



Institut Régional de Formation aux métiers de la rééducation et Réadaptation

Pays de la Loire

54, rue de la Baugerie – 44230 SAINT-SEBASTIEN SUR LOIRE

Intérêt d'un programme d'entraînement neuromusculaire dans la prévention du syndrome de stress tibial médial chez les coureurs - Revue de littérature

Hugo DY

Mémoire UE 28

Semestre 10

Année scolaire : 2023-2024

Je, soussigné (e)

Dy Hugo, déclare être
pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un
document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue
une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En
conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire
ce mémoire.

Fait à Nantes

Le 03/05/2024

Signature :	
-------------	--

AVERTISSEMENT

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.

REMERCIEMENTS

J'adresse dans un premier temps mes remerciements aux membres de ma famille pour leur soutien constant tout au long de mes années de formation. Je souhaite également remercier mon directeur de mémoire pour ses précieux conseils, son expertise et sa capacité à me guider lorsque j'en avais besoin. Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers toutes les personnes qui ont été présentes et m'ont offert leur aide lorsque je les ai sollicitées pour des conseils, des relectures et des orientations. Leur contribution a été essentielle pour mener à bien ce projet. Enfin, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers celle qui m'a soutenu, corrigé et guidé tout au long du processus d'écriture de cette revue.

RESUME

Introduction : La popularité croissante de la course à pied, malgré ses avantages pour la santé, est également accompagnée de risques de blessures. Le syndrome de stress tibial médial (SSTM) est l'une des pathologies les plus courantes chez les coureurs. Le rôle de l'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures est examiné, avec un accent particulier sur le SSTM.

Objectif : Ce travail vise à évaluer l'effet de l'entraînement neuromusculaire sur l'occurrence du syndrome de stress tibial médial chez les coureurs à pied.

Méthode : Une revue systématique de la littérature a été menée en explorant les bases de données Pubmed (n=16), ScienceDirect (n=357) et PEDro (n=2). Trois articles ont été sélectionnés pour une analyse approfondie.

Résultats : Les résultats indiquent une diminution significative de l'incidence du syndrome de stress tibial médial suite à un programme d'entraînement neuromusculaire.

Discussion : L'hétérogénéité des protocoles, les effectifs restreints et les divers biais présents dans les articles limitent la compréhension des résultats. Malgré cela, l'intégration d'exercices d'entraînement neuromusculaire dans la prise en charge des patients souffrant du syndrome de stress tibial médial semble être une piste intéressante. Des preuves de meilleure qualité sont nécessaires pour établir définitivement l'efficacité de cette approche dans la gestion du SSTM.

Mots-clés

Course à pied

Entraînement neuromusculaire

Prévention

Revue systématique

Syndrome de stress tibial médial

ABSTRACT

Introduction : The growing popularity of running, despite its health benefits, is also accompanied by the risk of injury. Medial tibial stress syndrome (MTSS) is one of the most common pathologies in runners. The role of neuromuscular training in injury prevention is examined, with a particular focus on MTS.

Objective : The aim of this study was to evaluate the effect of neuromuscular training on the occurrence of medial tibial stress syndrome in runners.

Method : A systematic review of the literature was conducted by searching the Pubmed (n=16), ScienceDirect (n=357) and PEDro (n=2) databases. Three articles were selected for in-depth analysis.

Results : The results indicate a significant reduction in the incidence of medial tibial stress syndrome following a neuromuscular training programme.

Discussion : The heterogeneity of the protocols, the small numbers and the various biases present in the articles limit the understanding of the results. Despite this, the integration of neuromuscular training exercises into the management of patients suffering from medial tibial stress syndrome appears to be an interesting avenue. Better quality evidence is needed to definitively establish the effectiveness of this approach in the management of MTSS.

Keywords

Running

Neuromuscular training

Prevention

Systematic review

Medial tibial stress syndrome

Sommaire

1.	Introduction.....	1
2.	Cadre théorique.....	3
2.1	Le syndrome de stress tibial médial	3
2.2	Système neuro-musculaire.....	14
2.3	Objectifs de cette revue de littérature	18
2.4	Enjeux et pertinence de cette revue de littérature	18
3	Méthode.....	19
3.1	Stratégie de recherche et modèle PICO	19
3.2	Critères d'éligibilité	21
3.3	Equations de recherche et interrogation des bases de données.....	22
3.4	Sélection des articles	23
4	Résultats	26
4.1	Présentation primaire des articles retenus	26
4.2	Caractéristiques des articles retenus	31
4.3	Résultats des interventions	33
5	Discussion	36
5.1	Analyse des résultats selon la taille d'effet	36
5.2	Analyse des coûts et des risques : applicabilité des résultats.....	38
5.3	Biais et limites de la revue de littérature	40
5.4	Synthèse des résultats.....	44
5.5	Perspectives et pistes de réflexion.....	46
6	Conclusion	48
	BIBLIOGRAPHIE.....	
	ANNEXES.....	I

Cet écrit utilise la norme Vancouver

1. Introduction

La pratique sportive suscite un véritable engouement, avec un développement impressionnant au cours des dernières décennies. En 2023, 59 % des personnes de 15 ans ou plus ont pratiqué une activité physique régulière (au moins une fois par semaine) au cours des 12 derniers mois (1). Parmi les sports les plus populaires, la course à pied se distingue par une progression constante ces dernières années. Elle est pratiquée par 18 % des Français, soit près de 10 millions de personnes. En 2010, elle était la 5ème activité sportive la plus pratiquée en France selon le Ministère des Sports (2). La course à pied est largement populaire en raison de son accessibilité universelle. Elle nécessite peu d'équipement et peut être pratiquée dans divers environnements, que ce soit en milieu urbain ou rural. La progression de la pratique de la course à pied est due à une prise de conscience croissante des bienfaits de ce sport pour la santé. En effet, la pratique régulière de la course à pied permet de prévenir de nombreuses pathologies chroniques, telles que les maladies cardio-vasculaires, les maladies respiratoires, le diabète de type 2, l'obésité ainsi que l'arthrose (3,4). Elle contribue également à améliorer la santé mentale et le bien-être en réduisant le stress, l'anxiété et la dépression (3,5).

La course à pied, comme tout autre activité sportive, comporte également un risque de blessures. En 2015, une définition consensuelle des blessures liées à la course à pied a été obtenue avec 80% des participants approuvant ce qui suit : «Douleurs musculosquelettiques des membres inférieurs liées à la course à pied (entraînement ou compétition) qui entraînent une restriction ou un arrêt de la course à pied (distance, vitesse, durée ou entraînement) pendant au moins 7 jours ou 3 entraînements programmés consécutifs, ou qui oblige le coureur à consulter un médecin ou un autre professionnel de santé» (6). Ducourant et al.(7), soulignent que l'incidence annuelle des blessures liées à la course à pied peut atteindre jusqu'à 79,3% des coureurs de longue distance. En course à pied, on distingue les blessures traumatiques et les blessures de surutilisation. Les blessures de surutilisation, souvent appelées « *overuse injuries* », sont courantes en course à pied et résultent principalement d'une charge excessive sur le système musculosquelettique, représentant environ 50 à 70% des cas de blessures (8,9). Elles se caractérisent par une incapacité des os, du cartilage ou des tendons à supporter des charges répétées (8). Cela se traduit par une désadaptation du corps face à une mauvaise quantification de l'intensité, de la charge ou de la durée d'un exercice (10). De plus, environ 50% des coureurs subissent chaque année une blessure, les empêchant de courir pendant un certain temps (11). Ces blessures constituent un aspect non négligeable

de la course à pied conduisant parfois à une interruption de l'activité sportive pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, et pouvant avoir des répercussions considérables sur la santé et la qualité de vie des coureurs. La pratique non encadrée ou excessive de la course à pied peut également entraîner des erreurs dans le choix du terrain, du chaussage, ou de la foulée, augmentant ainsi le risque de surmenage (12).

Parmi les pathologies de course à pied les plus fréquentes se trouvent la tendinopathie d'Achille, le syndrome fémoro-patellaire, le syndrome de la bandelette ilio-tibiale, l'aponévrosite/ fasciite plantaire, la fracture de stress et le syndrome de stress tibial médial (SSTM) (13). Parmi ces blessures, le SSTM est la blessure musculosquelettique la plus fréquente (13). Les blessures liées au surmenage, telles que le SSTM, peuvent affecter jusqu'à 70% des coureurs au cours d'une année (9).

