diminué pendant le FFS, la quantité de charge cumulative du genou (quantité de charge du nombre de pas) peut rester presque la même entre le FFS et le RFS parce qu'un temps de contact plus court (la comparaison spatio-temporelle a montré un temps de contact significativement plus court pour le FFS que pour le RFS ; $p=0,001$) et une tendance à une cadence plus élevée dans le FFS augmentent le nombre total de pas nécessaires pour la même distance par rapport au RFS.

La **RFS** possède un **vGRF supérieur** à celui d'une course FFS, ceci étant à l'origine de **contraintes mécaniques** plus importantes pouvant provoquer une **charge accrue** sur les **articulations** à l'origine de douleurs et/ou de blessures.
Ainsi, un **taux de charge plus faible** en réponse à l'appui est un **facteur protecteur** de **blessures articulaires** du membre inférieur.

Nous pouvons alors nous demander : *Comment expliquer ce vGRF plus important dans la course RFS ?*

D'après *Shih2013*, les coureurs ayant subi un choc à l'**avant-pied** avaient une **réduction** significative du **taux de charge**, en accord avec l'étude précédemment citée.

En effet, cette étude a choisi des RFS habituels sur un schéma transversal afin d'étudier si le pattern de course est plus important que les conditions de pieds nus ou chaussés sur la prévention des blessures en course à pied.

Nous nous rendons compte que le **taux de charge moyen** et le taux de charge **maximal** sont similaires dans les conditions de marche pieds nus et chaussés avec un FFS mais sont sensiblement **plus élevés** en cas d'attaque **talon** que l'on soit **pieds nus ou chaussés**.

De plus, lorsque les coureurs couraient pieds nus et utilisaient le schéma talon, les taux de charge étaient significativement plus élevés que ceux des coureurs chaussés avec le même schéma d'attaque. Ainsi, les membres inférieurs présenteraient des caractéristiques similaires dans le même schéma de pose du pied que ce soit avec ou sans chaussures et c'est d'autant plus vrai chez le coureur FFS, puisque les **taux de charge** avec une attaque **avant pied** n'ont **pas** montré de **différence significative** entre les conditions pieds **nus** et les conditions avec **chaussures**. D'après ces résultats, le fait de **porter des chaussures** n'est **pas forcément important** pour un **coureur FFS**.

Un élément important de la biomécanique de la course FFS est le pied était d'abord posé avec une posture de flexion plantaire, suivie d'un mouvement de dorsiflexion, qui était contrôlé par la contraction excentrique des muscles du mollet. Cette excursion de pression qui se déplace vers l'arrière était autrefois considérée comme un gaspillage d'énergie, mais il a été prouvé par la suite qu'elle permettait **d'amortir les coureurs**. A contrario, lors de la RFS, cette force qui est emmagasinée par la réception directe sur l'arrière pied va être transmise à l'articulation du genou puisqu'elle ne passe pas par un relais musculo-tendineux jouant l'amortisseur comme en FFS. C'est pourquoi, de façon spontanée, pieds nus l'Homme va s'orienter vers une attaque avant pied afin d'amortir le plus possible sa pose au sol. La course pieds nus doit être combinée avec le schéma avant-pied sinon, des blessures peuvent survenir avec le schéma d'attaque talon comme expliqué par l'étude de *Shih2013*.

De façon concomitante, l'angle du genou à l'atterrissage FFS est plus fléchi, que l'on soit pieds nus ou chaussés, cela procure un effet d'amortissement plus important et augmente la compliance des extrémités inférieures lors de la course. [7]

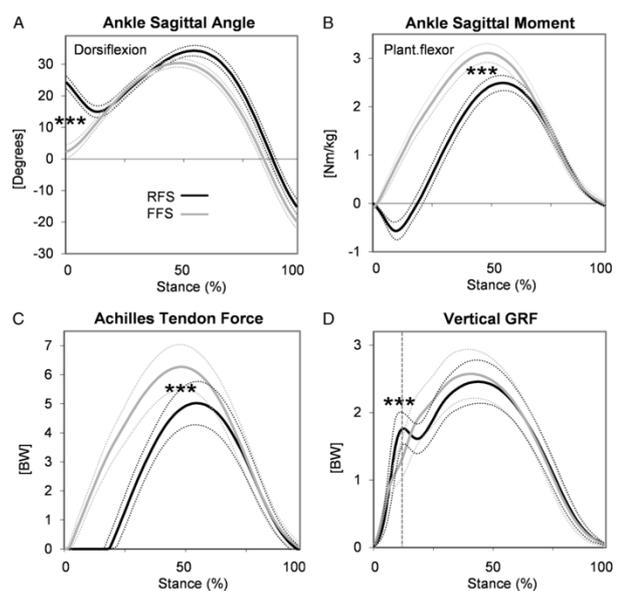
Il a été démontré que la charge d'impact plus faible du vGRF pendant le FFS est le résultat d'une **absorption d'énergie accrue de l'articulation de la cheville** pendant la première moitié de la position. [33]

A l'appui, *Kumala2013* a également évalué la cinétique de l'articulation de la cheville et les résultats de l'étude suggèrent un **moment plantaire** de la cheville et un **ATF** (Achille Tendon Force) significativement plus élevés en **FFS**.

Cette contribution plus importante de la cheville peut donc être le principal mécanisme expliquant la baisse de la PFCF et de la PFS en FFS, car le rôle de l'articulation du genou en tant qu'absorbeur d'énergie est réduit, il ne fait qu'accompagner le ressort effectué par la cheville.

En effet, *Daoud2011* nous apporte que les moments articulaires sont plus élevés dans la cheville chez les coureurs FFS que chez le coureur RFS.

En conséquence, les résultats de l'étude ont montré que les **coureurs FFS** avant avaient une **réduction significative du taux de charge global** mais avec un travail articulaire de la cheville beaucoup plus important qu'en RFS.



[Annexe 22] : Cinématique et cinétique de la cheville

Ceci étant confirmé par *Huang2019*, avec son étude portée sur l'association de différents paramètres de course pour évaluer la charge d'impact.

Parmi les nombreuses différences entre la biomécanique du FFS et du RFS, la plus importante du point de vue des blessures est la nature du pic d'impact mesuré dans le **vGRF** juste après le contact entre le pied et le sol. Tous les coureurs subissent un impact initial du pied avec le sol, mais *Daoud2011* montre que l'échange de mouvements entre le corps et le sol chez les coureurs **RFS (talon-orteils)** et **FFS (orteil-talon-orteils)** est qualitativement et quantitativement différent.

Les coureurs RFS génèrent généralement un pic court et marqué dans la vGRF immédiatement après le contact initial du pied avec le sol, mais un tel pic d'impact est absent ou à peine mesurable dans les atterrissages FFS et certains MFS.

En termes pratiques, les taux et les magnitudes de la vGRF pendant la partie initiale de la posture sont plus faibles chez les coureurs FFS (pieds nus ou chaussés) que chez les coureurs RFS chaussés. [33]

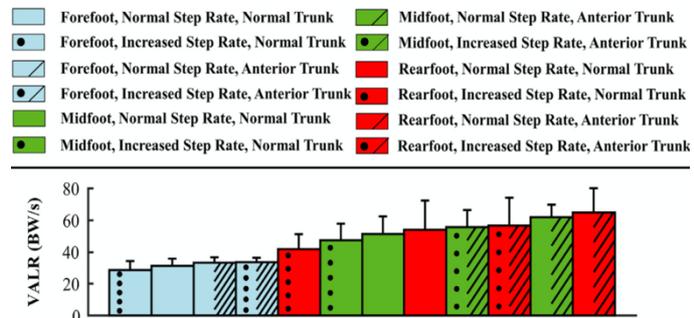
De plus, cette étude est une série de cas ayant étudié plusieurs paramètres à savoir, le schéma d'attaque, la cadence et les modifications de l'inclinaison antérieure du tronc sur la charge d'impact des coureurs.

Elle a étudié le taux de charge vertical moyen (**VALR**), il se trouve **plus élevé** chez les coureurs utilisant un pattern de course **RFS** mais également chez les coureurs ayant subi une **fracture de stress** par rapport aux témoins sains. [34] [35]

Cette étude nous montre donc que les **taux de charge élevés** sont étroitement liés au développement des **fractures de stress du tibia** et à une **pose arrière pied**.

Ainsi, une **augmentation** de ce taux de charge vertical moyen (**VALR**) et du taux de charge vertical instantané (**VILR**) pourrait être causée par une attaque du pied par le **talon** entraînant une augmentation de la rigidité verticale du corps pendant l'atterrissage, **par un manque d'effet ressort** et d'absorption d'énergie par les structures molles.

[Annexe 23] : Taux de charge d'impact (VALR) pour 12 combinaisons de marche



En conséquence, une attaque par le talon augmenterait la rigidité verticale favorisant alors le risque de blessure par réduction de l'atténuation des chocs. [36]

Ainsi, les résultats de l'étude de *Shih2013* ont montré que les coureurs FFS avant avaient une réduction significative du taux de charge et ceci est considéré comme un facteur important pour les blessures en course à pied et en particulier qu'une **attaque avant pied** serait **protectrice des atteintes osseuses** (réduction du risque de fractures de stress tibial et de douleur fémoro-patellaires), en effet que l'on augmente ou pas la cadence, on retrouve une diminution du taux de charge d'impact (et ce d'autant plus si on augmente la cadence).

En revanche, une attaque arrière pied combinée à une inclinaison antérieure du tronc a conduit aux taux de charge d'impact les plus élevés.

De plus, les modifications des schémas de pose du pied constatées dans cette étude s'alignent sur d'autres de nos études. En effet, *Huang2019* montre que la VALR a diminué lors de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied, tout comme l'ont rapporté *Kulmala2013* et *Shih2013*.

Les résultats ont également montré que **l'inclinaison antérieure du tronc augmentait les taux de charge** et augmentait la maladresse et l'effort. *Teng et Powers 2014b* [37] ont indiqué que les postures de flexion du tronc dans le plan sagittal entraînaient des contraintes et des forces de réaction plus faibles au niveau de l'articulation fémoro-patellaire mais cela demanderait une plus grande énergie de la hanche. [38] [39]

Cependant, notre étude montre que les postures d'inclinaison antérieure du tronc entraînent également des taux de charge d'impact plus élevés, ce qui peut atténuer l'amélioration de la douleur fémoro-patellaire [40]. Ainsi, les modifications de la démarche de course à pied nécessitant une augmentation de l'inclinaison antérieure du tronc devraient soigneusement prendre en compte l'effet secondaire potentiel de l'augmentation de la charge d'impact.

Il est utile de préciser qu'une limite à *Huang2019*, *Wei2019* et *Shih2013* est que seuls des participants masculins ont été testés, et étant donné qu'il existe des différences documentées entre les sexes dans la biomécanique de la marche, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour explorer les effets des modifications combinées de la marche sur les coureurs féminins. *Kumala2013* porte elle, exclusivement sur des femmes, elle ne nous permet pas de comparer.

En ce qui concerne nos études mixtes, *Hollander2020* nous apporte une information sur le **sexe féminin**, en effet, il serait un **facteur aggravant** pour les blessures de la **hanche** et de la **cuisse** et

Daoud2011 nous montre que le **taux de blessures** étaient à peine **plus élevés** chez les femmes que chez les hommes et constate qu'être un coureur RFS, être une femme et un coureur de fond (en comparaison avec le demi-fond) est contribué à des taux de blessures plus élevés.

Daoud2011 est en accord avec les études précédentes et nous délivre même des chiffres. En effet elle stipule que les douleurs du **genou** (valable aussi pour celles de la hanche et du bas du dos), les **blessures de stress au tibia** mais également à tous les os du membre inférieur à **l'exception du métatarse** sont entre **2 et 4 fois plus fréquentes chez les coureurs RFS** que chez les FFS.

Cependant, cette étude n'a pas mesuré le vGRF, et ne peut donc pas tester directement l'hypothèse selon laquelle les variations de la charge du pic d'impact sont à l'origine des différences de taux de blessures mesurées ici entre les coureurs ayant des types d'attaques FFS et RFS. Mais les **taux de blessures dues au stress répétitif** sont systématiquement et significativement **plus élevés chez les coureurs RFS** que chez les coureurs FFS et ces différences de blessures sont pertinentes pour plusieurs études récentes en plus de celles que nous étudions et qui sont en adéquation avec nos dires précédents.

En effet, elles ont trouvé que le **taux** et l'ampleur **des pics d'impact** sont des prédicteurs significatifs de nombreuses blessures dues au stress répétitif dont souffrent de nombreux coureurs, notamment la **fasciite plantaire** [41], le **syndrome de stress tibial** [42] et le **syndrome de douleur fémoro-patellaire** [43].

Par conséquent, un schéma **RFS** possède un **vGRF** (vertical ground reaction force) **supérieure** à celui du FFS et ce taux de charge croissant est expliquée par le choc direct sur l'arrière pied, absorbé par les structures osseuses supérieures notamment le genou puis secondairement la hanche, il est corrélé à une **augmentation des fractures de stress tibial** et à la **douleur fémoro-patellaire**. Le pattern **FFS** semble donc être globalement un facteur **protecteur** pour les **blessures osseuses et articulaires**.

Il se pose alors légitimement la question suivante : *Pourquoi tous les coureurs n'adoptent-ils pas une course FFS et quels seraient les effets négatifs de ce pattern ?*

Le schéma FFS paraît donc être le plus protecteur puisqu'il permettrait de réduire l'incidence d'apparition de blessures. Outre les chiffres vus précédemment, un élément important qui joue en faveur de ce pattern FFS comme expliqué par *Daoud2011* est que la plupart des coureurs **FFS**, qu'ils soient **chaussés ou non**, évitent les pics d'impact marqués en termes de vGRF. L'étude suppose ainsi qu'un style de course **FFS est plus naturel d'un point de vue évolutif**, car les coureurs pieds nus et les coureurs légèrement chaussés (chaussures minimalistes) ont tendance à utiliser des allures FFS, très probablement parce que les atterrissages RFS sont douloureux sans un talon surélevé amorti. Comme les hominiens courent pieds nus depuis des millions d'années [44], souvent sur des substrats très durs et rugueux, il est raisonnable de conclure que les styles de course FFS étaient autrefois plus courants. Le corps humain est donc peut-être moins bien adapté aux atterrissages RFS répétés qu'aux atterrissages FFS et ce malgré l'apparition du drop comme développé en introduction, rendant cependant la course RFS plus confortable, voir plus spontanée pour le coureur ce qui explique l'essor du nombre de coureur RFS dans les dernières décennies.

De plus, nous pouvons également visualiser d'après les annexes 24 et 25 que les blessures du **tendon d'Achille** sont hautement associées au **pattern MFS** ($p=0,042$) et les blessures de la **jambe postérieure** au **pattern FFS** ($p=0,04$).

TABLE 3. Results of logistic regression models for injury locations and sublocations.

| | Risk Factor | Direction of Association | Odds Ratio (90% CI) | Wald Statistic | P |
|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|----------------|--------|
| Hip | Sex | Women | 2.22 (1.43–3.45) | 8.78 | 0.003 |
| | Peak vGRF ^a | Positive | 1.14 (1.05–1.24) | 6.36 | 0.012 |
| Thigh | Sex | Women | 2.65 (1.45–4.87) | 7.02 | 0.008 |
| Lower leg | Age | Negative | 1.04 (1.03–1.06) | 18.68 | <0.001 |
| | BMI | Positive | 1.10 (1.03–1.17) | 7.47 | 0.006 |
| Achilles tendon | Age | Positive | 1.05 (1.03–1.07) | 13.30 | <0.001 |
| | Sex | Men | 1.92 (1.09–3.38) | 3.63 | 0.057 |
| | Foot strike pattern | Midfoot strikers | 2.27 (1.17–4.41) | 4.12 | 0.042 |
| Lateral knee lower leg | Age | Positive | 1.03 (1.01–1.05) | 3.67 | 0.055 |
| | Foot strike pattern | Forefoot strikers | 2.60 (1.50–4.47) | 8.26 | 0.004 |

[Annexe 24] : Facteurs de risques et associations pour les localisations des blessures

Hollander2020 nous montre grâce à ce diagramme en bâton le pourcentage que représente le pattern avant, milieu et arrière pied par rapport à la région anatomique blessée. Il faut avoir en tête que sur les 550 coureurs étudiés, la plupart des avaient un schéma l'arrière-pied (71,1 %), suivi de l'avant du pied (18,5 %) et d'une attaque milieu du pied (10,4 %).

Il en ressort donc les deux éléments précédemment cités que l'on va développer par la suite.

Tout d'abord, il a été constaté que les blessures à la sous-localisation de la partie postérieure de la jambe (principalement des **blessures au mollet**) étaient **2,6 fois plus probables** chez les coureurs blessés utilisant un **coup de pied avant** par rapport aux autres localisations de blessures.

[Annexe 25] : Schéma d'attaque du pied en fonction de la localisation de la blessure (A) et de la sous-localisation (B).

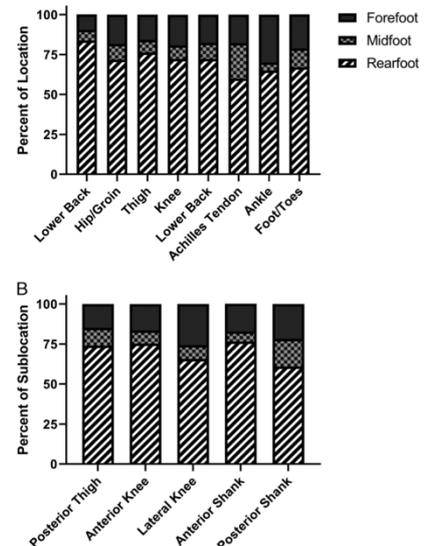


FIGURE 1—Foot strike pattern by injury location (A) and sublocation (B).

En effet, comme expliqué dans l'étude de *Shih2013*, un coup de pied avant sollicite davantage la musculature du mollet et ceci est confirmé par *Kumala2013* qui nous montre qu'au niveau de la cheville, les coureurs de l'FFS avaient **moins de dorsiflexion** (différence moyenne, 22,6°) lors du contact initial avec le sol ($p=0,001$) et à l'inverse, ils ont démontré un **moment plantaire plus élevé** de 19% ($p=0,001$).

Daoud2011 nous confirme ce qui est avancé par l'étude précédente, en effet elle nous explique qu'une **course FFS nécessite des mollets plus forts** pour assouvir la flexion plantaire requise. En effet, ceci est montré à travers l'étude de *Shih2013* qui d'après les signaux d'électromyographie, le mollet a montré une activité significativement plus élevée pour l'attaque avant pied. *Lindsey et al. 2014* [45] nous précise également que l'activité du tibial antérieur était significativement plus faible et celle du **gastrocnémien médial plus importante en FFS**. Nous pouvons donc bien mesurer une augmentation de l'activité musculaire qui représente une charge croissante sur le muscle.

Ainsi, avec une accoutumance adéquate, on pourrait s'attendre à ce que le muscle s'adapte en augmentant sa taille (et sa force) en réponse à une charge accrue sur le tissu mais lorsque les contraintes vont dépasser la capacité d'adaptation du tissu les coureurs sont d'autant plus susceptibles de **se blesser aux mollets** et surtout de souffrir **contractures** de celui-ci.

Un modèle **FFS** entraîne une plus **grande flexion plantaire** de la cheville et un travail plus important au niveau des **fléchisseurs plantaires** susceptibles d'entraîner des **blessures** du mollet plus fréquemment qu'un pattern RFS.

Comment les structures s'adaptent-elle à la charge imposée par une attaque avant-pied ?

Kumala2013 nous apporte aussi que les coureurs FFS ont un **ATF** (Achille Tendon Force) **plus élevé** de 19% ($p=0,002$) pendant la phase d'appui de la course. Lorsque l'on étudie de plus près la structure du tendon comme cela a été fait dans *Wearing2019*, nous voyons que la **rigidité du tendon d'Achille** était plus **importante** chez les coureurs habituels de **l'avant-pied** non blessés que chez les habituels de l'arrière-pied. Ils ont attribué cette amélioration des propriétés matérielles du tendon à la charge accrue induite par le mode de la pose chronique de l'avant-pied.

En effet, l'étude observe que la **vitesse de transmission** maximale des ultrasons dans le tendon d'Achille pendant les phases d'appui ($p=0,005$) et d'élan ($p=0,015$) de la marche et de la course était significativement **plus élevée** dans le groupe **FFS** que dans le groupe **RFS**.

La conception transversale de cette étude ne permet pas d'expliquer mécaniquement l'augmentation de la vitesse de transmission des ultrasons dans le tendon d'Achille pendant la marche et la course dans le groupe **FFS** mais cependant, cette observation soulève plusieurs scénarios qui méritent d'être discutés.

Tout d'abord, on pense que **le tendon s'adapte** aux charges mécaniques en **modifiant ses propriétés** structurelles et/ou matérielles. Bien que les charges de fortes amplitudes soient souvent considérées comme nuisibles à la santé du tendon d'Achille [46], il existe des preuves convaincantes que les charges de traction élevées sont également essentielles à l'homéostasie et à l'adaptation des propriétés mécaniques du tendon humain.

Il est donc tentant de spéculer qu'un modèle habituel de **FFS** peut imposer le stimulus de charge nécessaire dans le tendon d'Achille pour **augmenter sa rigidité matérielle**, ce qui entraînerait une vitesse d'ultrasons plus élevée dans le tendon pendant la marche et la course.

En effet, il est utile de préciser que la vitesse de transmission des ondes ultrasonores (V) est connue pour dépendre du module élastique instantané (rigidité du matériau, E) et de la densité (ρ) du matériau à travers lequel elle se propage, et dans le tendon, elle est régie par l'équation classique de Newton-Laplace avec un ajustement pour les effets de Poisson (ν) dans les milieux élastiques. [47]

À l'appui d'un tel concept, il existe des preuves que le tendon d'Achille est structurellement plus rigide chez les sprinters que chez les coureurs de fond pendant les contractions isométriques [48] et chez les coureurs habituellement chaussés de chaussures de course minimalistes, par opposition aux chaussures standard. Ces deux conditions impliquent des charges tendineuses élevées et favorisent un modèle **FFS**. [49]

Une telle conclusion, cependant, serait en contradiction avec une étude transversale récente de coureurs de longue distance avec différents schémas de pose du pied, dans laquelle aucune différence n'a été observée dans la rigidité du tendon d'Achille pendant les tests de force isométrique de flexion plantaire de la cheville. [50]

Néanmoins, les résultats de la présente étude démontrent **qu'un schéma FFS habituel** pendant la course entraîne une **vitesse de transmission des ultrasons plus élevée** dans le tendon d'Achille qu'un schéma **RFS** habituel. Cette constatation persiste lors de la marche, même si les deux groupes adoptent un schéma de marche talon-pointe similaire.

De façon concomitante, *Deng2020* nous illustre parfaitement une potentielle adaptation morphologique puisqu'elle nous permet de visualiser qu'après 12 semaines de port de chaussures minimalistes chez des coureurs habituels **RFS** qui vont alors adopter un pattern **FFS** (groupe **GR**) en comparaison avec un groupe similaire gardant leurs chaussures et leur coup de pied arrière (groupe **CON**) nous avons une **augmentation de 27,5% de flexion plantaire de pointe** ($p=0,05$) dans le groupe **GR** associée à une augmentation significative de la **section transversale du tendon** d'Achille en effet,

la CSA (Cross-Sectional Area) était significativement plus grande dans le groupe GR que dans le groupe CON, montrant une augmentation de 6,3% après la GR.

Nous pouvons noter qu'il y a eu aussi une augmentation de 10,4% de la flexion plantaire de pointe dans le groupe CON, après les 12 semaines d'intervention.

En parallèle, nous retrouvons ces valeurs montrant un effet significatif du temps sur la **force maximale du tendon d'Achille** ($p=0,005$), avec une **augmentation de 27,5%** dans le groupe GR et une augmentation de 10,4% dans le groupe CON.

La présente étude visant à explorer les effets le port de 12 semaines de chaussures minimalistes sur la flexion plantaire de la cheville et les propriétés morphologiques et mécaniques du tendon d'Achille nous montre que la force de celui-ci et celui du moment de flexion plantaire pendant un test MVIC (maximum voluntary isometric contraction) ont augmenté de manière significative. De plus, l'augmentation de la CSA du tendon d'Achille dans le groupe GR était plus importante que dans le groupe CON.

Ces résultats peuvent donc s'expliquer par le fait qu'une flexion plantaire plus importante est requise par les muscles du triceps sural pour empêcher l'effondrement des membres inférieurs pendant la course avec un modèle FFS. [51] En outre, une **faible force** musculaire de celui-ci est l'un des **facteurs de risque de blessures du tendon d'Achille**. [52] L'augmentation du moment de flexion plantaire constatée dans cette étude indique une **augmentation de la force des fléchisseurs** plantaires et pourrait **réduire le risque** de futures blessures de ce dernier. En parallèle, il a été rapporté que dans une fourchette raisonnable, une charge élevée peut affecter positivement les propriétés mécaniques du tendon d'Achille pour l'adaptation. [48]

Par conséquent, l'adaptation dans cette étude a été accélérée et elle apporte des preuves supplémentaires à l'idée que le passage d'une démarche RFS à une démarche FFS peut modifier les propriétés mécaniques du tendon d'Achille.

Un modèle **FFS** entraîne une flexion plantaire augmentée imposant des **modifications des propriétés au tendon d'Achille** afin d'y répondre, ceci associé à une **augmentation de la force des fléchisseurs** afin de le soutenir.

En outre, cela peut provoquer une surcharge mécanique permanente sur le tendon d'Achille jouant le rôle de ressort pour transmettre l'énergie absorbée. Nous savons, qu'après la pose du pied, les fléchisseurs plantaires réalisent une contraction excentrique suivi ensuite d'une concentrique mettant le complexe muscle/tendon en action permanente.

Nous avons donc vu que ce complexe s'adapte afin de répondre aux besoins accrus de la course FFS en flexion plantaire, en revanche lorsque la charge subie par le tissu dépasse sa capacité, une blessure pourrait alors se produire, le rendant alors plus vulnérable aux tendinopathies comme l'affirme *Kumala2013*.

En effet, des études antérieures ont démontré qu'une **contrainte** et une **déformation excessives** sont des **facteurs de risque** importants de **lésion du tendon d'Achille** [53], ce qui pourrait entraîner la dégradation du tendon et la micro rupture des fibres de collagène. Dans la présente étude de *Deng2020*, aucun changement significatif n'a été observé dans la contrainte et la déformation du tendon, ce qui suggère que la GR de 12 semaines que nous avons utilisée n'a pas entraîné de contraintes et de déformations excessives, car aucune lésion n'a été observée.

Cependant, une seconde constatation de l'étude d'*Hollander2020* est que les coureurs blessés utilisant une attaque **médio-pied** avaient environ **2 fois plus de chances** de subir une **blessure au tendon d'Achille** que les coureurs blessés utilisant une attaque avant ou arrière-pied. C'est la première fois que cette association avec la tendinopathie d'Achille est notée.

En effet, les grévistes du médio-pied ne sont pas souvent étudiés en tant que groupe et sont le plus souvent classés avec les grévistes de l'avant-pied dans la catégorie des non arrière pied comme expliqué en introduction. Cependant, des éléments récents en contraction avec ce que nous avons dit en introduction nous rapportent que les coureurs médio-pied étaient plus similaires aux percuteurs de l'arrière-pied en termes de certains paramètres de la force de réaction au sol. [54] Par définition, la cinématique du pied est différente de celle de l'arrière-pied ou de l'avant-pied, notamment lors du contact initial et cette différence dans la position d'atterrissage peut placer le tendon dans une relation longueur-tension différente, ce qui peut influencer la charge du tendon, c'est pourquoi cette étude a inclu l'attaque du médio-pied comme une entité à part.

En outre, dans l'étude de *Daoud2011*, il n'y avait pas de MFS et la tendinopathie d'Achille apparaissait dans les blessures prédictives de la course FFS. En adéquation avec les dires précédents, dans *Hollander2020*, c'est le pattern FFS qui est ensuite le plus responsable des atteintes du tendon d'Achille suivi du pattern RFS.

En complément, l'étude nous apporte que les **atteintes du tendon d'Achille** sont d'autant plus observées chez le sexe **masculin** qui courent **MFS/FFS** et ce d'autant plus que le sujet soit **âgé**. Cet élément ne peut pas être confirmé par l'étude de *Deng2020* qui présente pour limite d'avoir inclus des participants exclusivement masculins donc nous ne savons pas si les femmes présenteraient ou non les mêmes effets après 12 semaines de GR.

Ainsi, comme l'a montré *Huang2019*, bien que le **coup de pied avant** avec une modification de la cadence de pas accrue puisse **diminuer les taux de charge d'impact**, certains risques potentiels doivent être pris en compte avec une telle modification de la démarche, en effet, comme nous l'avons vu dans *Kumala2013*, nous avons une **augmentation** parallèle de la **flexion plantaire de la cheville** qui entraîne une charge accrue des fléchisseurs plantaires ce qui peut favoriser le **risque de blessures** à la **cheville** et au **pied**.

La course FFS serait **protectrice pour le genou** mais ce schéma **FFS** et **MFS** entraînent des **charges plus importantes** que le schéma RFS sur le complexe sur le complexe **tendon d'Achille/fléchisseurs plantaires**, ainsi lorsque les charges dépassent les capacités d'adaptation ces patterns sont alors à l'origine de dommages compensatoires tels que des **contractures musculaires des fléchisseurs** en particulier du triceps sural et également **de tendinopathies**, surtout d'Achille mais aussi du tibial postérieur.

L'une des grandes différences entre les patterns de course est le vGRF produit lors de l'impact avec le sol étant à l'origine d'un stress mécanique sur les os et les articulations.

Or, ce taux de charge s'applique lorsque le pied touche le sol, c'est ce dernier qui reçoit en premier lieu le choc et nous avons vu que selon les schémas de course, ce n'était pas la même zone du pied qui était concernée. Nous pouvons alors nous demander :

Quelles sont les conséquences du pattern de course sur le pied ?

Hollander2020 nous relate que les blessures du **pied et orteils** arrive à la **troisième position** des RRI (running related injuries), derrière les blessures de la jambe inférieure et du genou comme il a été précédemment cité. Dans une autre étude d'*Hollander* « *Prospective monitoring of health problems among recreational runners preparing for a half marathon* » [55] les blessures du pied et des orteils arrivent en deuxième position, cela peut être dû au schéma d'étude (prospective ou rétrospective) ainsi qu'à la population (coureurs blessés expérimentés ou novices en bonne santé). Quoi qu'il en soit,

nous pouvons constater que les blessures du pied et des orteils sont hautement représentées chez les coureurs.

Cette étude nous apporte également le fait que les coureurs RFS sont les plus largement touchés par les blessures du pied, en effet d'après le diagramme en bâton [Annexe 25] :

- 70% des atteintes du pieds et des orteils correspondent à des coureurs RFS
- 20% pour les coureurs FFS
- 10% pour les coureurs MFS

Sachant que les coureurs RFS sont représentés à 71,1% dans la population globale, les FFS à 18,5% et les MFS à 10,4% cela représente alors 49,8% de coureurs RFS ayant eu une atteinte du pied et des orteils, 3,7% de coureurs FFS et enfin, 1,04% de coureurs MFS.