Un suivi régulier avec un masseur-kinésithérapeute (MK) peut aider à prévenir les blessures, à les traiter et également à éviter les récurrences et leurs chronicisations (14). Comme nous le verrons dans le chapitre « 2.1.12 La prévention », le domaine de compétence du MK présente un volet dans le champ de la prévention. On notera cependant que le rôle du MK dans la prévention primaire reste sous-exploité dans le domaine de la course à pied en raison de l'orientation actuelle du système de santé vers les soins curatifs (15). La création d'un programme de prévention s'avère donc pertinente à travers l'entraînement neuromusculaire qui a démontré son efficacité dans la diminution de l'incidence des blessures musculosquelettiques, notamment du membre inférieur (16,17). L'entraînement neuromusculaire est un programme multifactoriel (16), intégrant le développement des habiletés et des capacités motrices par des exercices pliométriques, de mise en charge et d'équilibre (18). Puisqu'il n'existe aucune étude préalable sur ce sujet, nous avons choisi de nous concentrer sur l'influence de l'entraînement neuromusculaire sur le syndrome de stress tibial médial chez les coureurs.

Pour aborder cette question, nous avons d'abord effectué une synthèse des connaissances existantes sur le sujet afin de poser un cadre théorique. Ensuite, nous avons défini notre méthodologie pour sélectionner les articles les plus pertinents et les analyser. Enfin, nous avons discuté des limites de notre travail et de ses implications pour notre pratique professionnelle future, ainsi que des pistes de recherche à explorer car cette approche offre des perspectives encourageantes.

2. Cadre théorique

2.1 Le syndrome de stress tibial médial

2.1.1 Définition

Le Syndrome de Stress Tibial Médial (SSTM), également connu sous le nom de « périostite tibiale », est défini comme une douleur continue ou intermittente localisée le long des deux tiers distaux de la crête postéro-médiale du tibia, exacerbée par une activité de mise en charge répétitive (19,20). Ce syndrome se caractérise par une inflammation du périoste, la couche externe de l'os, riche en nerfs et vaisseaux sanguins. Deux formes distinctes sont observées selon Jolivet et al. (21), en fonction de la localisation de la douleur : la périostite tibiale antérolatérale et la périostite tibiale postéro-médiale, affectant ainsi différents profils de coureurs (*figure 1*).

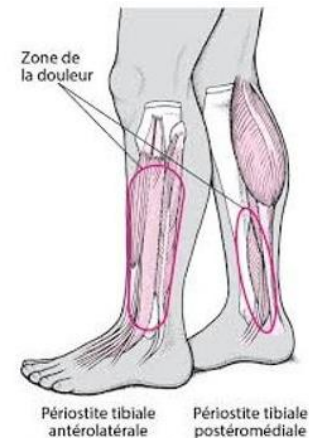


Figure 1 : Zone douloureuse de la périostite (22).

2.1.2 Historique du Syndrome de stress médial du tibia

Devas a publié la première étude détaillée du Syndrome de Stress Médial du Tibia en 1958, décrivant les signes et symptômes de cette condition, initialement appelée « fracture de stress au tibia » ou « douleur du tibia » (22). Le terme « attelles de tibia » ou « shinsplint » en anglais, est ambigu car il est souvent utilisé pour désigner toute douleur dans les jambes pendant l'effort, ce qui le rend inapproprié (23). D'après Kortebein et al. (20), le terme "syndrome de stress tibial médial" est le plus approprié, car il décrit le mieux la localisation et l'étiologie présumée de ce trouble. Adopter une terminologie uniforme facilitera la compréhension et la gestion du syndrome.

2.1.3 Anatomie

Le syndrome de stress tibial médial affecte principalement la partie inférieure du tibia, une zone complexe impliquant plusieurs structures anatomiques. Le périoste possède une membrane fibreuse qui enveloppe la surface externe de l'os (24) (*figure 2*). La couche externe du périoste sert de point d'attache pour les tendons, les ligaments et les muscles. Les contraintes répétées des muscles sur le périoste peuvent déclencher des réactions inflammatoires et des douleurs spécifiques. Le périoste

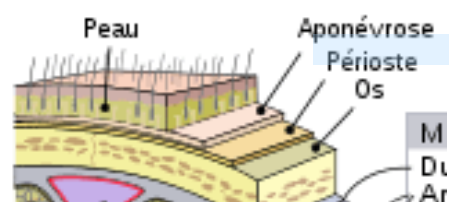


Figure 2 : Image du périoste (25).

est souvent le premier endroit où les symptômes du syndrome de stress tibial médial se manifestent (25).

Les muscles tibiaux antérieurs, situés à l'avant de la jambe, contribuent à la flexion dorsale du pied. Les muscles soléaire, gastrocnémien médial et latéral, qui forment le triceps sural, ainsi que le tibial postérieur, situés dans la partie postérieure de la jambe, participent activement à la flexion plantaire du pied, jouant un rôle essentiel dans la propulsion et la stabilité lors de la marche et de la course (24) (*Annexe 1*). Le fascia crural, une bande de tissu conjonctif dense, soutient et relie les muscles de la jambe et d'autres structures anatomiques. Son rôle est de fournir un soutien structurel, de transmettre la force musculaire et de réduire la friction entre les muscles (24). Les tendons, quant à eux, sont des cordons de tissu conjonctif dense et élastique qui relient spécifiquement les muscles aux os. Leur rôle principal est de transmettre la force générée par les muscles aux os, permettant ainsi le mouvement des articulations. Les tendons agissent comme des câbles de transmission, convertissant la contraction musculaire en mouvement des os (24).

Lors de la course à pied, tous les éléments cités précédemment sont constamment sollicités pour assurer la propulsion, la stabilité et l'amortissement des chocs. En comprenant comment l'anatomie de la jambe est directement impliquée dans la course à pied et comment elle réagit aux contraintes mécaniques, nous pouvons mieux appréhender la physiopathologie du syndrome de stress tibial médial chez les coureurs. Cette compréhension intégrée est essentielle pour développer des stratégies de prévention et de traitement adaptées à cette population spécifique.

2.1.4 Épidémiologie

Une étude rétrospective menée par Taunton et al. (26) en 2022, révèle que les blessures de la partie inférieure de la jambe représentent la troisième localisation la plus fréquente, avec 12,8% des cas. Le SSTM est l'une des pathologies les plus courantes en course à pied, affectant entre 4 et 19% des sportifs (27), entre 4 et 35% des militaires (28), et constituant entre 13,2% et 17,3% de toutes les blessures liées à cette activité (28), avec une prévalence notable de douleurs bilatérales dans 60% des cas (29). Une revue de littérature de 2012 menée par Lopes et al. (13), classe le SSTM comme la première pathologie en termes d'incidence chez les coureurs (13,6 à 20%) et la quatrième en termes de prévalence (9,5%). L'incidence est l'indication du nombre d'apparitions de nouvelles blessures sportives alors que la prévalence indique l'étendue de la blessure dans l'échantillon de population à un instant précis

(30). L'analyse des blessures courantes en course à pied guide la conception de programmes efficaces de prévention, réduisant leur incidence et par conséquent leur prévalence (13).

2.1.5 Physiopathologie

Bien que le SSTM soit l'une des causes les plus courantes de douleurs aux jambes liées à l'exercice parmi différentes populations, sa cause exacte reste floue, soulignant la nécessité d'une compréhension approfondie de sa physiopathologie (12). Dans les années 80, des débats sur le continuum entre le syndrome de stress tibial médial et la fracture de fatigue subsistent. À cette période, certains auteurs considèrent le SSTM comme une forme de fracture de fatigue, tandis que d'autres la situe dans la catégorie des enthésiopathies de traction et de torsion, sans lien direct avec les fractures (25). Depuis, deux théories se font face, celle de l'origine musculaire et celle de l'origine osseuse.

A propos de l'origine musculaire, certains auteurs attribuent le syndrome de stress tibial médial à une douleur localisée sur le bord antéro-latéral du tibia, secondaire à une inflammation résultant d'une traction excessive du tibia antérieur (32). Dans cette situation, les individus présentent une hypotonie au niveau de la loge postérieure de la jambe, entraînant un affaissement de l'arche interne du pied et, par conséquent, une utilisation inadéquate de l'avant-pied pendant la phase de propulsion (33). D'autres auteurs soulignent parfois dans leurs écrits une douleur au niveau postéro-interne de la jambe qui survient en raison d'une inflammation du périoste, causée par une traction excessive du muscle soléaire et du tibia postérieur (25). Dans cette situation, le muscle tibia antérieur présente une hypotonie. De plus, on observe fréquemment un affaissement de l'arche interne du pied, voire une pronation mal équilibrée associée (34). Ce risque accru découle de la forte sollicitation musculaire excentrique, en fonction de la technique d'atterrissage adoptée. Lorsque l'on atterrit sur le talon, cela exerce une pression sur la loge antérieure de la jambe, tandis qu'un atterrissage sur l'avant-pied peut réduire la contrainte sur cette zone et sur les forces de réaction au sol (35). L'impact sur le talon est associé à un risque plus élevé de blessures en raison des charges élevées exercées sur le pied, contrairement à l'atterrissage sur l'avant ou le milieu du pied, qui offre une protection supplémentaire (36).

Quant à l'origine osseuse, certains auteurs soulignent que, outre l'implication musculaire, la pathologie résulte également d'une surcharge mécanique sur l'os pendant la course à pied. Ce stress est causé non seulement par des contractions répétitives et stressantes pour le tibia, mais

également par la réaction verticale du sol pendant la phase d'atterrissage en course (37). Lors de l'impact du pied au sol, l'onde de choc génère une contrainte répétée sur l'os, conduisant à une inflammation du périoste. Cette hyper-sollicitation du périoste peut désensibiliser les cellules ostéoblastiques ou entraîner une « hyper-ostéoblastose » locale, perturbant ainsi le processus normal de régénération du tissu osseux. La persistance d'un déséquilibre prolongé entre résorption et remodelage du tissu entraîne alors une fatigue osseuse avec des capacités d'adaptations osseuses réduites (29). La fatigue osseuse se traduit par l'émergence de microtraumatismes non réparés dans l'os cortical du tibia, créant ainsi des lésions profondes et établissant une frontière entre le SSTM et la fracture de fatigue.

Également, compte tenu de la connexion mécanique des fibres de Sharpey, qui relie le périoste à l'os, il est possible que des tractions musculaires répétitives soient la cause sous-jacente du SSTM et du microtraumatisme cortical. Cependant, on ne sait pas clairement si le SSTM survient avant le microtraumatisme cortical ou inversement (38). Ainsi, le SSTM émerge comme une blessure résultant d'une sursollicitation biomécanique, qu'elle soit d'origine musculaire ou osseuse (21). Les preuves et les soutiens à ces théories restent sujets à discussion, soulignant la nécessité de recherches supplémentaires.

Certains chercheurs suggèrent que lorsqu'une personne ressent une douleur liée au syndrome de stress tibial médial, elle ajuste son activation neuromusculaire, en particulier celle du triceps sural, comme une stratégie pour atténuer la douleur. Cette altération des stratégies de recrutement neuromusculaire, notamment au niveau du muscle soléaire, est étroitement liée à la physiopathologie du SSTM, soulignant ainsi son rôle essentiel dans le processus de développement de cette blessure (39).

2.1.6 Les facteurs de risques

Les facteurs de risque sont généralement classés en extrinsèques, c'est-à-dire liés à l'environnement de l'athlète, et intrinsèques, donc directement liés aux caractéristiques de ce dernier. Certains de ces facteurs sont non modifiables, tandis que d'autres peuvent être modifiés et représentent donc des cibles pour les interventions préventives. D'après une revue systématique et méta analyse de 2017 par Reinking et al. (40), cinq facteurs se sont avérés avoir un effet significatif et une faible hétérogénéité : le sexe féminin, un IMC plus élevé, une chute naviculaire plus élevée, une blessure antérieure à la course et une rotation externe plus importante de la hanche avec la hanche en flexion (*Annexe 2*). Ainsi, comprendre les facteurs de risque est crucial pour une prévention efficace des blessures sportives. En ciblant les

mécanismes sous-jacents et en agissant sur ces facteurs, il est possible de réduire leur occurrence (14).

- Facteurs Intrinsèques Modifiables :

Parmi les facteurs intrinsèques modifiables, les caractéristiques anatomiques telles que la chute du naviculaire et une rotation externe plus importante de la hanche avec la hanche en flexion sont des facteurs de risques avérés (41,42). D'autres facteurs anatomiques de risque, tels que la flexion dorsale limitée (43), le bassin antériorisé (44), la torsion tibiale latérale (44), et le déficit proprioceptif (45), ont été identifiés par certaines études mais leur impact significatif reste à confirmer. De plus, seul l'IMC fait partie des caractéristiques anthropométriques avec un réel risque établi (41,42). Des aspects psychologiques tels que la fatigue et des facteurs nutritionnels comme les carences en vitamines D et en oligo-éléments entrent également en jeu (43). Des études indiquent que la fatigue réduit la capacité des coureurs à absorber les chocs lors de la course, augmentant ainsi le risque de blessures aux membres inférieurs (46). La fatigue des muscles soléaire et tibial postérieur, induit une tendance à la pronation excessive du pied pendant la course, favorisant le développement de SSTM. De plus, un déficit d'endurance des fléchisseurs plantaires, en particulier du soléaire, constitue un facteur de risque intrinsèque de ces blessures (47,48). On notera enfin que les facteurs biomécaniques, tels que le profil biomécanique du coureur et sa technique de foulée, influent considérablement sur le risque de blessures (3).

- Facteurs Intrinsèques Non Modifiables :

Les facteurs intrinsèques non modifiables, notamment dans la blessure antérieure (41,42), présentent un risque accru de blessures, avec un plus gros risque chez les athlètes ayant déjà souffert de SSTM. Les femmes, en raison d'une pronation de l'avant-pied exagérée, d'un genu valgum plus prononcé, et d'une torsion tibiale latérale plus marquée, ont un ratio de risque de 1,71/1 par rapport aux hommes (42). Le sexe féminin présente un risque accru, ce qui pourrait être attribué à des différences dans la cinématique de course entre les hommes et les femmes par la présence d'un valgus dynamique (27,42).

- Facteurs Extrinsèques Modifiables :

Parmi les facteurs extrinsèques modifiables, les facteurs environnementaux, tels que le type de terrain (dur ou dénivelé), peuvent influencer la traumatologie du pied (49,50). Le choix des chaussures, sujet de débat, est crucial, car des chaussures inadaptées à la morphologie de

l'athlète peuvent causer des problèmes (12,49). Les chaussures maximalistes à drop élevé sont traditionnellement recommandées pour favoriser une frappe du talon, mais les chaussures minimalistes sans drop gagnent en popularité pour réduire la contrainte sur les structures musculosquelettiques (51). Le drop correspond à la différence de hauteur entre le talon et l'avant du pied d'une chaussure. La méthode d'impact du pied au sol, que ce soit par le talon ou l'avant-pied, influence les loges musculaires sollicitées et les forces de réaction au sol. Atterrir sur le talon augmente les contraintes sur la loge antérieure de la jambe, augmentant le risque de blessures en raison des taux de charge élevés (35). La technique d'attaque par l'arrière-pied, avec une forte contribution musculaire excentrique, accroît ce risque et peut également jouer un rôle dans l'apparition des symptômes (36). Pour minimiser les contraintes, il est important que le patient maintienne une charge d'entraînement appropriée, évitant ainsi la surcharge mécanique. Il est également essentiel d'éviter une augmentation soudaine de la fréquence et de l'intensité des séances sans des précautions adéquates en termes d'échauffement et de récupération (49). On parle d'*optimal loading* (34). Les facteurs nutritionnels peuvent également générer des risques, en particulier une diminution des apports hydriques à l'organisme.

- Facteurs Extrinsèques Non Modifiables :

Enfin, les facteurs extrinsèques non modifiables, comme le type de sport, en l'occurrence la course à pied, sont souvent associés à un risque inhérent élevé de blessures (27), soulignant l'importance de prendre en compte ces éléments dans l'évaluation du risque. Le début de la saison sportive semble être une période où la fréquence des blessures est plus élevée, selon plusieurs études concordantes (42).

2.1.7 Symptômes

La compréhension des symptômes liés au SSTM est essentielle pour un traitement efficace. Les symptômes se manifestent principalement par une douleur à la partie interne du tibia lors de la course ou de la marche, avec une sensibilité accrue au toucher. L'évolution des symptômes peut varier, avec une augmentation de l'inconfort pendant l'activité physique et une possible réduction de la douleur au repos. Cependant, l'ignorance des symptômes peut conduire à une détérioration et à une limitation des activités. Certains symptômes associés, tels que la fatigue musculaire, peuvent accompagner la douleur. La gestion appropriée des symptômes du SSTM est cruciale pour prévenir la récurrence des blessures et maintenir la santé musculosquelettique des sportifs (52,53).

2.1.8 Diagnostic

Le diagnostic du syndrome de stress tibial médial repose essentiellement sur les symptômes décrits par le patient et par l'examen clinique. L'interrogatoire revêt une importance particulière. En 2004, Yates et White (28) décrivent le SSTM comme une douleur induite par l'exercice le long de la région postéro-médiale du tibia, avec une douleur reconnaissable provoquée par la palpation du bord tibial postéro-médian sur une longueur supérieure ou égale à 5 centimètres consécutifs. Puis en 2018, Winters et al. (54) définissent un diagnostic clinique fiable du SSTM à l'aide de l'anamnèse et de l'examen physique. Les six étapes prédéfinies pour confirmer le diagnostic sont détaillées en annexe (*Annexe 3*). Lors de l'anamnèse, il doit y avoir :

1. Présence d'une douleur induite par l'exercice le long des deux tiers distaux du bord tibial médial.
2. Présence d'une douleur provoquée pendant ou après une activité physique, qui diminue avec le repos relatif. La douleur, de type mécanique, est décrite comme une résonance le long de la crête du tibia lors de l'impact du pied au sol.
3. L'absence de crampes, de douleurs brûlantes au niveau de la loge postérieure et/ou d'engourdissements/ picotements dans le pied.