Enfin en ramenant la portion de RFS à celle des FFS nous avons donc un pattern de course arrière responsable près de 2,5 fois plus d'atteintes des pieds et des orteils. Cependant, nous n'avons aucune précision sur les pathologies concernées de la zone anatomique en question.

Comme précédemment abordé, *Wei2019* nous permet de mesurer les charges plantaires auxquelles les coureurs de RFS et de non RFS sont soumis, nous avons constaté que globalement sur les charges plantaires totales celles du FFS sont plus faibles. Cependant, les charges plantaires du **RFS** sont centrées sur les régions de **l'arrière pied et du milieu du pied** à la différence de la course **FFS** qui ont des charges plantaires plus importantes localisées sur **l'avant du pied**. Or, le **CA** (contact area) du pied avec le sol est de 160,3 cm² en moyenne pour le RFS contre 132 cm² en moyenne pour un NRFS ($p < 0,01$), ceci implique donc qu'un coureur **RFS** possède une **zone plus large d'impact** et peut ainsi **mieux répartir les pressions**. En revanche, un coureur RFS a en accord avec ce qui a été évoqué plus haut, un MF (maximum force) et FTI (force time integral) supérieurs à ceux d'un NRFS (respectivement $p = 0,006$ et $p < 0,001$) soit un pattern de course RFS doit emmagasiner une plus grande pression mais ce sur une plus grande surface donnée et un FFS a moins de pression certes mais elle est concentrée sur une plus restreinte, l'avant du pied.

Daoud2011 nous apporte plus de précision sur les pathologies rencontrées à savoir que dans son étude rétrospective, la **fasciite plantaire** serait **2 à 4 fois plus fréquente** chez les coureurs **RFS** à la différence des **fractures de stress du métatarse** et des **douleurs à l'avant-pied** qui seraient dominantes chez les coureurs **FFS** de par la nécessité d'avoir des muscles intrinsèques du pied plus forts.

Cette étude est en accord avec *Lindsey et al 2014* [45] qui nous décrit le mécanisme d'absorption d'énergie à la pose du pied avec une RFS : en effet, elle implique une laxité générale de l'aponévrose plantaire et des structures environnantes du complexe pied/cheville afin d'absorber l'énergie et de transférer les forces vers les os proximaux (tels que le tibia), cela étant aidé par la contraction excentrique du tibial antérieur pour une flexion plantaire contrôlée. On retrouve un gastrocnémien médial actif en conjonction avec l'extension de l'articulation métatarsophalangienne afin d'engager le mécanisme du treuil, en mettant en tension l'aponévrose plantaire et en raidissant le complexe cheville/pied pour permettre la propulsion. En revanche, pendant la course FFS, l'absorption d'énergie se fait par le fascia plantaire et la contraction excentrique des extenseurs des articulations des membres inférieurs. Cette technique nécessite un complexe cheville/pied rigide au moment de la pose du pied ainsi que la **préservation des arches longitudinales du pied** et le maintien de la tension du fascia plantaire.

Ainsi les deux études s'accordent sur le fait que les FFS ont des taux plus élevés de fractures de stress du métatarse et des douleurs au pied. Quant aux RFS, elles relèvent plus de fasciites plantaires, ceci serait dû à l'étirement répété ainsi qu'à la réception sur la zone d'insertion de celle-ci.

A contrario, *Ribeiro2011* a choisi de porter son étude sur des coureurs habituels de l'arrière pied exclusivement et elle constate que les individus atteints de fasciite ont une **diminution** de l'amplitude

des mouvements de **dorsiflexion** associée à une **moindre flexibilité** du **triceps sural** et à une **diminution** de l'extension des **orteils**.

Tout d'abord, le fait d'aborder exclusivement des coureurs RFS nous fait penser que la fasciite plantaire touche fortement ces coureurs arrière pied. Cependant, ces constatations peuvent nous faire suggérer que nous pourrions tout à fait retrouver ses résultats chez les coureurs FFS, en effet nous sommes totalement dans le profil type du coureurs avant pied avec une majorité de flexion plantaire pouvant avoir une flexion dorsale limitée, un triceps en course interne souvent hypo extensible et des orteils recrutés très tôt comme propulseurs dans le cycle de la course à pied donc avec potentiellement une diminution de l'extension de ces derniers.

De plus, nous retrouvons ici nous retrouvons des coureurs atteints de **fasciite** avec une **voute plus creusée**, en effet, les arches plantaires étaient plus élevées chez les individus ayant une fasciite. Ceci qui nous permet de déduire que soit les coureurs atteints avaient avant la fasciite une voute plus creusée, dans ce cas le **creusement naturel** de la voute est un **facteur favorisant** l'apparition de fasciite. Ceci étant probable puisqu'une voute plus élevée conduirait à des **contraintes majorées** de l'aponévrose afin **maintenir l'architecture** de la voute (ce en position statique). Ceci pouvant provoquer des **microtraumatismes** du fascia plantaire entraînant l'apparition de fasciites. Ou alors que l'apparition de fasciite plantaire **entraîne le creusement** de l'arche longitudinal du pied contribuant à le rendre **moins souple** se traduisant alors par une dorsiflexion et une extension des orteils limitées.

Pour avoir un point de vue sur les propriétés du tissu, *Chen2019* a utilisé l'élastographie par ondes de cisaillement pour évaluer l'état du fascia plantaire chez les coureurs atteints ou pas de fasciite plantaire. Cette étude nous montre que les attaquants **FFS** présentent une **élasticité réduite du fascia plantaire** en comparaison avec les attaquants RFS, or nous savons qu'un tissu **moins élastique** est **moins résistant** à la déformation et il est donc **plus vulnérable aux blessures** notamment lorsqu'il est soumis à des tractions ou des étirements.

Nous nous retrouvons donc, un **accord global** entre les études sur le fait qu'une attaque **FFS** présente globalement moins de charges plantaires à l'exception de l'avant pied, ce qui pourrait entraîner des **fractures de stress du métatarse**, en particulier pour le deuxième et le troisième métatarse d'après *Wei2019*.

En ce qui concerne l'apparition de **fasciite plantaire**, nous nous retrouvons face à un **désaccord** avec des études comme *Daoud2011* et *Lindsey et al. 2014* [45] pour qui la **RFS** entrainerait plus de fasciites plantaires à cause de la **répétition de la pose d'appui sur la zone d'insertion** de l'aponévrose et des contraintes **d'étirements** auxquelles elle serait soumise. Pour elles, la **FFS** serait protectrice de fasciite plantaire grâce au **maintien quasi constant de la voute** longitudinal. Cependant pour *Ribeiro2011*, ce maintien occasionnerait un **stress mécanique** auquel l'aponévrose doit répondre pour maintenir la voute, amortir et transmettre l'énergie, cette **surcharge** provoquant une **modification des propriétés** du tissu, comme appuyé par *Chen2019*, le rendant moins déformable et **plus vulnérable aux blessures** lorsqu'on y applique des contraintes opposées.

En ce qu'il concerne le pattern de course **MFS** nous n'avons pas d'information sur la prévalence de la fasciite plantaire, cependant comme le pattern MFS serait l'intermédiaire du FFS et du RFS en possédant des propriétés biomécaniques à l'un et à l'autre, nous pouvons faire des suppositions.

En effet, nous pouvons extrapoler que ce pattern serait **aussi touché** par la pathologie mais potentiellement **de façon réduite** :

- Il n'a pas de chocs directs à l'insertion comme avec le RFS
- Il est soumis à des contraintes excentriques afin de lutter contre l'effondrement du pied mais de façon moindre par rapport au FFS (flexion plantaire moins importante)
- Le travail concentrique suivant permettant la propulsion est présent mais dans une course plus restreinte que le RFS, il n'y a pas d'étirement partant de la flexion dorsale

Par conséquent, nous pouvons déduire avec la littérature existante que les **fasciites plantaires** peuvent se retrouver **dans toutes les attaques** du pied et qu'un des facteurs intrinsèques pouvant avoir une influence sur leur apparition serait l'indice de voûte du pied, où une arche longitudinale plus creusée serait d'autant plus susceptible d'accroître l'apparition de fasciite.

La course **FFS** serait un facteur de risque pour les **fractures de stress du métatarse** de par l'appui répété sur la zone avant-pied.

Les **fasciites plantaires** sont largement représentées chez les coureurs et ce dans **tous les patterns de course**, chacun avec des facteurs mécaniques pouvant influencer sur l'apparition d'une inflammation du fascia plantaire.

Nous pouvons donc dire que globalement, le coureur **FFS** serait plus **protégé** des **blessures articulaires** du genou et de la hanche et des blessures **osseuses** du membre inférieur notamment des fractures de stress mais à l'exception du métatarse. En effet, la course FFS serait un facteur **favorisant** les **fractures de stress du métatarse** de par la réception répétée sur cette zone et les contraintes musculaires auxquelles les arches du pied sont soumises.

Ainsi un coureur **RFS** serait lui **protégé** des **fractures du métatarse** et des **atteintes musculotendineuse** notamment au niveau du triceps du sural, avec des contractures beaucoup plus rares et des tendinopathies des fléchisseurs plantaires, en particulier du tendon d'Achille.

Si l'on reprend notre tableau des hypothèses que nous avons fait en introduction, grâce à nos études nous pouvons le compléter et quelques peu le modifier, nous faisons **apparaitre en gras** nos résultats apportés.

| | | FFS | MFS | RFS |
|---------------|--------------------------------------|--|---|--|
| Avantages | Articulation du genou/os de la jambe | Amorti présent : préservation de l'articulation | Amorti présent : préservation de l'articulation | |
| | Triceps sural | | | Muscle moins soumis à des contraintes excentriques/concentriques |
| | Tendon d'Achille et calcanéus | Calcaneus dispensé de choc direct | Calcaneus dispensé de choc direct | Tendon d'Achilles moins sollicités dans des courses extrêmes |
| | Métatarse | | | Pas de choc direct, protection du métatarse |
| | FP | Pas de chocs répétés sur son insertion calcanéenne et pas d'étirement (pas de FD) | Pas de chocs répétés sur son insertion calcanéenne et pas d'étirement (pas de FD) | Soumise à moins de contractions excentriques |
| Inconvénients | Articulation du genou/os de la jambe | | | Faible amorti : pathologies fémoro-patellaires et fractures de stress tibiale |
| | Triceps sural | Contraintes ++ à l'origines de contractures | Moins sollicité qu'en FFS mais contractures possibles | |
| | TA et calcanéus | Tendinopathies d'Achille | Tendinopathies d'Achille | Réception du pas sur le talon |
| | Métatarse | Chocs sur les métas : Métatarsalgies et fractures de stress | Métatarsalgies et fractures de stress possibles | |
| | FP | Encaisse ++ de contraintes pour le maintien de l'arche permanent : fasciite plantaire | Maintien de l'arche afin de lutter contre l'effondrement du pied | Chocs à son insertion et travail concentrique sur une grande amplitude (FD>FP) : fasciite plantaire |

4.2 Applicabilité en pratique clinique

Il est donc légitime après tout se développement de se questionner sur le rapport bénéfices/risques de chaque pattern et de se demander :

Quel schéma de course choisir pour réduire le risque de blessure ?

Comme évoqué précédemment, *Huang2019* étudie différents paramètres pouvant influencer sur la charge d'impact, elle a trouvé que **l'association optimale** pour un **taux de charge minimale** était une attaque **FFS** liée à une **augmentation de la cadence de pas**.

Or, nous avons vu qu'une charge d'impact plus faible sur le pied, se traduisait par un stress mécanique moindre, était étroitement liée à une diminution d'apparition de blessures sur cette zone mais aussi sur les structures anatomiques ascendantes.

En parallèle de cet avantage non négligeable nous avons vu que **le pattern FFS paraîtrait le plus « naturel » pour l'Homme**, c'est lui qui serait utilisé spontanément à pieds nus.

Par conséquent, nous pourrions nous dire d'emblée que la pose FFS pourrait être l'attaque à privilégier pour diminuer le risque de blessure mais il faut prendre en compte qu'en contrepartie d'un taux de charge réduit, une FFS entraîne une flexion plantaire plus prononcée, pouvant engendrer l'apparition d'autres affections comme celles antérieurement abordées et ce notamment de la cheville.

Ainsi, si un coureur cherche à passer d'une attaque RFS à une attaque FFS, le plus grand défi à relever peut être l'augmentation de l'activité des gastrocnémiens pendant la phase d'appui.

En effet, *Shih2013* nous montre que d'après les signaux électromyographiques, l'activité des gastrocnémiens est significativement plus élevée lors de l'attaque de l'avant-pied que lors de la pose talon, tant dans la phase de pré activation que dans la phase d'appui et cette augmentation d'activité musculaire lors de la course représente une charge croissante sur celui-ci.

De ce fait, une charge d'intensité appropriée peut être bénéfique pour l'entraînement sinon une surcharge peut provoquer les blessures auparavant citées due à l'entraînement excessif de la contraction excentrique après l'atterrissage du pied.

Les coureurs habituels qui attaquent par les talons peuvent ainsi avoir besoin d'un processus pour s'adapter au modèle de coup de pied avant.

Huang2019 nous explique que l'augmentation de la cadence de pas que nous avons évoqué précédemment, permet non seulement de réduire les taux de charge mais aussi faciliterait la transition à un passage RFS puisque si l'on cherche à accélérer nous allons automatiquement basculer sur la partie antérieure du pied (à l'image du sprinter). Ceci pourrait être une solution facilitatrice afin de s'approprier et se familiariser avec une pose avant-pied plus spontanée, en revanche, il faut toujours garder à l'idée qu'une augmentation de la cadence s'accompagne d'une flexion plantaire majorée par rapport à une FFS « classique » pouvant engendrer les conséquences dont nous avons parlé.

Nous avons fait face dans les dernières décennies à une recrudescence de coureurs RFS avec l'essor de la chaussure moderne avec un « drop » favorisant l'amorti. De ce fait, avec des chaussures compensées au niveau du talon, la majorité des personnes qui poseraient habituellement sur l'avant du pied se retrouvent contraint à poser avec leur talon.

En revanche, ces dernières années avec l'apparition de la chaussure minimaliste et des débats autour d'une course pieds nus qui serait bénéfique, le passage d'un pattern RFS à un pattern FFS est courant. Un grand nombre de coureurs RFS quittent leurs chaussures amorties pour passer avec des minimalistes du jour au lendemain avec peu ou sans adaptation.

Cependant, *Daoud2011* nous explique que les coureurs qui passent au FFS sont plus susceptibles de souffrir de tendinopathies d'Achille et de contractures musculaires au mollet et que ce schéma nécessite des muscles du pied plus forts. Ainsi, bien que les forces d'impact générées soient faibles, les coureurs qui font la transition sont peut-être plus susceptibles de souffrir de douleurs à l'avant-pied ou de fractures de stress. Ils peuvent également souffrir d'une fasciite plantaire si leurs muscles du pied sont faibles.

C'est pourquoi il est important d'avoir conscience des conséquences d'un passage d'un schéma de course à un autre et d'adopter une transition progressive afin d'éviter l'apparition de blessures.

Qu'en est-il d'un passage FFS à un passage RFS ?