Les résultats de l'examen physique du SSTM doivent comprendre :

1. Présence d'une douleur reconnaissable reproduite à la palpation du bord tibial postéro-médian > 5 cm.
2. L'absence d'autres signes non typiques du SSTM (par exemple, gonflement sévère, érythème, perte des pouls distaux, etc...).

Parfois, une tuméfaction est palpable sur le tibia, accompagnée d'une légère augmentation de la température locale (55). De plus, poser le diagnostic du SSTM implique souvent dans l'interrogatoire du patient de retrouver une intensification de l'entraînement en course à pied et des compétitions rapprochées. Cette douleur peut devenir insupportable pendant l'entraînement, entraînant parfois l'interruption obligatoire de l'activité physique, impactant les performances de l'athlète à long terme. Enfin, en cas de diagnostic incertain, des examens d'imageries sont préconisés.

2.1.9 Examens complémentaires

Les résultats des examens complémentaires sont majoritairement négatifs et ne sont pas

essentiels pour la prise en charge. Les radiographies, bien que souvent normales, sont utiles pour exclure d'autres diagnostics différentiels. La scintigraphie osseuse peut présenter des résultats normaux car les fixations n'apparaissent que tardivement sur le tibia lors de l'examen. L'IRM est l'examen de choix, il révèle un signal anormal le long du bord postéro-médial du tibia, sous forme de bandes avec une réaction œdémato-inflammatoire, marqueurs du remodelage osseux. Cependant, il est crucial de corréliser les résultats de l'imagerie avec l'examen clinique, car des anomalies peuvent être observées chez des sujets asymptomatiques (56).

2.1.10 Diagnostic différentiel

Le SSTM présente un défi diagnostique en raison de son chevauchement symptomatique avec d'autres pathologies, nécessitant une approche différenciée. Voici les principaux diagnostics différentiels et leurs caractéristiques distinctives :

- Fracture de stress

La fracture de stress et le syndrome de stress tibia médial représentent un défi diagnostique important en raison de leur possible superposition ou succession si le syndrome initial n'est pas traité correctement, créant ainsi un continuum entre ces deux affections. Ces conditions résultent de micro-fractures causées par une surcharge osseuse sur des zones fragiles, car « l'altération du remodelage osseux favorise leur occurrence » (31). Le SSTM et les fractures de stress sont deux affections osseuses qui peuvent être confondues en raison de leurs symptômes similaires. Cependant, une différenciation peut être établie en évaluant l'étendue de la douleur : le SSTM présente généralement une douleur sur une zone de 5 cm ou plus, tandis que les fractures de stress sont caractérisées par une douleur sur une zone plus restreinte, typiquement 2 ou 3 cm avec une palpation vive et précise (57). Cette douleur peut être présente au repos. L'IRM est souvent utilisée comme référence pour confirmer le diagnostic de fractures de stress (58).

- Syndrome de Loge

Le syndrome des loges se produit lorsque la pression dans les muscles de la jambe devient trop élevée, causant douleur et inconfort, surtout pendant l'activité physique. Les symptômes comprennent une douleur intense, des picotements et une faiblesse musculaire. La douleur survient généralement à une certaine vitesse de course ou distance et disparaît au repos, obligeant souvent à arrêter l'activité (21).

- Tumeur Osseuse

Une tumeur osseuse doit toujours être évoquée, et la radiographie est souvent efficace pour les

dépister.

- Téo-synovite du Tendon Tibial Antérieur

Peut causer des douleurs similaires, mais une palpation soigneuse permet de redresser le diagnostic.

D'autres diagnostics possibles incluent le piégeage des nerfs tibial et/ou fibulaire ou le syndrome de piégeage de l'artère poplitée. Chacun dépend du cas clinique évoqué par le patient et des éléments recueillis lors de l'interrogatoire.

2.1.11 Traitements

L'objectif principal du traitement du SSTM est de soulager la douleur et de permettre aux patients de reprendre la pratique du sport sans inconfort (59). Cependant, il y a actuellement un manque de preuves pour permettre de décider quelles techniques sont les plus appropriées pour la réhabilitation des patients (27,60). Le traitement va surtout dépendre du stade de la pathologie.

En phase aiguë, le repos relatif est privilégié avec des activités croisées moins stressantes telles que le vélo et la natation (20,27,61). Il faut par contre éviter l'application de glace, de gels antalgiques et d'anti-inflammatoires car ces méthodes entravent la cicatrisation des tissus (62). En phase subaiguë, Dubois et Berg (10) soulignent l'importance de la quantification du stress mécanique dans le traitement des blessures de surutilisation, préconisant une approche active axée sur les exercices, notamment de renforcement musculaires et l'éducation, reléguant les interventions passives en bas de la liste des choix thérapeutiques. Le renforcement musculaire semble renforcer la capacité des tissus à absorber les contraintes mécaniques et ainsi à préparer le corps aux contraintes de la course à pied à long terme (56,63). Le renforcement musculaire fonctionnel aspire à améliorer le contrôle neuromusculaire, la force, l'explosivité et la vitesse de contraction des muscles des membres inférieurs (64). Les exercices, inspirés des mouvements quotidiens et spécifiques à la course à pied, garantissent un transfert efficace vers cette activité sportive (65). De plus, l'éducation sur le lien entre la nature du SSTM et la gestion de la charge est essentielle, avec une attention particulière aux signes précoces de douleur tibiale. Ainsi, la réhabilitation des tissus inflammés nécessite initialement du repos, suivi d'une stimulation progressive par la reprise graduelle des activités, et des exercices pour accroître la tolérance au stress des activités telles que la course à pied (10). Certains patients peuvent nécessiter jusqu'à 90 jours pour courir à

intensité modérée pendant 20 minutes avec une douleur minimale (66). Ainsi une prise en charge précoce avec un masseur-kinésithérapeute, peut réduire la durée de la pathologie.

Concernant le traitement de la douleur, une revue de littérature de 2024 a fait une synthèse des résultats des ondes de choc dans le traitement du SSTM chez les athlètes ou les individus physiquement actifs (67). Un essai contrôlé randomisé (ECR) (68) et deux études comparatives (69,70) ont montré que les patients atteints de SSTM ont constaté une récupération plus rapide et une diminution des niveaux de douleur lorsque le traitement par ondes de choc était associées à des programmes d'exercices de remise en charge progressive. Cependant, dans un petit ECR pilote (71), ils n'ont trouvé aucune différence significative sur le SSTM entre un traitement par ondes de choc et un traitement par ondes de choc avec une dose fictive. Il est difficile de déterminer l'impact de la posologie sur l'efficacité de cette intervention, soulignant ainsi le besoin de recherches supplémentaires dans ce domaine. D'autres traitements diversifiés tels que la cryothérapie, les ultrasons, la mésothérapie sont mentionnés dans la littérature mais leurs recommandations sont limitées par des biais méthodologiques dans les études (60).

2.1.12 La prévention

L'OMS a considéré en 1948 que « la prévention de la maladie comprend des mesures qui visent non seulement à empêcher l'apparition de la maladie, telle que la lutte contre les facteurs de risque, mais également à en arrêter les progrès et à en réduire les conséquences » (72). Elle se divise en plusieurs catégories :

- La prévention primaire vise à empêcher l'apparition d'un problème de santé.
- La prévention secondaire vise à identifier précocement une maladie et à appliquer un traitement approprié pour en arrêter ou en retarder l'évolution.
- La prévention tertiaire à réduire le risque de rechute et de chronicité, au moyen d'une réadaptation efficace, par exemple.

D'après l'article L4321-1 du code de la santé publique de la kinésithérapie, « la pratique de la masso-kinésithérapie comporte la promotion de la santé, la prévention, le diagnostic kinésithérapique et le traitement » (73). La prévention est donc une composante essentielle de la profession des masseurs-kinésithérapeutes. Actuellement, il n'existe aucune recommandation spécifique en matière de prévention pour le SSTM. La prise en charge globale de ces blessures est guidée par le protocole « *PEACE & LOVE* » (74). Le protocole

"PEACE" offre des pratiques thérapeutiques à court terme, tandis que "LOVE" englobe la prise en charge à long terme, couvrant ainsi le continuum de réadaptation. Ce protocole souligne l'importance d'éduquer les patients et d'aborder les facteurs psychosociaux pour améliorer le rétablissement (74). Bien qu'aucune méthode de prévention unique ne se soit révélée efficace de manière constante pour le SSTM, plusieurs méthodes se sont révélées utiles. La nutrition et l'hygiène de vie jouent un rôle crucial dans la prévention et le traitement du SSTM. Une alimentation équilibrée, riche en calcium, vitamine D et protéines, favorise la santé osseuse et musculaire, réduisant ainsi le risque de blessures (75,76). De plus, une bonne hygiène de vie avec des périodes de repos, une bonne hydratation et de récupération adéquate, une progression graduelle dans l'activité physique, diminue ainsi le risque de SSTM.

Concernant les facteurs extrinsèques, des approches telles que les orthèses plantaires, les semelles orthopédiques, le *Kinésio Taping*, les chaussettes compressives et le choix des chaussures semblent avoir peu d'effets sur le risque de blessures liées à la course à pied, notamment sur le risque de SSTM (37,77–79). La controverse persiste quant à la pertinence des étirements dans le sport. Alors que les étirements traditionnels ne semblent pas réduire l'incidence des blessures chez les coureurs (65), certains ont opté pour des routines d'échauffement incluant des étirements dynamiques suivis d'une activité aérobie (80). La question de savoir si les étirements sont pertinents dans le sport suscite encore la controverse. Bien que les étirements traditionnels ne semblent pas diminuer l'incidence des blessures chez les coureurs, certains ont adopté des routines d'échauffement comprenant des étirements dynamiques suivis d'une activité aérobie. Néanmoins, l'effet de ces pratiques sur la prévention des blessures reste ambigu dans la littérature (64). Toutefois, la prévention des blessures sportives reste essentielle pour alléger la pression sur les systèmes de santé, car les avantages de la pratique sportive sur la santé ont un impact direct sur les coûts économiques de la santé (81). Concernant l'entraînement, aucune modification de la fréquence, de l'intensité ou de la durée n'a été associée à une réduction de la prévalence des blessures liées à la course (82). De plus, aucune preuve n'a été trouvée dans la littérature concernant l'efficacité d'un programme d'entraînement intensif par rapport à un programme progressif pour prévenir les blessures. D'autres soulignent l'importance de ne pas augmenter rapidement ou excessivement les distances ou les fréquences d'entraînement afin de prévenir les risques de blessures et de favoriser une progression sûre et efficace dans la pratique sportive. La prévention et la gestion des blessures courantes liées à la course à pied ont été examinées, mais il a été conclu que les connaissances dans ce domaine sont très limitées. Par conséquent, il a été recommandé d'opter

pour un traitement individualisé plutôt qu'un programme de prévention généralisé pour le moment. (83). Plusieurs revues systématiques ont démontré que les programmes d'entraînement neuromusculaire étaient efficaces pour réduire les blessures des membres inférieurs (16,17,84,85). Une étude a révélé avoir obtenu un effet préventif de l'entraînement neuromusculaire avec une réduction de 42 % du risque de blessures aux membres inférieurs (17). L'entraînement neuromusculaire représente donc une approche prometteuse dans la prévention du syndrome de stress tibial médial (86). Il cible les muscles stabilisateurs, l'équilibre et la coordination pour améliorer la fonction globale du système neuromusculaire, corrigeant ainsi les déséquilibres musculaires et renforçant la stabilité articulaire. Cette approche personnalisée comble les lacunes des méthodes traditionnelles.

2.2 Système neuro-musculaire

2.2.1 Définition

Le système neuromusculaire, constitué des interactions entre le système nerveux et musculaire est crucial pour la locomotion et d'autres processus physiologiques. Il englobe les structures nerveuses et musculaires impliquées dans la production et la régulation du mouvement. Le système nerveux, réseau complexe de cellules nerveuses et de centres de contrôle, coordonne les actions musculaires, tandis que le système musculaire, composé de muscles squelettiques, lisses et cardiaques, génère la force et le mouvement. Cette interaction se traduit par la transmission des signaux électriques du système nerveux aux muscles, déclenchant contractions et mouvements. Ainsi, le système neuromusculaire joue un rôle central dans la coordination des mouvements et la maintenance de la posture, intégrant mécanismes biochimiques, types de fibres musculaires et production de force pour assurer une locomotion efficace.

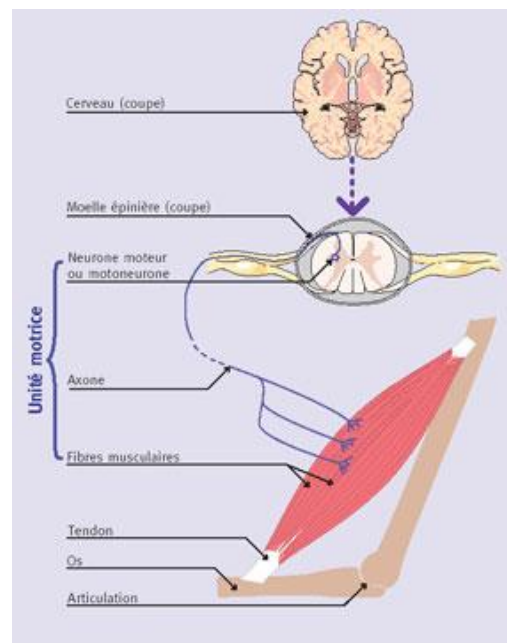


Figure 3 : Schéma du système neuro-musculaire (88).

2.2.2 Le contrôle neuro-musculaire

Le contrôle neuro-musculaire se réfère à la capacité du système nerveux central (le cerveau et la moelle épinière) à coordonner et à réguler l'activité musculaire pour produire des

mouvements précis et contrôlés. Cela implique la communication entre les neurones moteurs, responsables de la commande des muscles, et les récepteurs sensoriels qui fournissent des informations sur la position, le mouvement et la tension musculaire. Dans le contexte de la course à pied, un mouvement effectué de manière optimale implique une coordination précise entre les muscles, une stabilité articulaire adéquate, un équilibre approprié et une utilisation efficace de la force musculaire. Dans cette optique, un contrôle neuro-musculaire adéquat s'avère indispensable, permettant de stabiliser les articulations, d'absorber les chocs et de répartir de manière efficace les forces lors de l'activité physique. Ceci est particulièrement crucial pour prévenir les blessures liées à des impacts répétés tels que le SSTM. Un contrôle neuro-musculaire efficace contribue à la stabilité dynamique en ajustant constamment l'activation musculaire pour répondre aux changements de position du corps, aux forces externes pendant le mouvement et à l'environnement (variations de terrain, obstacles). Les muscles stabilisateurs travaillent en synergie avec les muscles moteurs principaux pour assurer une coordination harmonieuse et une répartition appropriée des charges. L'entraînement neuromusculaire intègre généralement une variété d'exercices incluant le renforcement musculaire, l'équilibre et la stabilité, la pliométrie, le travail de l'agilité, et des exercices spécifiques au sport pratiqué. La douleur peut potentiellement altérer le contrôle neuromusculaire normal après une blessure, entraînant des modifications dans les schémas de mouvement. Par conséquent, la réhabilitation du contrôle neuromusculaire est essentielle pour la récupération après une blessure musculosquelettique, en particulier chez les individus physiquement actifs (87).

2.2.3 L'entraînement neuromusculaire

L'entraînement neuromusculaire est une méthode d'entraînement qui utilise une variété d'exercices, qu'ils soient généraux et spécifiques à l'activité pratiquée. Il s'agit d'exercices d'aérobic, de proprioception, d'équilibre, de force, de pliométrie, d'agilité et de coordination afin d'améliorer les capacités motrices et de renforcer les connexions entre le cerveau et les muscles (16,88). Il favorise également l'hypertrophie musculaire et contribue à stabiliser les articulations. De plus, en corrigeant les défauts de posture et de technique de course, il améliore la biomécanique de la course, diminuant les contraintes sur les articulations et les tissus. L'entraînement neuromusculaire entraîne donc des adaptations neurophysiologiques positives en optimisant le recrutement musculaire pour produire des mouvements fluides et efficaces. En ciblant les déséquilibres musculaires et en évitant les surcharges, il aide également à prévenir les blessures liées à une utilisation excessive. Enfin, l'entraînement

neuromusculaire vise à augmenter la résistance à la fatigue en renforçant les muscles et en améliorant leur capacité à maintenir un effort prolongé sans fatiguer excessivement. L'entraînement neuromusculaire est donc guidé par des principes tels que la spécificité de l'activité, l'augmentation progressive des paramètres de l'entraînement et la variabilité des exercices. L'entraînement neuromusculaire permet de préparer le patient à la charge imposée par la pratique réduisant significativement le nombre de blessures à l'instant t et dans le futur si celui-ci est maintenu dans le temps. Il participe aussi à maximiser le développement des performances motrices d'un individu (88).