Avec l'appui de l'étude précédemment citée, nous pouvons penser qu'il serait bénéfique à un coureur de passer d'un pattern RFS à un pattern FFS plutôt que l'inverse. Effectivement, dans cette étude nous voyons que **l'ensemble des blessures prédites** chez les coureurs **RFS** (douleur à la hanche, au genou, au bas du dos, blessures de stress du tibia, fasciites plantaires et fractures de stress des os des membres inférieurs sauf du métatarse) étaient entre **2 et 4 fois plus fréquentes** chez les coureurs **RFS** que FFS, avec des taux significativement plus faibles de blessures légères et modérées chez les coureurs FFS ($p=0,012$; $p=0,0014$ respectivement) et un taux significativement plus faible de blessures modérées et graves chez les FFS ($p=0,0058$).

En revanche, **l'incidence des blessures prédites** comme étant plus élevées chez les coureurs **FFS** (tendinopathies d'Achille, douleurs au pied et fractures de stress métatarsiennes) **n'était pas significativement différente** entre les deux groupes.

De ce fait, nous pouvons dire à l'issue de ces résultats que les blessures que devrait potentiellement favoriser le pattern FFS par rapport au RFS, on n'aurait finalement pas plus de chance de les développer en courant en FFS. Alors que courir en RFS entraînerait les blessures prédites et en plus potentiellement celles qu'on aurait dû voir se produire avec un schéma FFS.

Cette étude a cependant des limites et nous mettons en garde contre l'extrapolation des résultats ci-dessus pour affirmer que tous les coureurs sont nécessairement moins susceptibles d'être blessés s'ils pratiquent le FFS.

D'une part, la population des sujets étudiés ici, les coureurs universitaires, ce n'est pas représentative de la plupart des coureurs amateurs ; au contraire, ils s'entraînent fréquemment à haute intensité (l'intensité de l'entraînement peut en revanche amplifier probablement les taux de blessures et donc nous être utile pour en étudier les causes). Enfin, une autre limite à prendre en compte est que les sujets étudiés ici varient peu en ce qui concerne d'autres facteurs impliqués dans les taux de blessures (l'IMC, les antécédents de blessures, l'âge et les compétences athlétiques générales).

Ensuite, il est important de prendre en compte un point, en effet, de **nombreux coureurs** qui pratiquent la **RFS en chaussures ne se blessent pas ou se blessent rarement**, même lorsqu'ils s'entraînent à haute intensité. Nous pensons que ces coureurs ont une meilleure forme que ceux qui se blessent : ils atterrissent probablement avec moins d'enjambement et des membres plus souples qui génèrent une charge d'impact moins importante et des moments articulaires « moins extrêmes ». Ils peuvent également présenter moins d'anomalies anatomiques qui les prédisposent aux blessures que les autres coureurs RFS qui se blessent.

Ces prédictions ont été confirmées par plusieurs études effectuées dans les dix dernières années. [41] [42] [43]

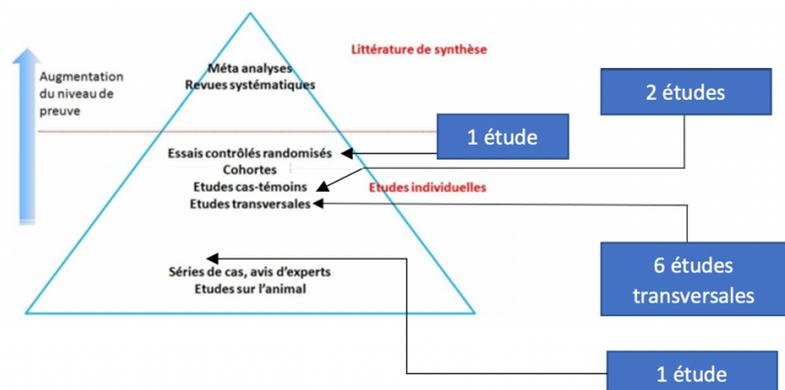
En bref, schéma FFS est plus naturel à l'origine mais avec l'arrivée des chaussures amorties de nombreux coureurs sont devenus RFS à leur insu. Ainsi :

- Si l'on est **naturellement FFS**, conserver son schéma de course et éviter un drop trop important car on le changerait pour un RFS et on pourrait augmenter notre risque de blessures. Il est par contre recommandé de courir avec des **chaussures minimalistes** qui reproduisent la course pieds nus.
 - Si l'on court **RFS**, il vaut mieux courir avec une **chaussure amortie** car une course minimaliste sur une réception talon est génératrice de blessures avec un taux de charge anormalement élevé pour le corps. Il peut être intéressant de passer à une course FFS si des blessures trop fréquentes apparaissent.
 - S'il on souhaite **passer d'un schéma RFS à un schéma FFS** cela doit se faire avec un **travail progressif** afin d'éviter l'apparition des blessures antérieurement décrites.
- ⇒ Le **meilleur pattern** peut donc être **RFS, MFS ou FFS**, c'est celui avec lequel le coureur **risque le moins de se blesser** en fonction de sa **fréquence** de course, de son **intensité**, de ses **chaussures** et surtout de ses **facteurs anatomiques** et **intrinsèques**.

4.3 Biais potentiels de la revue de littérature

Il est important de préciser que notre revue éprouve quelques difficultés, aux vues des études incluses, pour obtenir un niveau de preuve satisfaisant.

En effet, nous pouvons constater à la lecture de la pyramide [Annexe 26] que nous possédons une minorité d'études avec un niveau élevé de preuve.



[Annexe 26] : Niveau de preuve des différentes études

Effectivement, nous avons deux études cas/témoins (rétrospectives) notées 7 et 4/9 à la NOS et un ERC à 4/10. Autrement dit, nos études les plus fiables n'ont pas non plus le plus haut niveau de preuves. Ensuite, nous avons une majorité d'études transversales et un suivi de cas qui eux en revanche ont tous un score supérieur ou égal à 8/10 dans leur échelle respective mais se trouvent quasiment aux pieds de la pyramide.

De ce fait, nous nous retrouvons devant une **faible quantité d'études à haut niveau de preuve** ayant des **scores moyens** (commençant à être élevé pour le 7/10) dans leur échelle de **validité interne** associées à une **majorité d'études** ayant un score de **validité interne élevé** mais à un **faible niveau de preuve** de par le protocole de l'étude.

Nos résultats ne sont cependant pas inexploitable, en effet nous avons des études avec de nombreux participants, certaines suivant des coureurs sur un laps de temps et malgré un schéma d'étude limité en termes de niveau de preuve nous avons des protocoles validés avec des résultats pouvant être généralisés à la population concernée. En revanche pour ceux qui le sont difficilement, ils nous

permettent de nous faire une idée. Il en va ainsi de soi à adopter un point de vue critique sur nos résultats, avec une prudence dans l'interprétation de nos conclusions tirées.

Il aurait été préférable d'avoir des études à grandes échelles utilisant un modèle de cohorte prospective, elles sont nécessaires pour déterminer les véritables facteurs de risque associés au développement de blessures spécifiques diagnostiquées dans différentes populations de coureurs.

Ainsi, nous avons décidé d'évaluer la qualité méthodologique et les biais de notre revue de littérature en utilisant la grille AMSTAR suivante. [Annexe 31]

| AMSTAR – GRILLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ MÉTHODOLOGIQUE DES REVUES SYSTEMATIQUES | | |
|---|-------------------|--|
|  | | |
| Critère | Réponse | Commentaire |
| 1. Un plan de recherche établi à priori est-il fourni ? | NON | NON , un protocole est présent dans la méthode mais pas de protocole d'approbation d'un comité éthique ni d'objectifs prédéterminés avant la réalisation de la revue. |
| 2. La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes ? | NON | 1 seule personne a procédé à l'extraction des données. L'élaboration de cette revue s'inscrit dans le cadre d'un rendu individuel de fin d'études. |
| 3. La recherche documentaire était-elle exhaustive ? | OUI | Utilisation de Pubmed/Cochrane/Google Scholar/ResearchGate/Sciences Directes et de littérature grise en stratégie complémentaire stratégie complémentaire. |
| 4. La nature de la publication était-elle un critère d'inclusion ? | OUI | Critère d'éligibilité et littérature grise. |
| 5. Une liste des études incluses et exclues est-elle fournie ? | OUI | Tableau « Etudes exclues ». |
| 6. Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées ? | OUI | « Tableau des caractéristiques ». |
| 7. La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée ? | OUI | Echelle NOS, PEDRO et JBI. |
| 8. La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions ? | OUI | Précisions apportées en « Résultats » et « Discussion » sur le recul à adopter dans l'interprétation des résultats compte tenu de la qualité méthodologique. |
| 9. Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées ? | SANS OBJET | |
| 10. La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée ? | NON | Pas de diagramme de dispersion des études |
| 11. Les conflits d'intérêts ont-ils été déclarés ? | OUI | Aucun financement n'a été nécessaire. Toutes les sources consultées pour l'établissement de la revue sont disponibles dans « Bibliographie ». |
| <p>Appréciation générale : Score 7/11</p> <p>Le score fait état d'une bonne qualité méthodologique pour la revue, nous avons une majorité de oui.</p> <p>Il faut tout de même remettre en cause la qualité méthodologique de notre revue, en effet elle présente de nombreux biais qu'il faut prendre en compte sans l'interprétation finale. En effet, nous relevons quelques biais :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Seule la langue anglaise est utilisée dans nos études (incluses et exclues), cela fait entrave à l'objectif d'exhaustivité de la recherche scientifique. ▪ Limitation des recherches aux 10 dernières années. ▪ Le critère d'éligibilité des études pour cette revue est entravé : nous nous attendions à rencontrer 3 types d'études (études contrôlées randomisées, suivis de cohorte (exposés/non-exposés) et cas-témoin. Or, nous incluons une grande majorité d'études transversales accompagné de 2 études de cohortes cas/témoins, 1 ERC et 1 suivis de cas. | | |

5 Conclusion

▪ Implication pour la pratique clinique

Notre analyse étiologique centrée sur les 10 études sélectionnées ne nous a pas permis d'établir de façon tranchée LE meilleur pattern de course. Ceci à cause d'avantages et d'inconvénients que pourraient potentiellement présenter chacun des schémas de course mais qui associés à des facteurs biomécaniques, anatomiques et environnementaux du coureur font qu'ils pourront être atténués ou au contraire majorés.

De plus, nous devons aussi prendre en considération le niveau et l'intensité de pratique de la course à pied et avoir toujours en tête de trouver la cause de la blessure afin de la corriger et pas seulement de la soigner. En effet, une atteinte récurrente ou des lésions anormalement élevés doivent nous suggérer qu'un changement de schéma de course ou de chaussures peuvent être une solution et ce surtout à haut niveau mais pas seulement.

Nous pouvons ainsi retenir qu'une attaque RFS présente des taux de charges supérieurs à ceux du MFS et FFS mais lorsqu'elle est effectuée avec des chaussures amorties et que le sujet ne présente pas de souffrance articulaires et osseuse il peut conserver son schéma de course. Ensuite, une attaque FFS doit se faire de préférence avec des chaussures minimalistes pour être en accord avec la physiologie du pattern.

Enfin, si pour des raisons de blessures ou même d'envie le coureur souhaite effectuer la transition à un autre pattern cela doit se faire de façon progressive.

Un trop grand nombre de coureurs se blessent par manque de connaissance sur la façon de courir qui leur conviendrait au mieux ou par une rupture de continuité trop brutale entre deux schémas de course.

Le clinicien a donc une importance centrale dans la correction de potentielles sources de blessures et dans l'orientation du patient sur le bon chaussage en fonction de son schéma de course, voire dans l'amélioration de sa foulée ou au contraire dans l'accompagnement dans sa transition vers un autre pattern de course à pied.

▪ Implication pour la recherche

En regard de l'hétérogénéité des protocoles des études incluses ainsi que leur validité interne, de futures revues systématiques se reposant sur une plus grande qualité méthodologique devraient venir compléter nos dires ou relancer des discussions en ayant pour objectif de tendre vers une preuve scientifique majorée. En effet, nous savons que si nous voulons regrouper des résultats en provenance de différentes études, il faut réaliser un test d'homogénéité afin d'affirmer que les études sont bien combinables entre elles. En dépit de la réalisation de ce test, nous nous doutons aux vues de la diversité des critères de jugement qu'un regroupement de l'ensemble des études sélectionnées n'aurait pas abouti à une homogénéité. Ceci se justifie par le caractère large et ouvert de notre question étiologique, tant du point de vue des blessures que de la population large étudiée.

Ainsi, une recherche ciblée sur une pathologie et sur une population de coureur pourrait être justifiée et permettrait un apport d'informations afin de d'améliorer une prise en charge préventive et curative.

Ces nouvelles recherches devraient privilégier le modèle prospectif afin d'avoir un meilleur suivi des coureurs pour déterminer avec une plus grande assurance les véritables facteurs de risques en cause dans l'apparition des blessures et surtout la place qu'occupe le pattern de course dans la fréquence d'apparition de celles-ci.

Bibliographie

- [1] I. S. Davis, H. M. Rice, and S. C. Wearing, “Why forefoot striking in minimal shoes might positively change the course of running injuries,” *J. Sport Heal. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 154–161, 2017, doi: 10.1016/j.jshs.2017.03.013.
- [2] B. Dubois, “La clinique du coureur,” 2019.
- [3] K. Murphy, E. J. Curry, and E. G. Matzkin, “Barefoot running: Does it prevent injuries ?” *Sports Medicine*, vol. 43, no. 11, pp. 1131–1138, Nov. 2013, doi: 10.1007/s40279-013-0093-2.
- [4] F. Brigaud, “La course à pied : posture, biomécanique, performance.”
- [5] S. Hashizume and T. Yanagiya, “A Forefoot Strike Requires the Highest Forces Applied to the Foot Among Foot Strike Patterns,” *Sport. Med. Int. Open*, vol. 01, no. 02, pp. E37–E42, 2017, doi: 10.1055/s-0042-
- [6] J. P. Kulmala, J. Avela, K. Pasanen, and J. Parkkari, “Forefoot strikers exhibit lower running-induced knee loading than rearfoot strikers,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 45, no. 12, pp. 2306–2313, 2013, doi: 10.1249/MSS.0b013e31829efcf7.
- [7] D. E. Lieberman, “What we can learn about running from barefoot running: An evolutionary medical perspective,” *Exerc. Sport Sci. Rev.*, vol. 40, no. 2, pp. 63–72, 2012, doi: 10.1097/JES.0b013e31824ab210.
- [8] Giandolini Marlène, “Impact et contraintes musculotendineuses en course à pied : effets de la chaussure et de la technique de pose de pied,” *Kinésithérapie Sci.*, pp. 15–19, 2014.
- [9] Ryan Coffey; Yusuf S. Khan, “Gastrocnemius Rupture,” 2020.
- [10] M. DUFOUR, “Anatomie de l’appareil locomoteur,” vol. Membre inf, no. 3e édition, 2007.
- [11] K. B. Fields and M. D. Rigby, “Muscular calf injuries in runners,” *Curr. Sports Med. Rep.*, vol. 15, no. 5, pp. 320–324, 2016, doi: 10.1249/JSR.0000000000000292.
- [12] M. O’Brien, “The anatomy of the achilles tendon,” *Foot Ankle Clin.*, vol. 10, no. 2, pp. 225–238, 2005, doi: 10.1016/j.fcl.2005.01.011.
- [13] L. C. M Benjamin 1 , E J Evans, “The histology of tendon attachments to bone in man,” *J Anat*, vol. 149, pp. 89–100.
- [14] et al. Jozsa L, Kannus P, Balint JB, “Three-dimensional structure of tendons,” *Acta Anat*, vol. 142, 1991, [Online].
- [15] P. Prévost, “Le tendon à la loupe,” *Sport. Santé Préparation Phys.*, vol. 5, pp. 1–4, 2003.
- [16] N. Maffulli, U. G. Longo, A. Kadakia, and F. Spiezia, “Achilles tendinopathy,” *Foot Ankle Surg.*, vol. 26, no. 3, pp. 240–249, 2020, doi: 10.1016/j.fas.2019.03.009.
- [17] E. Galimard, “Aponévrosite plantaire moyenne d’insertion,” vol. Correspond, pp. 24–26, 2006.
- [18] S. Angin, K. J. Mickle, and C. J. Nester, “Contributions of foot muscles and plantar fascia morphology to foot posture,” *Gait Posture*, vol. 61, no. December 2017, pp. 238–242, 2018, doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.01.022.