- Renforcement musculaire

Le renforcement musculaire est un pilier de l'entraînement neuromusculaire pour la prévention du SSTM. Les muscles de la jambe, y compris ceux du mollet, du tibia, et des cuisses, sont ciblés car ils contribuent à stabiliser le tibia et à réduire le risque de contrainte excessive sur le périoste. Renforcer le triceps sural par des exercices excentriques, préconisée par Galbraith (76), est une approche préventive efficace contre la fatigue musculaire, préservant ainsi la qualité de la foulée et réduisant les risques de blessures, notamment les SSTM. Souvent réalisés en poids du corps, ces programmes améliorent la coordination et la qualité du geste sportif. L'inclusion de la tonification, notamment du tronc avec des exercices de gainage et de "*core stability*" (89), contribue à renforcer la stabilité dynamique nécessaire à la course à pied, réduisant ainsi le risque de contraintes excessives sur le périoste tibial.

- Equilibre et stabilité

Les exercices d'équilibre influencent la proprioception et le réflexe spinal, améliorant ainsi la performance sportive (90). Ces exercices, souvent associés à des perturbations externes liées à la pratique sportive, renforcent la stabilité dynamique nécessaire pour réduire le risque de contraintes excessives sur le périoste tibial lors de la course à pied. De plus, il a été suggéré que les changements dans la proprioception et le contrôle neuromusculaire sont principalement responsables de ces effets (91).

- Pliométrie

La pliométrie exploite la capacité musculaire à emmagasiner et restituer de l'énergie de manière explosive. Elle se manifeste principalement par des exercices de sauts et de réceptions visant à améliorer la vitesse et la force des mouvements. Certains programmes intègrent des tâches spécifiques au sport pratiqué, comme des lancers/ rattrapages de balle ou

de ballon pendant le saut.

- Travail de l'agilité

Le travail de l'agilité vise à réduire le temps de réponse corticale pour recruter rapidement les muscles du membre inférieur (92). Cette réactivité musculaire accrue contribue à une meilleure protection articulaire et influe positivement sur la performance. La coordination motrice des membres inférieurs est travaillée en variant des paramètres de la course, tels que la fréquence rapide et la foulée rapprochée. Les exercices peuvent également simuler des situations spécifiques à la pratique, comme éviter des objets lancés ou suivre un parcours avec des changements de directions brusques.

- Exercices spécifiques

Les exercices spécifiques au sport reproduisent des situations réelles avec une application des paramètres mentionnés précédemment. Ils visent à combiner ces paramètres dans des contextes sportifs, permettant ainsi de répéter des gestes spécifiques à la pratique. Ces exercices mettent l'accent sur le bon positionnement segmentaire et le recrutement musculaire approprié pour minimiser le risque de blessures lors d'activités spécifiques, comme les tirs en sautant pour le handball, les tirs et les enchaînements de passes au football, les duels un contre un avec élimination pour les sports de balle, ou encore les frappes suivies de course pour les sports de raquettes. Ces programmes, tels que le "FIFA11+" (93) de la Fédération Internationale de Football Amateur (FIFA) ont démontré des effets positifs sur la performance, la biomécanique et les schémas d'activation musculaire, contribuant ainsi à la prévention des blessures et à l'amélioration des performances sportives.

2.2.4 Programmes d'entraînement neuromusculaire

Une fois les exercices neuromusculaires adaptés sélectionnés pour répondre aux besoins spécifiques des patients, la création de programmes d'entraînement personnalisés devient essentielle. Les programmes d'entraînement neuromusculaire visent à optimiser la qualité du mouvement, renforcer la stabilité dynamique de l'articulation, et rééduquer les schémas de mouvement ou « *pattern* » essentiels aux activités quotidiennes et sportives (94). En les intégrant dans un programme spécifique à la course, les coureurs peuvent améliorer leur capacité à exécuter des mouvements de manière optimale, réduisant ainsi le risque de blessures et favorisant des performances durables.

2.3 Objectifs de cette revue de littérature

La revue de littérature simplifie l'accès aux résultats scientifiques, avec comme objectif principal de présenter l'état des connaissances actuels, soulignant les lacunes et permettant d'initier une conceptualisation pour répondre à la problématique. Cela simplifie la synthèse et l'application pratique des informations, notamment dans le contexte de la course à pied. Malgré ses nombreux avantages, la course à pied expose fréquemment les coureurs à des blessures liées au stress mécanique, dont le syndrome de stress tibial médial. Le syndrome de stress tibial médial est une préoccupation majeure pour les coureurs, entraînant des douleurs et des limitations dans leur pratique sportive. Malgré des facteurs déclenchants encore mal identifiés et l'absence de traitement efficace, l'intégration de l'entraînement neuromusculaire dans sa gestion suscite un vif intérêt dans le milieu sportif et médical. En explorant cette relation, des stratégies de prévention et de gestion peuvent émerger, offrant ainsi des solutions pour améliorer la qualité de vie des coureurs. Tous ces éléments amènent les questionnements suivants :

- Dans quelle mesure l'intégration de l'entraînement neuromusculaire en rééducation peut-elle contribuer à réduire l'incidence du SSTM chez les coureurs ?
- Existe-t-il des preuves cliniques de l'entraînement neuromusculaire dans la réduction de l'incidence du syndrome de stress tibial médial chez les coureurs ?

L'objectif de cette revue est donc de démontrer, à travers ce qui a pu être fait au sein de la littérature, l'efficacité potentielle de programmes neuromusculaires sur une population de coureurs afin de réduire l'incidence du syndrome de stress tibial médial. Les programmes d'entraînement neuromusculaire pourraient exercer une influence préventive bénéfique sur l'incidence du SSTM chez les coureurs.

2.4 Enjeux et pertinence de cette revue de littérature

La blessure sportive va bien au-delà des aspects financiers, ayant un impact profond sur le sportif à plusieurs niveaux : anatomique, physique et psychologique, et entraînant souvent une période d'indisponibilité significative. Dans ce contexte, la prévention revêt une importance cruciale, où le masseur-kinésithérapeute joue un rôle essentiel. En tant que professionnel de santé présent sur le terrain et en cabinet, le masseur-kinésithérapeute identifie les facteurs de risque, propose des programmes préventifs adaptés, éduque les sportifs et les entraîneurs, et assure un suivi pour minimiser les risques de blessures et promouvoir la santé globale des

sportifs. En collaboration avec d'autres professionnels de la santé et du sport, les masseurs-kinésithérapeutes jouent un rôle crucial dans la gestion de la prévention des blessures chez les sportifs, permettant ainsi aux individus de prendre en main leur santé et de limiter la surconsommation de soins. Alors que le syndrome de stress tibial médial demeure une préoccupation fréquente parmi les coureurs, les approches thérapeutiques, en particulier l'entraînement neuromusculaire, suscitent des interrogations significatives dans la littérature actuelle. Bien que des études aient été menées sur le syndrome de stress tibial médial et sur l'entraînement neuromusculaire séparément, il existe encore des lacunes dans notre compréhension de leur relation. Cette revue de littérature pourrait combler ces faiblesses en approfondissant cette connexion et en fournissant des informations précieuses ainsi que des recommandations pratiques pour guider les décisions de traitement et d'entraînement dans la pratique clinique et sportive. Ce mémoire vise à explorer et à évaluer l'efficacité de l'entraînement neuromusculaire comme stratégie de prévention pour le syndrome de stress tibial médial.

3 Méthode

3.1 Stratégie de recherche et modèle PICO

La méthode PRISMA (95) a été utilisée pour réaliser notre revue systématique, permettant de sélectionner les articles scientifiques les plus pertinents. Les critères PICO (Population - Intervention - Comparaison - Outcome) (*Tableau I*) ont été utilisés pour élaborer des mots-clés spécifiques, facilitant la création d'équations de recherche visant à réduire le bruit documentaire. Afin de trouver les mots-clés les plus pertinents, nous avons utilisé l'outil HeTOP pour traduire nos concepts en anglais, la langue la plus utilisée dans le monde scientifique. Puis en utilisant l'outil Mesh Database de Pubmed, nous avons maximisé nos résultats en trouvant des synonymes et mots-clés pertinents, résumés ci-dessous (*Tableau II*)

- Population : Cette revue cible les patients adolescents et adultes, pratiquant des sports à risque de syndrome de stress tibial médial, notamment la course à pied, et exclusivement ceux n'ayant pas déjà cette blessure. Elle se concentre sur la prévention plutôt que sur la réhabilitation et exclut les études avec des patients atteints de cette blessure au moment de l'étude. Elle se base sur une population spécifique de coureurs amateurs, incluant les novices et les récréatifs, mais aussi les coureurs de longue distance, sans restriction d'âge ou de sexe.
- Intervention : Les interventions étudiées comprennent des programmes d'entraînement

neuromusculaire qui peuvent inclure divers exercices tels que l'équilibre, la proprioception, le renforcement musculaire, la pliométrie, etc... La composition de ces programmes peut varier entre les études et aucun critère spécifique concernant le contenu des exercices n'est défini pour l'inclusion dans la revue.