- [19] A. Erdemir, A. J. Hamel, A. R. Fauth, S. J. Piazza, and N. A. Sharkey, "Dynamic Loading of the Plantar Aponeurosis in Walking," *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A*, vol. 86, no. 3, pp. 546–552, 2004, doi: 10.2106/00004623-200403000-00013.
- [20] A. P. Ribeiro, S. M. A. João, R. C. Dinato, V. D. Tessutti, and I. C. N. Sacco, "Dynamic patterns of forces and loading rate in runners with unilateral plantar fasciitis: A cross-sectional study," *PLoS One*, vol. 10, no. 9, pp. 1–9, 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0136971.
- [21] D. P. Perl, A. I. Daoud, and D. E. Lieberman, "Effects of footwear and strike type on running economy," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 44, no. 7, pp. 1335–1343, 2012, doi: 10.1249/MSS.0b013e318247989e.
- [22] J. P. Warne and A. H. Gruber, "Transitioning to Minimal Footwear: a Systematic Review of Methods and Future Clinical Recommendations," *Sports Medicine - Open*, vol. 3, no. 1. Springer, Dec. 01, 2017, doi: 10.1186/s40798-017-0096-x.
- [23] V. Lun, W. H. Meeuwisse, and P. Stergiou, "Relation between running injury and static lower limb alignment in recreational runners," *Br J Sport. Med*, vol. 38, pp. 576–580, 2004, doi: 10.1136/bjism.2003.005488.
- [24] T. L. W. Chen, L. K. Y. Sze, I. S. Davis, and R. T. H. Cheung, "Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume," *Clin. Biomech.*, vol. 36, pp. 8–13, 2016, doi: 10.1016/j.clinbiomech.2016.05.010.
- [25] S. A. Dugan and K. P. Bhat, "Biomechanics and analysis of running gait," *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.*, vol. 16, no. 3, pp. 603–621, 2005, doi: 10.1016/j.pmr.2005.02.007.
- [26] R. E. Arendse, T. D. Noakes, L. B. Azevedo, N. Romanov, M. P. Schweltnus, and G. Fletcher, "Reduced Eccentric Loading of the Knee with the Pose Running Method," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 36, no. 2, pp. 272–277, 2004, doi: 10.1249/01.MSS.0000113684.61351.B0.
- [27] J. J. Mason, F. Leszko, T. Johnson, and R. D. Komistek, "Patellofemoral joint forces," *J. Biomech.*, vol. 41, no. 11, pp. 2337–2348, 2008, doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.04.039.
- [28] S. K. Park and D. J. Stefanyshyn, "Greater Q angle may not be a risk factor of Patellofemoral Pain Syndrome," *Clin. Biomech.*, vol. 26, no. 4, pp. 392–396, 2011, doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.11.015.
- [29] M. K. Willims D, McClay I, "No TitleLower extremity mechanics in runners with a converted forefoot strike pattern," *J Appl Biomech.*, pp. 210–8, 2000.
- [30] J. E. Earl and A. Z. Hoch, "A proximal strengthening program improves pain, function, and biomechanics in women with patellofemoral pain syndrome," *Am. J. Sports Med.*, vol. 39, no. 1, pp. 154–163, 2011, doi: 10.1177/0363546510379967.
- [31] P. C. Heino Brechter J, "Patellofemoral stress during walk- ing in persons with and without patellofemoral pain," *Med Sci Sport. Exerc.*, pp. 1582–93, 2004
- [32] W. van Mechelen, "Running Injuries: A Review of the Epidemiological Literature," *Sport. Med. An Int. J. Appl. Med. Sci. Sport Exerc.*, vol. 14, no. 5, pp. 320–335, 1992, doi: 10.2165/00007256-199214050-00004.
- [33] D. E. Lieberman *et al.*, "Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners," *Nature*, vol. 463, no. 7280, pp. 531–535, 2010, doi: 10.1038/nature08723.
- [34] H. Van Der Worp, J. W. Vrielink, and S. W. Bredeweg, "Do runners who suffer injuries have higher vertical ground reaction forces than those who remain injury-free? A systematic review and meta-analysis," *Br. J. Sports Med.*, vol. 50, no. 8, pp. 450–457, 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-094924.

- [35] A. A. Zadpoor and A. A. Nikooyan, "The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: A systematic review," *Clin. Biomech.*, vol. 26, no. 1, pp. 23–28, 2011, doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.08.005.
- [36] Z. Y. S. Chan *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.*, vol. 46, no. 2, pp. 388–395, 2018, doi: 10.1177/0363546517736277.
- [37] P. C. . Teng H.L., "Sagittal plane trunk posture influences patellofemoral joint stress during running," *Orthop. Sport. Phys. Ther.*
- [38] H. L. Teng and C. M. Powers, "Hip-extensor strength, trunk posture, and use of the knee-extensor muscles during running," *J. Athl. Train.*, vol. 51, no. 7, pp. 519–524, 2016, doi: 10.4085/1062-6050-51.8.05.
- [39] H. L. Teng and C. M. Powers, "Influence of trunk posture on lower extremity energetics during running," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 47, no. 3, pp. 625–630, 2014, doi: 10.1249/MSS.0000000000000436.
- [40] R. T. H. Cheung and I. S. Davis, "Landing pattern modification to improve patellofemoral pain in runners: A case series," *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 41, no. 12, pp. 914–919, 2011, doi: 10.2519/jospt.2011.3771.
- [41] M.B. Pohl, H. J., and D. I.S., "Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners," *Clin. J. Sport Med.*, vol. 19, no. 5, pp. 372–376, 2009.
- [42] M. B. Pohl, D. R. Mullineaux, C. E. Milner, J. Hamill, and I. S. Davis, "Biomechanical predictors of retrospective tibial stress fractures in runners," *J. Biomech.*, vol. 41, no. 6, pp. 1160–1165, 2008, doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.02.001.
- [43] M. D. Davis IS, Bowser B, "Do impacts cause running injuries? A prospective investigation," 2010.
- [44] D. E. Lieberman and D. M. Bramble, "Endurance running and the evolution of Homo," *Nature*, vol. 432, no. November, pp. 345–352, 2004.
- [45] L. L. Landreneau, K. Watts, J. E. Heitzman, and W. L. Childers, "Lower limb muscle activity during forefoot and rearfoot strike running techniques," *Int. J. Sports Phys. Ther.*, vol. 9, no. 7, pp. 888–97, 2014.
- [46] T. Almonroeder, J. D. Willson, and T. W. Kernozek, "The effect of foot strike pattern on achilles tendon load during running," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 41, no. 8, pp. 1758–1766, 2013, doi: 10.1007/s10439-013-0819-1.
- [47] N. Vergari, C., Ravary-Plumioën, B., Evrard, D., Laugier, P., Mitton, D., Pourcelot, P., & Crevier-Denoix, "Axial speed of sound is related to tendon's nonlinear elasticity," *J. Biomech.*, vol. 45 (2), pp. 263–268, 2012.
- [48] A. Arampatzis, K. Karamanidis, and K. Albracht, "Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude," *J. Exp. Biol.*, vol. 210, no. 15, pp. 2743–2753, 2007, doi: 10.1242/jeb.003814.
- [49] K. Histen *et al.*, "Achilles tendon properties of minimalist and traditionally shod runners," *J. Sport Rehabil.*, vol. 26, no. 2, pp. 159–164, 2017, doi: 10.1123/jsr.2016-0006.
- [50] K. Kubo, D. Miyazaki, S. Tanaka, S. Shimoju, and N. Tsunoda, "Relationship between Achilles tendon properties and foot strike patterns in long-distance runners," *J. Sports Sci.*, vol. 33, no. 7, pp. 665–669, 2015, doi: 10.1080/02640414.2014.962576.

- [51] I. S. Davis, H. M. Rice, and S. C. Wearing, “Why forefoot striking in minimal shoes might positively change the course of running injuries,” *J. Sport Heal. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 154–161, 2017, doi: 10.1016/j.jshs.2017.03.013.
- [52] B. Magnan, M. Bondi, S. Pierantoni, and E. Samaila, “The pathogenesis of Achilles tendinopathy: A systematic review,” *Foot Ankle Surg.*, vol. 20, no. 3, pp. 154–159, 2014, doi: 10.1016/j.fas.2014.02.010.
- [53] R. Lyght, M.; Nockerts, M.; Kernozek, T.W.; Ragan, “Effects of foot strike and step frequency on achilles tendon stress during running.” pp. 365–372, 2016.
- [54] M. Ruder, S. T. Jamison, A. Tenforde, F. Mulloy, and I. S. Davis, “Relationship of Foot Strike Pattern and Landing Impacts during a Marathon,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 51, no. 10, pp. 2073–2079, 2019, doi: 10.1249/MSS.0000000000002032.
- [55] K. Hollander, A. Baumann, A. Zech, and E. Verhagen, “Prospective monitoring of health problems among recreational runners preparing for a half marathon,” *BMJ Open Sport Exerc. Med.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1136/bmjsem-2017-000308.
- [56] T. Cronin, N. J., & Finni, “Treadmill versus overground and barefoot versus shod comparisons of triceps surae fascicle behaviour in human walking and running,” *Gait Posture*, vol. 38(3), pp. 528–533, 2013.

Nos études finales sélectionnées

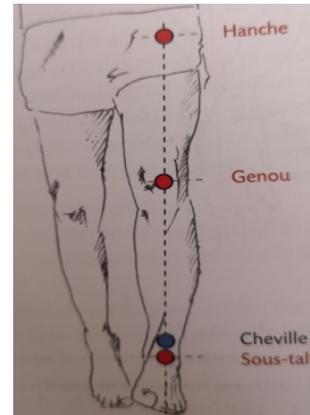
1. K. Hollander, C. D. Johnson, J. Outerleys, and I. S. Davis, “Multifactorial Determinants of Running Injury Locations in 550 Injured Recreational Runners,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 53, no. 1, pp. 102–107, 2021, doi: 10.1249/MSS.0000000000002455.
2. A. I. Daoud, G. J. Geissler, F. Wang, J. Saretsky, Y. A. Daoud, and D. E. Lieberman, “Foot strike and injury rates in endurance runners: A retrospective study,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 44, no. 7, pp. 1325–1334, 2012, doi: 10.1249/MSS.0b013e3182465115.
3. L. Deng, X. Zhang, S. Xiao, Y. Yang, L. Li, and W. Fu, “Changes in the plantar flexion torque of the ankle and in the morphological characteristics and mechanical properties of the achilles tendon after 12-week gait retraining,” *Life*, vol. 10, no. 9, pp. 1–11, 2020, doi: 10.3390/life10090159.
4. S. L. H. & T. H. Scott C. Wearing, I. S. Davis, T. Brauner, “Do habitual foot-strike patterns in running influence functional Achilles tendon properties during gait?” p. Journal of Sports Sciences, 2019, doi: 10.1080/02640414.2019.1663656.
5. T. L. W. Chen *et al.*, “Ultrasound elastographic assessment of plantar fascia in runners using rearfoot strike and forefoot strike,” *J. Biomech.*, vol. 89, pp. 65–71, 2019, doi: 10.1016/j.jbiomech.2019.04.013.
6. A. P. Ribeiro, F. Trombini-Souza, V. Tessutti, F. R. Lima, I. de C. N. Sacco, and S. M. A. João, “Rearfoot alignment and medial longitudinal arch configurations of runners with symptoms and histories of plantar fasciitis,” *Clinics*, vol. 66, no. 6, pp. 1027–1033, 2011, doi: 10.1590/S1807-59322011000600018.
7. Y. Z. and L. W. Zhen Wei, Zhiwang Zhang, Jiayi Jiang, “Comparison of plantar loads among runners with different strike patterns.” p. Journal of Sports Sciences VOL. (37) 2152-2158, 2019, doi: 10.1080/02640414.2019.1623990.
8. Y. Shih, K. L. Lin, and T. Y. Shiang, “Is the foot striking pattern more important than barefoot or shod conditions in running?,” *Gait Posture*, vol. 38, no. 3, pp. 490–494, 2013, doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.01.030.
9. J. P. Kulmala, J. Avela, K. Pasanen, and J. Parkkari, “Forefoot strikers exhibit lower running-induced knee loading than rearfoot strikers,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 45, no. 12, pp. 2306–2313, 2013, doi: 10.1249/MSS.0b013e31829efcf7.
10. Y. Huang, H. Xia, G. Chen, S. Cheng, R. T. H. Cheung, and P. B. Shull, “Foot strike pattern, step rate, and trunk posture combined gait modifications to reduce impact loading during running,” *J. Biomech.*, vol. 86, pp. 102–109, 2019, doi: 10.1016/j.jbiomech.2019.01.058.

Annexes

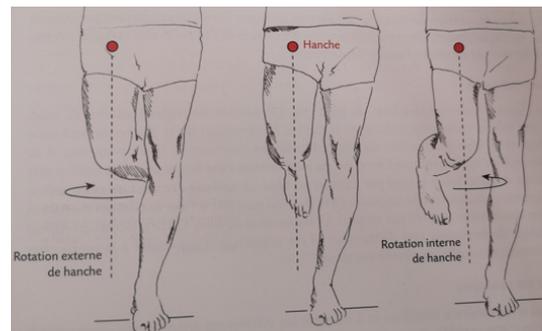
[Annexe 1] : Les positions des différents segments au cours des phases successives du cycle de course



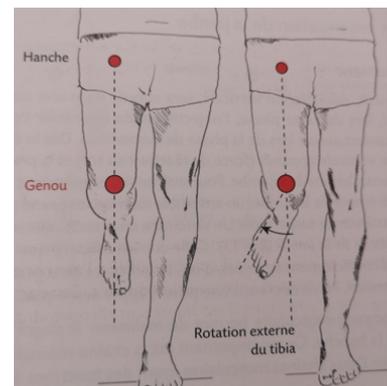
[Annexe 2] : Articulations (en rouge) agissant sur l'orientation et l'organisation des segments de la jambe durant la phase de suspension (dans le plan frontal et horizontal)



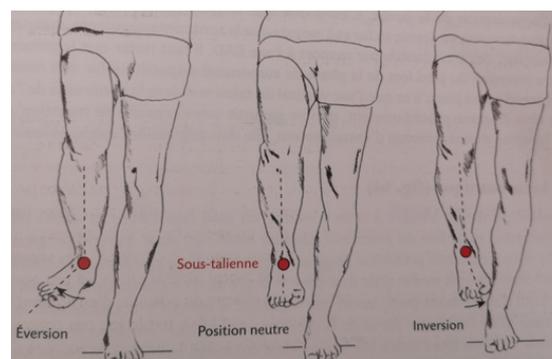
[Annexe 3] : Influence de la rotation de hanche sur le tibia et le pied



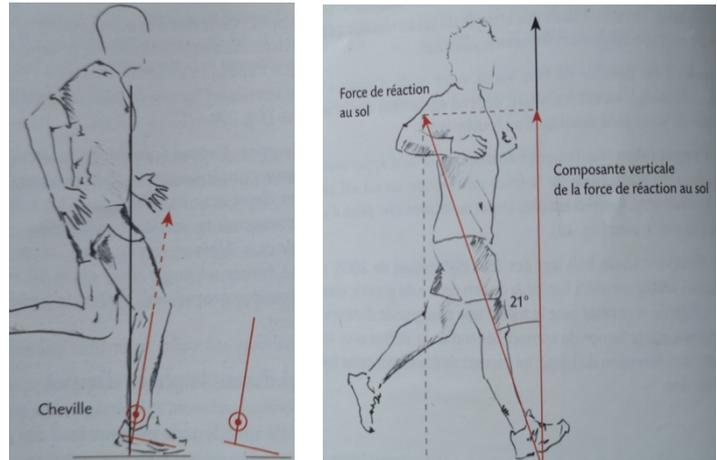
[Annexe 4] : Influence du genou sur la rotation tibiale



[Annexe 5] : Influence de la sous-talienne sur le pied



[Annexe 6] : bras de levier lors de la prise d'appui avant-pied (a) et arrière-pied (b)



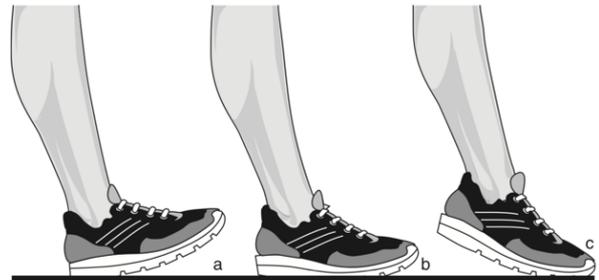
[Annexe 7] : Phase de soutien



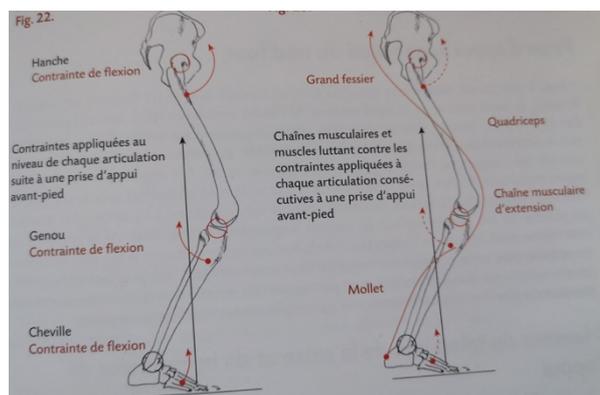
[Annexe 8] : Phase d'impulsion



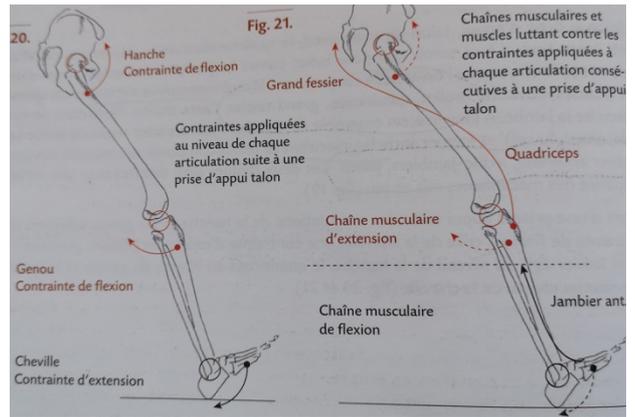
[Annexe 9] : 3 typologies de pose du pied au sol, de gauche à droite : arrière-pied (a), médio-pied (b), avant-pied (c).



[Annexe 10] : Prise d'appui avant pied, contraintes appliquées et chaînes musculaires sollicitées



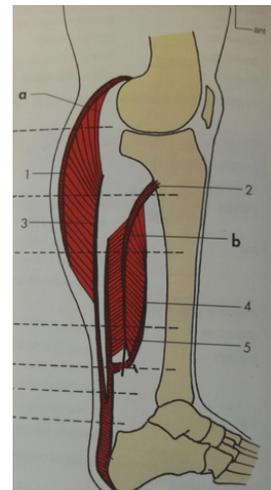
[Annexe 11] : Prise d'appui arrière pied, contraintes appliquées et chaînes musculaires sollicitées



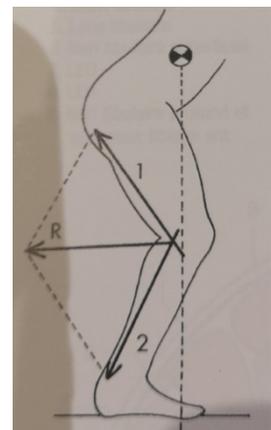
[Annexe 12] : STACP



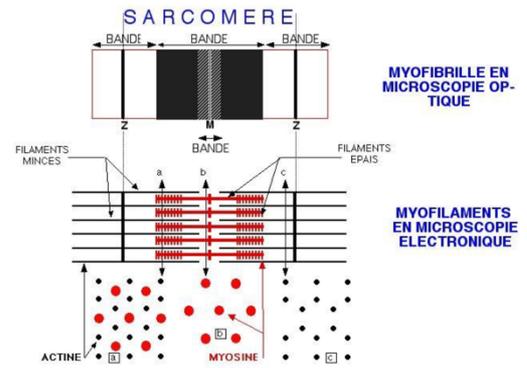
[Annexe 13] : Trajet des fibres musculaire du gastrocnémien (a) et du soléaire (b)



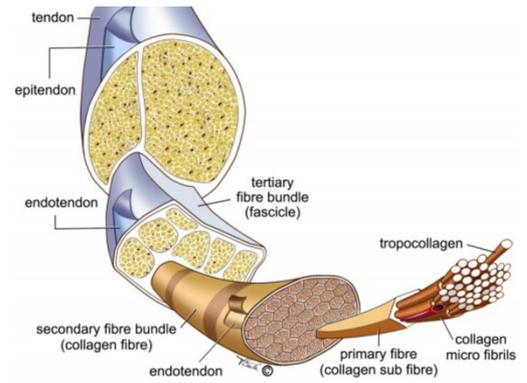
[Annexe 14] : action des ischios-jambiers (1) et des gastrocnémiens (2) en CCF



[Annexe 15] : Représentation schématique de l'unité contractile du muscle : le sarcomère

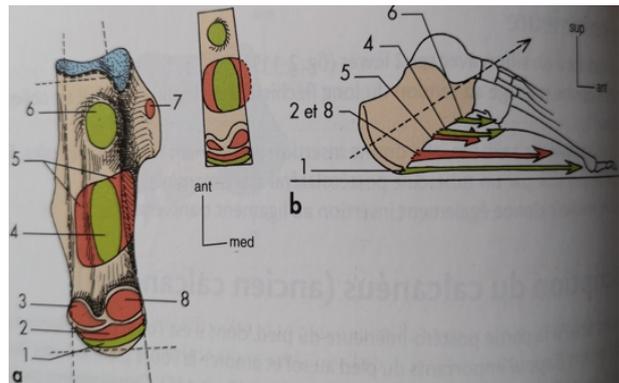


[Annexe 16] : Structure d'un tendon

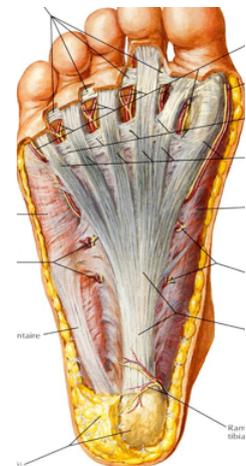


[Annexe 17] : face plantaire du calcaneus : vues inférieure (a) et latérale (b)

1. Aponévrose plantaire
2. CFO
3. ABD du V
4. Ligament plantaire long
5. Carré plantaire
6. Ligament calcanéocuboïdien plantaire
7. Expansion du TP
8. ABD du I



[Annexe 18] : aponévrose plantaire moyenne



[Annexe 19] :
Taux de
blessures
répétitives,
traumatiques
et prédictives
pour les FFS et
RFS

TABLE 2. Weighted injury rates (per 10,000 miles) of repetitive, traumatic, predicted FFS, and predicted RFS injuries.

| | Female (n = 23) | | | Male (n = 29) | | | All (n = 52) | | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------|
| | FFS (n = 5) | RFS (n = 18) | P | FFS (n = 11) | RFS (n = 18) | P | FFS (n = 16) | RFS (n = 36) | P |
| Repetitive injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 2.06 ± 2.07 | 3.94 ± 0.78 | 0.40 | 1.01 ± 0.65 | 2.27 ± 0.74 | 0.20 | 1.25 ± 0.67 | 3.19 ± 0.55 | 0.025 |
| Moderate | 1.37 ± 1.12 | 5.91 ± 1.25 | 0.007 | 2.23 ± 0.81 | 3.78 ± 1.07 | 0.25 | 2.03 ± 0.66 | 4.96 ± 0.84 | 0.006 |
| Severe | 6.18 ± 3.23 | 3.94 ± 1.04 | 0.51 | 2.02 ± 0.79 | 3.40 ± 0.71 | 0.19 | 2.97 ± 1.01 | 3.70 ± 0.64 | 0.54 |
| Moderate and severe | 7.63 ± 3.41 | 9.81 ± 1.62 | 0.60 | 4.25 ± 1.45 | 7.18 ± 1.17 | 0.12 | 5.00 ± 1.43 | 8.66 ± 1.02 | 0.037 |
| Traumatic injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 1.37 ± 2.32 | 2.27 ± 1.01 | 0.72 | 0.61 ± 0.33 | 3.02 ± 1.34 | 0.08 | 0.78 ± 0.56 | 2.61 ± 0.81 | 0.06 |
| Moderate | 2.75 ± 0.87 | 1.21 ± 0.82 | 0.20 | 0.81 ± 0.28 | 1.13 ± 0.85 | 0.72 | 1.25 ± 0.35 | 1.18 ± 0.58 | 0.91 |
| Severe | 0.69 ± 0.47 | 0.30 ± 0.17 | 0.44 | 0.20 ± 0.19 | 0.94 ± 0.39 | 0.09 | 0.31 ± 0.18 | 0.59 ± 0.21 | 0.32 |
| Moderate and severe | 3.43 ± 1.11 | 1.52 ± 0.81 | 0.16 | 1.01 ± 0.29 | 2.08 ± 0.86 | 0.24 | 1.56 ± 0.42 | 1.77 ± 0.58 | 0.78 |
| FFS injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 0.69 ± 0.47 | 0.61 ± 0.25 | 0.88 | 0.40 ± 0.26 | 0.19 ± 0.14 | 0.47 | 0.47 ± 0.22 | 0.42 ± 0.15 | 0.86 |
| Moderate | 0.69 ± 0.47 | 0.45 ± 0.29 | 0.67 | 1.01 ± 0.50 | 0.94 ± 0.45 | 0.92 | 0.94 ± 0.39 | 0.67 ± 0.26 | 0.57 |
| Severe | 2.06 ± 1.58 | 1.06 ± 0.56 | 0.55 | 0.61 ± 0.32 | 0.38 ± 0.23 | 0.56 | 0.94 ± 0.44 | 0.76 ± 0.32 | 0.74 |
| Moderate and severe | 2.75 ± 1.34 | 1.52 ± 0.59 | 0.40 | 1.62 ± 0.76 | 1.32 ± 0.58 | 0.76 | 1.88 ± 0.65 | 1.43 ± 0.41 | 0.56 |
| RFS injuries | | | | | | | | | |
| Mild | 0 ± 0 | 2.27 ± 0.62 | 0.0002 | 0.61 ± 0.51 | 1.51 ± 0.61 | 0.26 | 0.47 ± 0.39 | 1.93 ± 0.44 | 0.012 |
| Moderate | 0.69 ± 1.16 | 4.55 ± 1.07 | 0.015 | 0.81 ± 0.47 | 1.89 ± 0.67 | 0.19 | 0.78 ± 0.43 | 3.36 ± 0.68 | 0.001 |
| Severe | 2.75 ± 2.97 | 2.27 ± 0.83 | 0.88 | 1.01 ± 0.46 | 2.65 ± 0.66 | 0.042 | 1.41 ± 0.75 | 2.44 ± 0.53 | 0.26 |
| Moderate and severe | 3.43 ± 3.87 | 6.82 ± 1.35 | 0.41 | 1.82 ± 0.73 | 4.53 ± 0.86 | 0.016 | 2.19 ± 1.00 | 5.80 ± 0.84 | 0.006 |

Values are mean ± SEM.

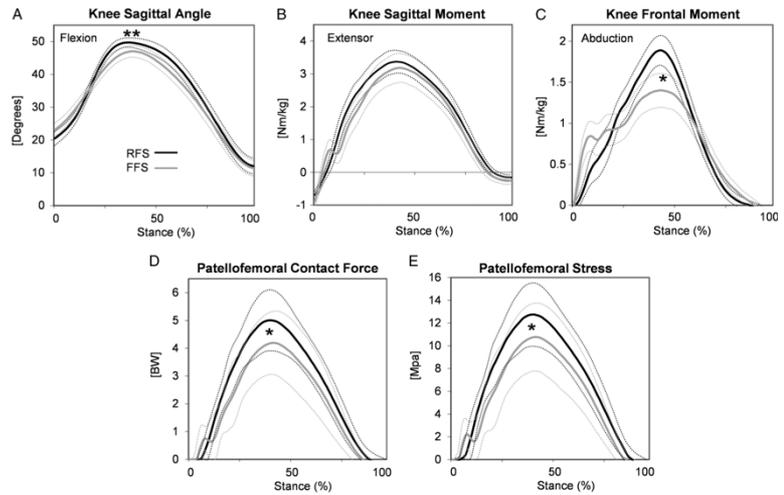
Bold numbers are significant at P < 0.05.