- **Comparateur** : Les interventions sont comparées aux entraînements habituels de la discipline sportive auquel appartient la population ou étudiées sans comparateur spécifique. Les études sont structurées en groupes recevant l'intervention en plus de l'entraînement habituel ou uniquement l'intervention comparés à un groupe ne recevant que l'entraînement habituel.
- **Outcomes** : Le principal critère est l'incidence du syndrome de stress tibial médial. De plus, des critères supplémentaires incluent le taux de blessures mesuré en nombre de blessures par heures d'exposition, ainsi que la modification de paramètres et de facteurs de risques associés à l'apparition de la blessure.

Tableau I : Le modèle PICO

Modèle PICO	Signification
Population	Coureur ayant développé un syndrome de stress tibial médial selon les critères de définition et de diagnostic
Intervention	Evaluation de programme d'entraînement neuro-musculaire
Comparaison	Entraînement habituel de référence ou placebo ou absence d'entraînement
Outcome	Incidence des blessures

Tableau II : Mots-clés en anglais obtenus grâce à l'outil HeTOP

Modèle PICO	Mots-clés
Population	• Runners, Running, Jogging, Athlete, Athletic Person, Run
Intervention	• Shin Splints, Medial Tibial Stress Syndrome (MTSS), Tibial Stress Syndrome, Tibial Periostitis, Periostitis • Neuromuscular, Neuromuscular training, Neuromuscular program, Neuromuscular reprogramming, Neuromuscular control,

	Neuromuscular rehabilitation, Plyometric exercise, Proprioception, Resistance training, Agility training, Exercise program, Aerobic exercise, Balance training, Balance exercise, Strength exercise
Comparaison	
Outcome	• Incidence

3.2 Critères d'éligibilité

Le processus de sélection des études thérapeutiques nécessite d'évaluer l'efficacité d'un traitement, qu'il soit préventif ou curatif. L'objectif principal est généralement de comparer ce traitement ou cette technique à la norme de soins actuelle afin de déterminer s'il présente des avantages. Les critères d'éligibilité, y compris les critères d'inclusion et d'exclusion, sont détaillés dans la section suivante et résumés ci-dessous. (*Tableau III*)

- Critères d'inclusion :

Les articles concernant une population spécifique de coureurs souffrant de syndrome de stress tibial médial, ainsi que ceux traitant de programmes d'entraînement neuromusculaire seront inclus. La sélection des études pour cette revue se fonde sur les grades de recommandations de la HAS, classant chaque type d'étude selon leur niveau de preuve (96)(*Annexe 4*). Nous privilégierons les essais contrôlés randomisés (ECR) en tant qu'études primaires, offrant un niveau de preuve élevé pour une comparaison fiable des résultats. Nous inclurons des ECR de diverses puissances pour une vision complète des données. La qualité méthodologique des études, avec un score supérieur à 4 selon l'échelle de PEDro, dépassant ainsi le seuil minimal modéré, sera également considérée (97). Les études incluses devront avoir été publiées entre 2000 et 2024 et être rédigées en anglais ou en français.

- Critères d'exclusion :

Les études portant sur des populations pratiquant un sport autre que la course à pied, ainsi que celles ne traitant pas de populations atteintes de SSTM seront exclues. Les études secondaires seront écartées de notre analyse en raison de leur niveau de preuves insuffisant. La qualité méthodologique des études, avec un score inférieur à 4 selon l'échelle de PEDro, sera un critère d'exclusion. Les articles écrits avant une certaine date et rédigés dans une autre langue que le français ou l'anglais seront exclus de notre revue.

Tableau III : Listes des critères d'inclusion et d'exclusion pour la revue systématique

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Articles avec population spécifique de coureurs atteint de syndrome de stress tibial médial (SSTM)	Articles avec population pratiquant un autre sport que la course à pied Articles sans population atteinte de syndrome de stress tibial médial (SSTM)
Articles traitant de programmes d'entraînement neuromusculaire	Articles ne traitant pas de programmes d'entraînement neuromusculaire
Articles écrits après 2000	Articles écrits avant 2000
Etudes primaires Etudes ayant un fort niveau de preuves Qualité métrologique avec score >4 PEDro	Etudes secondaires Etudes ayant un faible niveau de preuves Qualité métrologique avec score <4 PEDro
Articles écrits en langue française ou anglaise	Articles écrits dans une autre langue que la langue française ou anglaise

3.3 Equations de recherche et interrogation des bases de données

Nous avons opté pour l'utilisation de différentes équations de recherche en fonction des bases de données consultées. Par exemple, Science Direct restreint l'utilisation à un maximum de huit connecteurs booléens, tandis que Pubmed n'impose aucune limite et que PEDro n'autorise aucun connecteur. Ainsi les équations de recherche ont été ajustées en fonction des exigences spécifiques des bases de données pour minimiser le bruit ou les lacunes documentaires (*Tableau IV*).

Tableau IV : Tableau des équations de recherche pour les bases de données respectives

Base de données	Equation de recherche	Résultats
Pubmed	("Neuromuscular" OR "Neuromuscular Training" OR "Neuromuscular Program" OR "Neuromuscular Reprogramming" OR "Neuromuscular Control" OR "Neuromuscular Rehabilitation" OR "Plyometric Exercise" OR "Proprioception" OR "Resistance Training" OR "Agility Training" OR "Exercise program" OR "aerobic exercise" OR "balance training" OR "balance exercise" OR "strength exercise") AND ("Shin Splints" OR "Medial Tibial Stress Syndrome" OR "Tibial Stress Syndrome" OR "Tibial Periostitis" OR "MTSS" OR "Periostitis")	16 articles

Science Direct	("Neuromuscular" OR "Neuromuscular Training" OR "Neuromuscular Program" OR "Neuromuscular Reprogramming" OR "Neuromuscular Control" OR "Neuromuscular Rehabilitation") AND ("Shin Splints" OR "Medial Tibial Stress Syndrome" OR "Tibial Periostitis")	357 Articles
PEDro	Abstract & Title: Neuromuscular program Subdiscipline: musculoskeletal Title only: media tibial stress syndrome	2 articles
Total		375 Articles

3.4 Sélection des articles

L'ensemble du processus de sélection des articles est illustré dans le diagramme de flux ci-dessous (*figure 3*) :