[Annexe 20] : Distribution de la location des blessures

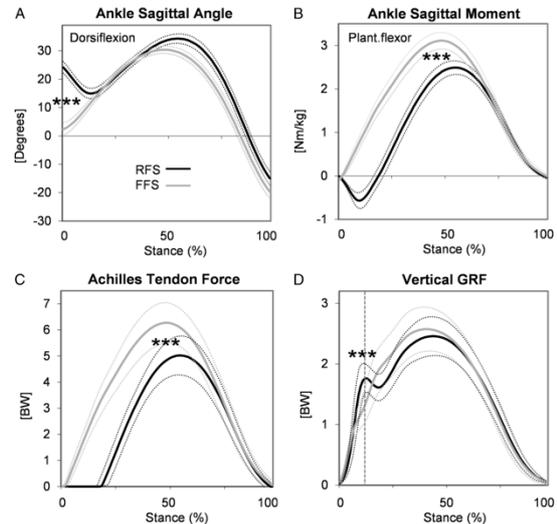
TABLE 1. Distribution of injury locations and predominant sublocations.

| | No. Injuries/Percentage of Total |
|------------------|----------------------------------|
| Lower back | 31/5.6 |
| Hip/groin | 71/12.9 |
| Thigh | 38/6.9 |
| Posterior | 27/4.9 |
| Knee | 141/25.7 |
| Anterior | 73/13.3 |
| Lateral | 35/6.4 |
| Lower leg | 119/21.6 |
| Anterior | 64/11.6 |
| Posterior | 46/8.4 |
| Ankle | 20/3.6 |
| Achilles tendon | 45/8.1 |
| Foot/toes | 85/15.5 |

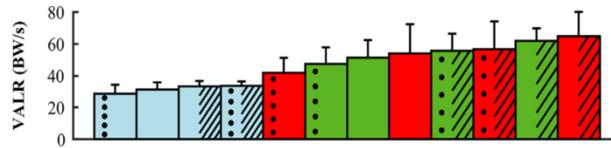
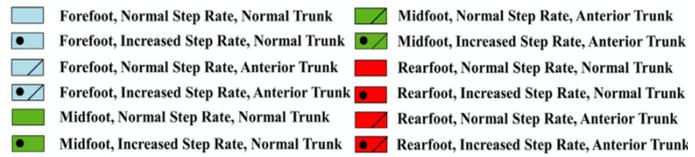
[Annexe 21] : Cinématique et cinétique du genou



[Annexe 22] : Cinématique et cinétique de la cheville



[Annexe 23] : Taux de charge d'impact (VALR) pour 12 combinaisons de marche



[Annexe 24] : Facteurs de risques et associations pour les localisations des blessures

TABLE 3. Results of logistic regression models for injury locations and sublocations.

| | Risk Factor | Direction of Association | Odds Ratio (90% CI) | Wald Statistic | P |
|-----------------|------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|--------|
| Hip | Sex | Women | 2.22 (1.43–3.45) | 8.78 | 0.003 |
| | Peak vGRF ^d | Positive | 1.14 (1.05–1.24) | 6.36 | 0.012 |
| Thigh | Sex | Women | 2.65 (1.45–4.87) | 7.02 | 0.008 |
| | Age | Negative | 1.04 (1.03–1.06) | 18.68 | <0.001 |
| Lower leg | BMI | Positive | 1.10 (1.03–1.17) | 7.47 | 0.006 |
| | Age | Positive | 1.05 (1.03–1.07) | 13.30 | <0.001 |
| Achilles tendon | Sex | Men | 1.92 (1.09–3.38) | 3.63 | 0.057 |
| | Foot strike pattern | Midfoot strikers | 2.27 (1.17–4.41) | 4.12 | 0.042 |
| Lateral knee | Age | Positive | 1.03 (1.01–1.05) | 3.67 | 0.055 |
| | Posterior lower leg | Foot strike pattern | Forefoot strikers | 2.60 (1.50–4.47) | 8.26 |

[Annexe 25] : Schéma d'attaque du pied en fonction de la localisation de la blessure (A) et de la sous-localisation (B)

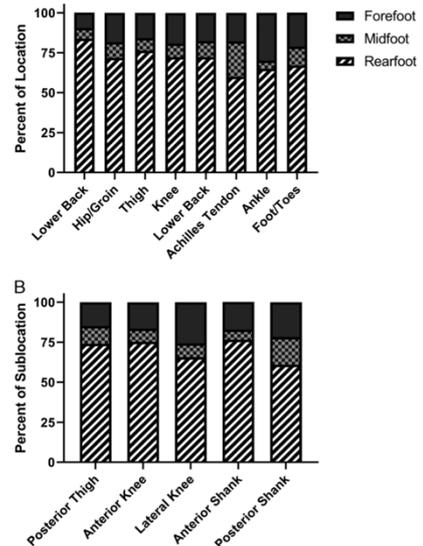
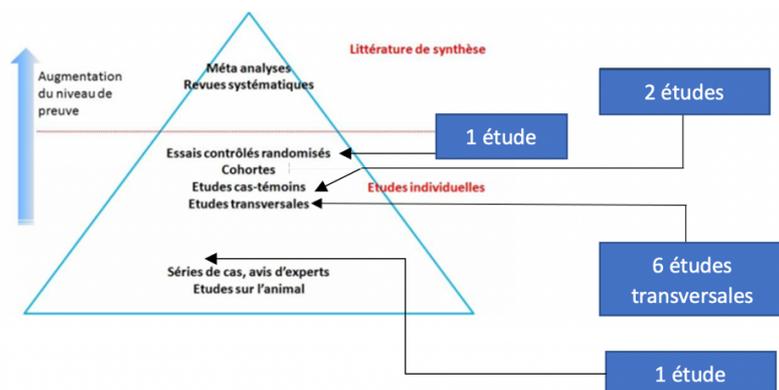


FIGURE 1—Foot strike pattern by injury location (A) and sublocation (B).

[Annexe 26] : Niveau de preuve des différentes études



[Annexe 27] : Biais des études inhérents à la NOS pour les études de cohortes cas/témoins

NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE CASE CONTROL STUDIES

Note: A study can be awarded a maximum of one star for each numbered item within the Selection and Exposure categories. A maximum of two stars can be given for Comparability.

Selection

- 1) Is the case definition adequate?
 - a) yes, with independent validation *
 - b) yes, eg record linkage or based on self reports
 - c) no description
- 2) Representativeness of the cases
 - a) consecutive or obviously representative series of cases *
 - b) potential for selection biases or not stated
- 3) Selection of Controls
 - a) community controls *
 - b) hospital controls
 - c) no description
- 4) Definition of Controls
 - a) no history of disease (endpoint) *
 - b) no description of source

Comparability

- 1) Comparability of cases and controls on the basis of the design or analysis
 - a) study controls for _____ (Select the most important factor.) *
 - b) study controls for any additional factor * (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.)

Exposure

- 1) Ascertainment of exposure
 - a) secure record (eg surgical records) *
 - b) structured interview where blind to case/control status *
 - c) interview not blinded to case/control status
 - d) written self report or medical record only
 - e) no description
- 2) Same method of ascertainment for cases and controls
 - a) yes *
 - b) no
- 3) Non-Response rate
 - a) same rate for both groups *
 - b) non respondents described
 - c) rate different and no designation

| SELECTION (4 étoiles) | |
|--|--|
| 1) Is the case definition adequate? = La définition du cas est-elle adéquate ? | Nous cherchons à connaître comment a été faite la sélection des cas, si elle a été faite de façon validée, sur une base d'auto déclaration ou même s'il n'y a aucune description de ceux-ci. |
| 2) Representativeness of the cases = Représentativité des cas | Nous voulons savoir si les cas sont représentatifs ou non de la population étudiée et si des biais sont présents ou pas dans cette sélection. |
| 3) Selection of Controls = sélection des contrôles | Absents chez Hollander2020 (il y a seulement des « cas » c'est-à-dire des blessés) et présents (coureurs non blessés) chez Daoud2011. |
| 4) Definition of controls = Définition des controles | Absents chez Hollander2020 et ce sont les coureurs non blessés chez Daoud2011. |
| COMPARABILITY (2 étoiles) | |
| Comparabilité des cas et des contrôles sur la base de la conception ou de l'analyse | |

| EXPOSURE (3 étoiles) | |
|--|--|
| 1) Ascertainment of exposure = Détermination de l'exposition | Nous cherchons à connaître par quel moyen les témoins et les cas ont-ils pu délivrer la présence de l'exposition (dossier sécurisé ; par exemple un dossier chirurgical, entretien structuré en aveugle du statut de cas/contrôle, entretien non aveuglé du statut de cas/contrôle), auto-rapport écrit ou dossier médical uniquement ou encore pas de description). |
| 2) Same method of ascertainment for cases and controls = Même méthode de constatation pour les cas et les témoins | Pas présent chez Hollander2020 mais OK chez Daoud2011. |
| 3) Non-Response rate = taux de non réponses | Nous voulons vérifier si le taux de non réponse est le même dans les deux groupes, chez Hollander2020 impossible de savoir comme nous avons un seul groupe en revanche nous avons le détail sur le suivi des patients. Chez Daoud2011 nous partons d'un seul groupe de coureurs qui va être divisé en deux groupes, tous les sujets inclus ont répondu. |

[Annexe 28] : Biais des études inhérents à la NOS pour les études transversales et ses précisions

PA Modesti et al.
Panethnic differences in blood pressure in europe: a systematic review and meta-analysis.
S1 Text

S1 Text NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE (adapted for cross sectional studies)

Selection: (Maximum 5 stars)

- 1) Representativeness of the sample:
 - a) Truly representative of the average in the target population. * (all subjects or random sampling)
 - b) Somewhat representative of the average in the target population. * (non-random sampling)
 - c) Selected group of users.
 - d) No description of the sampling strategy.
- 2) Sample size:
 - a) Justified and satisfactory. *
 - b) Not justified.
- 3) Non-respondents:
 - a) Comparability between respondents and non-respondents characteristics is established, and the response rate is satisfactory. *
 - b) The response rate is unsatisfactory, or the comparability between respondents and non-respondents is unsatisfactory.
 - c) No description of the response rate or the characteristics of the responders and the non-responders.
- 4) Ascertainment of the exposure (risk factor):
 - a) Validated measurement tool. **
 - b) Non-validated measurement tool, but the tool is available or described.*
 - c) No description of the measurement tool.

Comparability: (Maximum 2 stars)

- 1) The subjects in different outcome groups are comparable, based on the study design or analysis. Confounding factors are controlled.
 - a) The study controls for the most important factor (select one). *
 - b) The study control for any additional factor. *

Outcome: (Maximum 3 stars)

- 1) Assessment of the outcome:
 - a) Independent blind assessment. **
 - b) Record linkage. **
 - c) Self report. *
 - d) No description.
- 2) Statistical test:
 - a) The statistical test used to analyze the data is clearly described and appropriate, and the measurement of the association is presented, including confidence intervals and the probability level (p value). *
 - b) The statistical test is not appropriate, not described or incomplete.

| <i>SELECTION (5 étoiles)</i> | |
|---|---|
| 1) Representativeness of the exposed cohort = Représentativité de la cohorte exposée | Nous cherchons à savoir si la cohorte exposée est représentative de la population étudiée |
| 2) Sample size = taille de l'échantillon | Nous cherchons à savoir si la taille de l'échantillon est justifiée et est satisfaisante. |
| 3) Non-respondents = les non répondants | Nous cherchons ici à savoir si la comparabilité entre les caractéristiques des répondants et des non-répondants est établie et le taux de réponse est satisfaisant. |
| 4) Ascertainment of the exposure (risk factor) = détermination de l'exposition | Nous cherchons à vérifier si l'outil de mesure est validé ou s'il ne l'est pas s'il est tout de même décrit et disponible. |
| <i>COMPARABILITY (2 étoiles)</i> | |
| Comparabilité des sujets dans les groupes | |

| <i>OUTCOME (3 étoiles)</i> | |
|--|--|
| 1) Assessment of outcome = Évaluation du résultat d'intérêt | Évaluation dont les résultats ont été relevés. |
| 2) Statistical test = test statistique | Nous cherchons à savoir si le test statistique utilisé pour analyser les données est clairement décrit, approprié et si les mesures d'association présentés en incluant les intervalles de confiance et le niveau de probabilité (valeur p). |

Échelle PEDro – Français

| | | | |
|---|------------------------------|------------------------------|-----|
| 1. les critères d'éligibilité ont été précisés | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement) | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 3. la répartition a respecté une assignation secrète | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 5. tous les sujets étaient "en aveugle" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |

Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté**. Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.

- Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.
- Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.
- Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.
- Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.
- Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement* essentiels sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.
- Critères 5-7 Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "en aveugle" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "en aveugle" si le sujet l'est aussi.
- Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.
- Critère 9 Une *analyse en intention* de traiter signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.
- Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
- Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.



JBI Critical Appraisal Checklist for Case Series

Reviewer _____ Date _____

Author _____ Year _____ Record Number _____

| | Yes | No | Unclear | Not applicable |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Were there clear criteria for inclusion in the case series? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Was the condition measured in a standard, reliable way for all participants included in the case series? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Were valid methods used for identification of the condition for all participants included in the case series? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Did the case series have consecutive inclusion of participants? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Did the case series have complete inclusion of participants? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Was there clear reporting of the demographics of the participants in the study? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Was there clear reporting of clinical information of the participants? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Were the outcomes or follow up results of cases clearly reported? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Was there clear reporting of the presenting site(s)/clinic(s) demographic information? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Was statistical analysis appropriate? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Overall appraisal: Include Exclude Seek further info

Comments (Including reason for exclusion)

Tool Guidance

Answers: Yes, No, Unclear or Not/Applicable

1. Were there clear criteria for inclusion in the case series?

The authors should provide clear inclusion (and exclusion criteria where appropriate) for the study participants. The inclusion/exclusion criteria should be specified (e.g., risk, stage of disease progression) with sufficient detail and all the necessary information critical to the study.

2. Was the condition measured in a standard, reliable way for all participants included in the case series?

The study should clearly describe the method of measurement of the condition. This should be done in a standard (i.e. same way for all patients) and reliable (i.e. repeatable and reproducible results) way.

3. Were valid methods used for identification of the condition for all participants included in the case series?

Many health problems are not easily diagnosed or defined and some measures may not be capable of including or excluding appropriate levels or stages of the health problem. If the outcomes were assessed based on existing definitions or diagnostic criteria, then the answer to this question is likely to be yes. If the outcomes were assessed using observer reported, or self-reported scales, the risk of over- or under-reporting is increased, and objectivity is compromised. Importantly, determine if the measurement tools used were validated instruments as this has a significant impact on outcome assessment validity.

4. Did the case series have consecutive inclusion of participants?

Studies that indicate a consecutive inclusion are more reliable than those that do not. For example, a case series that states 'we included all patients (24) with osteosarcoma who presented to our clinic between March 2005 and June 2006' is more reliable than a study that simply states 'we report a case series of 24 people with osteosarcoma.'

5. Did the case series have complete inclusion of participants?

The completeness of a case series contributes to its reliability (1). Studies that indicate a complete inclusion are more reliable than those that do not. A stated above, a case series that states 'we included all patients (24) with osteosarcoma who presented to our clinic between March 2005 and June 2006' is more reliable than a study that simply states 'we report a case series of 24 people with osteosarcoma.'

6. Was there clear reporting of the demographics of the participants in the study?

The case series should clearly describe relevant participant's demographics such as the following information where relevant: participant's age, sex, education, geographic region, ethnicity, time period, education.

7. Was there clear reporting of clinical information of the participants?

There should be clear reporting of clinical information of the participants such as the following information where relevant: disease status, comorbidities, stage of disease, previous interventions/treatment, results of diagnostic tests, etc.

8. Were the outcomes or follow-up results of cases clearly reported?

The results of any intervention or treatment should be clearly reported in the case series. A good case study should clearly describe the clinical condition post-intervention in terms of the presence or lack of symptoms. The outcomes of management/treatment when presented as images or figures can help in conveying the information to the reader/clinician. It is important that adverse events are clearly documented and described, particularly a new or unique condition is being treated or when a new drug or treatment is used. In addition, unanticipated events, if any that may yield new or useful information should be identified and clearly described.

9. Was there clear reporting of the presenting site(s)/clinic(s) demographic information?

Certain diseases or conditions vary in prevalence across different geographic regions and populations (e.g. women vs. men, sociodemographic variables between countries). The study sample should be described in sufficient detail so that other researchers can determine if it is comparable to the population of interest to them.

10. Was statistical analysis appropriate?

As with any consideration of statistical analysis, consideration should be given to whether there was a more appropriate alternate statistical method that could have been used. The methods section of studies should be detailed enough for reviewers to identify which analytical techniques were used and whether these were suitable.

Traduction en français :

| | |
|---|---|
| <p>1. Were there clear criteria for inclusion in the case series? = Y avait-il des critères clairs pour l'inclusion dans la série de cas ?</p> | <p>Les auteurs doivent fournir des critères d'inclusion (et d'exclusion, le cas échéant) clairs pour les participants à l'étude. Les critères d'inclusion/exclusion doivent être précisés (par exemple, le risque, le stade de progression de la maladie) avec suffisamment de détails et toutes les informations nécessaires et essentielles à l'étude.</p> |
| <p>2. Was the condition measured in a standard, reliable way for all participants included in the case series? = La condition a-t-elle été mesurée de manière standard et fiable pour tous les participants inclus dans la série de cas ?</p> | <p>L'étude doit décrire clairement la méthode de mesure de l'état. Cela doit être fait de manière standard (c'est-à-dire de la même manière pour tous les patients) et fiable (c'est-à-dire des résultats répétables et reproductibles).</p> |
| <p>3. Were valid methods used for identification of the condition for all participants included in the case series? = Des méthodes valables ont-elles été utilisées pour l'identification de l'état de tous les participants inclus dans la série de cas ?</p> | <p>De nombreux problèmes de santé ne sont pas faciles à diagnostiquer ou à définir et certaines mesures peuvent ne pas être capables d'inclure ou d'exclure des niveaux ou des stades appropriés du problème de santé. Si les résultats étaient évalués sur la base des définitions ou des critères de diagnostic existants, la réponse à cette question serait probablement oui. Si les résultats ont été évalués à l'aide d'échelles rapportées par les observateurs ou d'échelles autodéclarées, le risque de sur- ou de sous-déclaration est accru et l'objectivité est compromise. Il est important de déterminer si les outils de mesure utilisés étaient des instruments validés, car cela a un impact significatif sur la validité de l'évaluation des résultats.</p> |
| <p>4. Did the case series have consecutive inclusion of participants? = Les séries de cas ont-elles inclus des participants consécutivement ?</p> | <p>Les études qui indiquent une inclusion consécutive sont plus fiables que celles qui n'en indiquent pas. Par exemple, une série de cas qui indique "nous avons inclus tous les patients (24) atteints d'ostéosarcome qui se sont présentés à notre clinique entre mars 2005 et juin 2006" est plus fiable qu'une étude qui indique simplement "nous signalons une série de cas de 24 personnes atteintes d'ostéosarcome".</p> |
| <p>5. Did the case series have complete inclusion of participants? = Les séries de cas ont-elles inclus tous les participants ?</p> | <p>L'exhaustivité d'une série de cas contribue à sa fiabilité (1). Les études qui indiquent une inclusion complète sont plus fiables que celles qui ne le font pas. Comme indiqué ci-dessus, une série de cas qui indique "nous avons inclus tous les patients (24) atteints d'ostéosarcome qui se sont présentés à notre clinique entre mars 2005 et juin 2006" est plus fiable qu'une étude qui indique simplement "nous signalons une série de cas de 24 personnes atteintes d'ostéosarcome".</p> |
| <p>6. Was there clear reporting of the demographics of the participants in the study? = Les données démographiques des participants à l'étude ont-elles été clairement indiquées ?</p> | <p>La série de cas doit clairement décrire les données démographiques pertinentes du participant, telles que les informations suivantes, le cas échéant : âge, sexe, éducation, région géographique, ethnicité, période de temps, éducation du participant.</p> |
| <p>7. Was there clear reporting of clinical information of the participants? = Les données démographiques des participants à l'étude ont-elles été clairement communiquées ?</p> | <p>Il convient de communiquer clairement les informations cliniques des participants, telles que les informations suivantes, le cas échéant : statut de la maladie, comorbidités, stade de la maladie, interventions/traitements antérieurs, résultats des tests de diagnostic, etc.</p> |
| <p>8. Were the outcomes or follow up results of cases clearly reported? = Les résultats ou les résultats du suivi des cas ont-ils été clairement communiqués ?</p> | <p>Les résultats de toute intervention ou traitement doivent être clairement indiqués dans la série de cas. Une bonne étude de cas doit décrire clairement l'état clinique post-intervention en termes de présence ou d'absence de symptômes. Les résultats de la prise en charge/du traitement, lorsqu'ils sont présentés sous forme d'images ou de chiffres, peuvent aider à transmettre l'information au lecteur/clinicien. Il est important que les événements indésirables soient clairement documentés et décrits, en particulier lorsqu'une affection nouvelle ou unique est traitée ou lorsqu'un nouveau médicament ou traitement est utilisé. En outre, les événements imprévus, le cas échéant, qui peuvent donner lieu à des informations nouvelles ou utiles doivent être identifiés et clairement décrits.</p> |
| <p>9. Was there clear reporting of the presenting site(s)/clinic(s) demographic information? = Les informations démographiques des sites/cliniques présentés ont-elles été clairement communiquées ?</p> | <p>La prévalence de certaines maladies ou affections varie selon les régions géographiques et les populations (par exemple, les femmes par rapport aux hommes, les variables sociodémographiques entre les pays). L'échantillon de l'étude doit être décrit de manière suffisamment détaillée pour que d'autres chercheurs puissent déterminer s'il est comparable à la population qui les intéresse.</p> |
| <p>10. Was statistical analysis appropriate? = L'analyse statistique était-elle appropriée ?</p> | <p>Comme pour toute considération d'analyse statistique, il convient d'examiner s'il existe une autre méthode statistique plus appropriée qui aurait pu être utilisée. La section des études consacrée aux méthodes doit être suffisamment détaillée pour permettre aux examinateurs de déterminer quelles techniques d'analyse ont été utilisées et si elles étaient appropriées.</p> |



AMSTAR – GRILLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ MÉTHODOLOGIQUE DES REVUES SYSTÉMATIQUES

AMSTAR : a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews

1. Un plan de recherche établi a priori est-il fourni?

La question de recherche et les critères d'inclusion des études doivent être déterminés avant le début de la revue.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Pour que la réponse soit « oui », il doit y avoir un protocole, l'approbation d'un comité d'éthique ou des objectifs d'étude prédéterminés ou établis a priori.

Commentaire :

2. La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes?

Au moins deux personnes doivent procéder à l'extraction des données de façon indépendante, et une méthode de consensus doit avoir été mise en place pour le règlement des différends.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Deux personnes sélectionnent les études, deux personnes procèdent à l'extraction des données, puis elles se mettent d'accord ou vérifient leur travail respectif.

Commentaire :

3. La recherche documentaire était-elle exhaustive?

Au moins deux sources électroniques doivent avoir été utilisées. Le rapport doit comprendre l'horizon temporel de la recherche et les bases de données interrogées (Central, EMBASE et MEDLINE, par exemple). Les mots clés et (ou) les termes MeSH doivent être indiqués et, si possible, la stratégie de recherche complète doit être exposée. Toutes les recherches doivent être complétées par la consultation des tables des matières de revues scientifiques récentes, de revues de la littérature, de manuels, de registres spécialisés ou d'experts dans le domaine étudié et par l'examen des références fournies dans les études répertoriées.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si on a consulté au moins deux sources et eu recours à une stratégie complémentaire, cocher « oui » (Cochrane + Central = deux sources; recherche de la littérature grise = stratégie complémentaire).

Commentaire :

4. La nature de la publication (littérature grise, par exemple) était-elle un critère d'inclusion?

Les auteurs doivent indiquer s'ils ont recherché tous les rapports, quel que soit le type de publication, ou s'ils ont exclu des rapports (de leur revue systématique) sur la base du type de publication, de la langue, etc.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si les auteurs indiquent qu'ils ont recherché la littérature grise ou non publiée, cocher « oui ». La base de données SIGLE, les mémoires, les actes de conférences et les registres d'essais sont, en l'occurrence, tous considérés comme de la littérature grise. Si la source renfermait de la littérature grise, mais aussi de la littérature à large diffusion, les auteurs doivent préciser qu'ils recherchaient de la littérature grise ou non publiée.

Commentaire :

5. Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie?

Une liste des études incluses et exclues doit être fournie.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Il est acceptable de s'en tenir aux études exclues. S'il y a un hyperlien menant à la liste, mais que celui-ci est mort, cocher « non ».

Commentaire :

6. Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées?

Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études originales, les interventions qu'ils ont reçues et les résultats doivent être regroupées, sous forme de tableau, par exemple. L'étendue des données sur les caractéristiques des sujets de toutes les études analysées (âge, race, sexe, données socio-économiques pertinentes, nature, durée et gravité de la maladie, autres maladies, par exemple) doit y figurer.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Ces données ne doivent pas nécessairement être présentées sous forme de tableau, pour autant qu'elles soient conformes aux exigences ci-dessus.

Commentaire :

7. La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée?

Les méthodes d'évaluation déterminées a priori doivent être indiquées (par exemple, pour les études sur l'efficacité pratique, le choix de n'inclure que les essais cliniques randomisés à double insu avec placebo ou de n'inclure que les études où l'affectation des sujets aux groupes d'étude était dissimulée); pour d'autres types d'études, d'autres critères d'évaluation seront à prendre en considération.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Ici, les auteurs peuvent avoir utilisé un outil ou une grille quelconque pour évaluer la qualité (score de Jadad, évaluation du risque de biais, analyse de sensibilité, etc.) ou peuvent exposer les critères de qualité en indiquant le résultat obtenu pour CHAQUE étude (un simple « faible » ou « élevé » suffit, dans la mesure où l'on sait exactement à quelle étude l'évaluation s'applique; un score général n'est pas acceptable, pas plus qu'une plage de scores pour l'ensemble des études).

Commentaire :

8. La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions?

Les résultats de l'évaluation de la rigueur méthodologique et de la qualité scientifique des études incluses doivent être pris en considération dans l'analyse et les conclusions de la revue, et formulés explicitement dans les recommandations.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Voici une formulation possible : « La faible qualité des études incluses impose la prudence dans l'interprétation des résultats ». On ne peut cocher « oui » à cette question si on a coché « non » à la question 7.

Commentaire :

9. Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées?

Si l'on veut regrouper les résultats des études, il faut effectuer un test d'homogénéité afin de s'assurer qu'elles sont combinables (chi carré ou I^2 , par exemple). S'il y a hétérogénéité, il faut utiliser un modèle d'effets aléatoires et (ou) vérifier si la nature des données cliniques justifie la combinaison (la combinaison est-elle raisonnable?).

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Cocher « oui » si on souligne ou explique la nature hétérogène des données, par exemple si les auteurs expliquent que le regroupement est impossible en raison de l'hétérogénéité ou de la variabilité des interventions.

Commentaire :

10. La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée?

Une évaluation du biais de publication doit comprendre une association d'outils graphiques (diagramme de dispersion des études ou autre test) et (ou) des tests statistiques (test de régression d' Egger, méthode de Hedges et Olkin, par exemple).

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si les auteurs ne fournissent aucun résultat de test ni diagramme de dispersion des études, cocher « non ». Cocher « oui » s'ils expliquent qu'ils n'ont pas pu évaluer le biais de publication, parce qu'ils ont inclus moins de 10 études.

Commentaire :

11. Les conflits d'intérêts ont-ils été déclarés?

Les sources possibles de soutien doivent être déclarées, tant pour la revue systématique que pour les études qui y sont incluses.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

On ne peut cocher « oui » que si la source de financement ou de soutien de la revue systématique ET de chaque étude incluse est indiquée.

Commentaire :

Appréciation générale

©Shea et al. BMC Medical Research Methodology 2007 7:10 doi:10.1186/1471-2288-7-10.

Les remarques (en italiques), signées Michelle Weir, Julia Warswick et Carolyn Wayne, rendent compte de conversations avec Bev Shea et (ou) Jeremy Grimshaw qui ont eu lieu en juin et octobre 2008 ainsi qu'en juillet et septembre 2010.

RESUME/ABSTRACT

Introduction : le système tricipito-achilléo-calcanéen plantaire (TACP) allant du genou jusqu'au pied est une zone anatomique complexe, reliant différentes structures et particulièrement sujet aux blessures en course à pied.

Ce système a un rôle prépondérant lors de la réception à l'appui ainsi lors de la propulsion et l'un des principaux facteurs pouvant l'altérer est le pattern de course : avant, milieu ou arrière pied.

Objectif : établir un état des lieux des connaissances scientifiques de la littérature quant à l'influence de la pose du pied sur les modifications musculo-squelettiques du triceps sural et sur l'apparition d'inflammations plantaires chez le coureur afin de mieux comprendre les étiologies de blessures du système TACP et d'en diminuer leur incidence.

Méthodologie de recherche : la recherche a été réalisée en Octobre 2020 avec les bases de données suivantes : Pubmed, Cochrane, Google Scholar, Researchgate et Sciences Directes ; notre équation de recherche est : (((foot attack) OR (foot strike pattern) OR (forefoot) OR (midfoot) OR (rearfoot)) AND ((triceps surae) OR (gastrocnemius) OR (soleus) OR (Achilles's tendinopathy) OR (Achilles's tendon) OR (tendinitis)) OR (plantar fascia) OR (fasciitis)) AND ((runner) OR (running))).

Les critères d'éligibilité principaux indiquent que seules les études avec au moins une atteinte du système TACP datant de moins de dix ans ont été retenues. Enfin la qualité méthodologique a été évaluée à l'aide de la Newcastle Ottawa (pour les cas/témoins et transversales), Pedro (pour les ERC) et JBI (pour les suivis de cas).

Résultats : 10 études ont été incluses permettant de mettre en évidence les répercussions tant positives que négatives des différents patterns de course. Un facteur très important à prendre en compte dans l'apparition de blessures est le taux de charge auxquelles les articulations et notamment celle du genou sont soumises. Parmi les atteintes les plus courantes nous retrouvons les fractures de stress du tibia, du métatarse, les tendinopathies d'Achille et les fasciites plantaires.

Discussion/conclusion : le pattern RFS a un taux de charge global supérieur aux autres, favorisant les atteintes des articulations et des fractures de stress à l'exception du métatarse. Un pattern FFS entraînerait en plus des fractures du métatarse, des atteintes musculo-tendineuses telles que des contractures du triceps sural et des tendinopathies d'Achille. Les fasciites sont largement représentées dans tous les patterns de course. Prendre en considération la progression dans un changement de pattern de course ainsi que le port d'une chaussure adaptée.

Mots clés : pose du pied – avant pied – milieu pied – arrière pied – triceps sural – tendon d'Achille – tendinopathie – fasciite plantaire – course à pied.

Introduction: the TACP system from the knee to the foot is a complex anatomical area, linking different structures and particularly prone to injury in running.

This system plays a major role in landing and propulsion and one of the main factors that can alter it is the running strike pattern: forefoot (FFS), midfoot (MFS) and rearfoot strike (RFS).

Objective: to establish an inventory of scientific knowledge in the literature on the influence of foot placement on musculoskeletal modifications of the triceps surae and on the appearance of plantar inflammations in runners in order to better understand the reasons of injuries of the TACP system and to reduce their incidence.

Research methodology: the research was conducted in October 2020 with the following databases: Pubmed, Cochrane, Google Scholar, Researchgate et Sciences Directes; our search equation is: (((foot attack) OR (foot strike pattern) OR (forefoot) OR (midfoot) OR (rearfoot)) AND ((triceps surae) OR (gastrocnemius) OR (soleus) OR (Achilles's tendinopathy) OR (Achilles's tendon) OR (tendinitis)) OR (plantar fascia) OR (fasciitis)) AND ((runner) OR (running))). The main eligibility criteria indicate that only studies with at least one TACP system less than ten years old were included. Finally, methodological quality was assessed using the Newcastle Ottawa (for case-control and cross-sectional), Pedro (for RCT) and JBI (for case studies).

Results: 10 studies were included to identify both the positive and negative impacts of different running patterns. A very important factor to consider in the development of injuries is the rate of loading to which the joints are subjected, particularly the knee. Among the most common injuries are stress fractures of the tibia, metatarsal, Achilles's tendinopathy and plantar fasciitis.

Discussion/conclusion: the RFS pattern has a higher rate of loading than the others, causing joint damage and stress fractures, with the exception of the metatarsal. An FFS pattern would lead to metatarsal fractures, musculotendinous injuries such as contractures of the sural triceps and Achilles's tendinopathy. Fasciitis is widely represented in all running patterns. Consider the progression in a change of running pattern as well as the wearing of a suitable shoe.

Keywords: foot strike pattern – forefoot – midfoot – rearfoot – triceps surae – Achilles's tendon – tendinopathy – Plantar fasciitis – running.