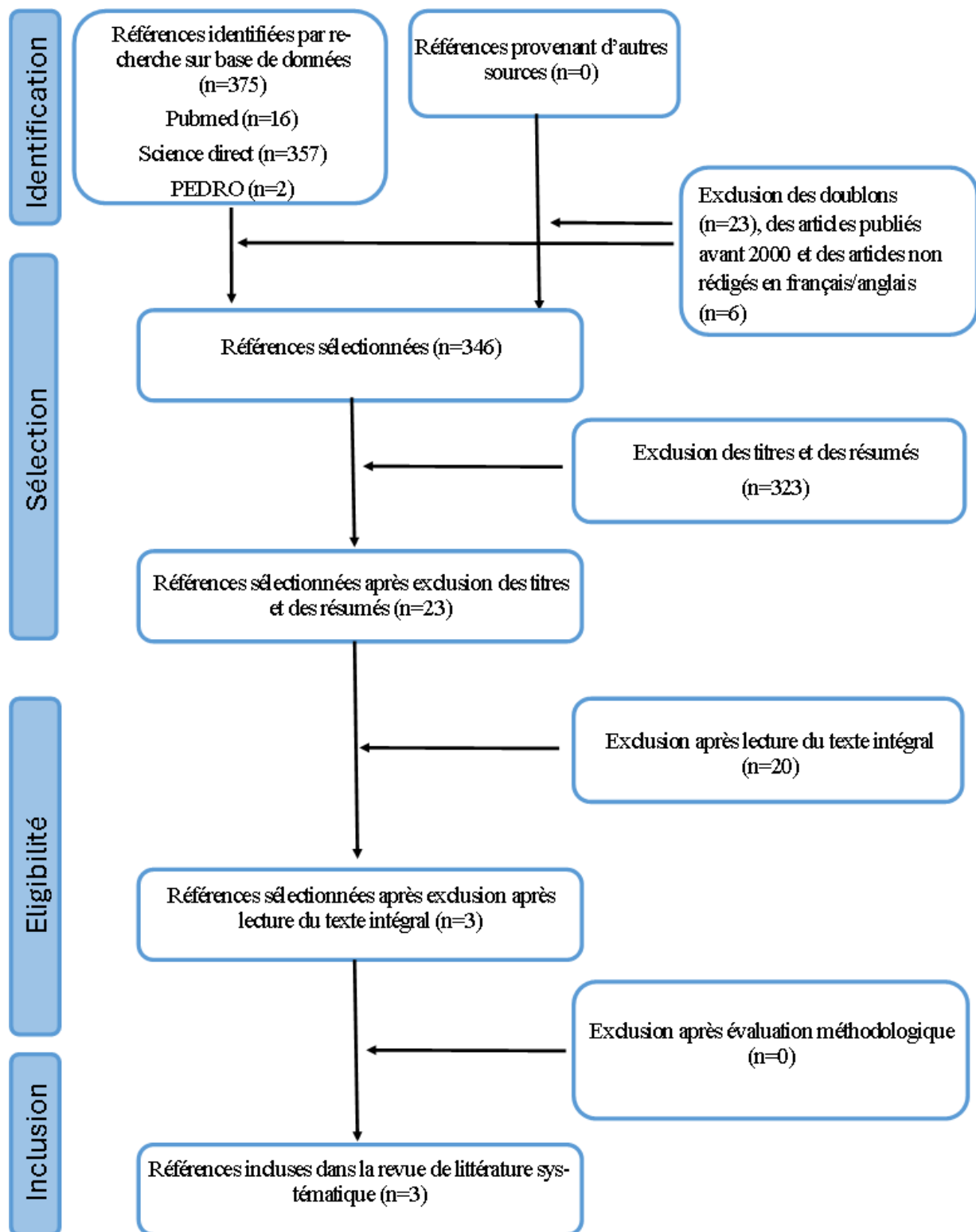


Figure 3 : Diagramme de flux PRISMA : processus de sélection des articles

- Identification

Après avoir entré les équations de recherches dans les bases de données correspondantes, toutes les références bibliographiques sont importées dans l'application Covidence, un outil en ligne qui facilite la réalisation de revue systématique, pour sélectionner les articles plus facilement (98). Au cumul des 3 bases de données, celles-ci ont généré 375 résultats. Science Direct a fait ressortir 357 résultats, Pubmed a fait sortir 16 résultats et PEDro seulement 2.

- Sélection

En premier lieu, en éliminant les 23 doublons ainsi que les 6 articles publiés avant 2000 et non rédigés en français ou en anglais, le nombre total de résultats a été réduit à 346 références. Deuxièmement, l'examen des titres et des résumés des études. Cela a entraîné l'exclusion de 323 articles en fonction des critères d'exclusions prédéfinis juste avant (*Tableau III*). Parmi les exclusions, figuraient des études qui n'était pas des ECR, des études qui ne portaient pas sur la population spécifique de coureurs souffrant de SSTM, d'autres qui ne se concentraient pas sur l'entraînement neuromusculaire, ainsi que celles qui n'abordaient pas l'aspect préventif. A la fin de cette étape, le nombre d'articles était réduit à 23.

- Eligibilité

Troisièmement, la lecture intégrale des articles restants pour vérifier qu'ils répondaient bien aux critères d'inclusion et d'exclusion. 20 études ont été exclues à ce stade car études ne portaient pas sur la population spécifique de coureurs souffrant de SSTM, d'autres études ne se concentraient pas sur l'entraînement neuromusculaire ou sur l'aspect préventif. Cela a réduit le nombre d'articles à 3.

- Inclusion

La dernière étape du processus de sélection est l'étape d'inclusion, qui consiste à évaluer méthodologiquement les articles éligibles. L'évaluation des essais contrôlés randomisés a été effectuée à l'aide de l'échelle PEDro, permettant d'évaluer la validité interne et externe de ces études. Nous avons utilisé cette échelle pour évaluer les 3 articles retenus (99). Le détail des évaluations méthodologiques de chaque étude est présenté dans le tableau ci-dessous (*Tableau V*). Cette échelle comporte onze critères mais le score final est sur dix points car le premier critère évaluant la validité externe de l'article n'est pas pris en compte. Mais cela ne permet pas d'éliminer tous les biais. D'après le tableau, l'étude de Mendez et al. (100) ont obtenu un score de 6/10, celle de Letafatkar et al. (101) ont reçu la note de 7/10. Ces deux études possèdent une bonne qualité méthodologique. En revanche, l'étude de Sharma et al. (102) est jugée de qualité méthodologique modérée, voire faible, avec un score de 4/10.

Tableau V : Evaluation méthodologique des 3 ECR grâce à l'échelle PEDro.

Etude	Critères	Critères d'éligibilité	Répartition aléatoire	Assignment secrète	Groupes similaires	Sujets en aveugle	Intervenants en aveugle	Examineurs en aveugle	Résultats pour 85% des sujets	Intervention conforme requie	Comparaison intergroupe	Effet et variabilité	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Mendez et al. (2021)		N	O	N	O	N	N	N	O	O	O	O	6/10
Sharma et al. (2014)		O	O	O	N	N	N	O	N	N	O	N	4/10
Letafaktar et al. (2020)		O	O	O	O	N	N	N	O	O	O	O	7/10

Interprétation : La notation "O" indique que le critère est validé, tandis que la notation "N" signifie que le critère n'est pas validé. Tout critère non explicitement mentionné est considéré comme non validé "N".

4 Résultats

4.1 Présentation primaire des articles retenus

Les principales caractéristiques des études incluses dans notre revue sont détaillées dans le tableau ci-dessous (*Tableau VI*). Nous y répertorions trois essais contrôlés randomisés récents, publiés entre 2000 et 2024, que nous examinerons afin de répondre à notre problématique (100–102). Au total, les études sélectionnées comprennent 248 individus, principalement des adultes (226). Les trois études présentent un objectif commun qui est d'évaluer l'efficacité de l'entraînement neuromusculaire dans des contextes différents. L'étude de Letafaktar et al. (101) se concentre sur les effets de cet entraînement sur la biomécanique de la course et l'incidence des blessures à travers deux groupes d'intervention différents et un groupe contrôle (101). L'étude de Sharma et al. (102), explore l'effet d'un programme de réentraînement à la marche associé à un entraînement neuromusculaire (102), tandis que l'étude de Mendez et al. (100), vise à déterminer les effets de l'entraînement neuromusculaire sur la prévention des blessures et l'amélioration des performances.

Sur le plan méthodologique, les trois études ont adopté une approche randomisée avec des

groupes d'intervention et de contrôle pour évaluer l'efficacité de l'intervention étudiée. De plus, toutes les études ont suivi des protocoles de recherche rigoureux conformément aux recommandations du Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT), garantissant ainsi la transparence et la reproductibilité des résultats (103).

Les critères d'inclusion et d'exclusion varient entre les études. Pour l'étude de Letafaktar et al. (101), les critères d'inclusion comprennent une expérience de course à pied de plus de 8 km par semaine pendant moins de 2 ans et aucune intervention chirurgicale au membre inférieur dans l'année précédant l'étude. Les critères d'exclusion excluent les participants présentant un alignement du genou en varus ou en valgus de plus de 4° et ceux dont le VALR est inférieur à 70 poids corporels par seconde. Pour l'étude de Sharma et al. (102), les critères d'inclusion comprennent le risque de développer un syndrome de stress tibial médial, l'absence de blessure au membre inférieur dans les 3 semaines précédentes, l'absence de dysfonction neurologique et l'absence d'orthèses. Pour l'étude de Mendez et al. (100), les critères d'inclusion exigent que les participantes fassent partie d'une organisation athlétique de plus d'un an avec des compétitions régionales ou nationales au cours de l'année précédentes, qu'elles s'entraînent sur des épreuves de sprint, de course, de saut à une fréquence d'au moins 3 fois par semaine pendant au moins 2h par séance et qu'elles n'aient pas subi de blessure au membre inférieur dans les 6 mois précédant l'intervention.

Les populations étudiées varient entre les trois études. Letafaktar et al. (101), se concentre sur des coureurs novices masculins d'âge moyen de 32,9 ans, Sharma étudie sur une population de militaire d'âge moyen de 20,1 ans, tandis que Mendez et al. (100) recrute des jeunes athlètes féminines d'athlétisme âgées de 11 à 18 ans.

En ce qui concerne les interventions, la durée et la fréquence varient en fonction des études. Les interventions dans les études de Mendez et al. (100) et Letafaktar et al. (101), s'étendent sur 6 semaines avec une fréquence de 3 séances par semaine. L'intervention de Sharma et al. (102) s'étend sur une période plus étendue de 26 semaines avec 3 séances de 30 minutes par semaine. Pour l'étude de Letafaktar et al. (101), l'évaluation de suivi de l'incidence des blessures post-intervention s'est étendue sur 1 an.

De plus, les types d'entraînement diffèrent également. Letafaktar et al. (101) étudie sur 3 groupes de 20 coureurs l'impact de l'entraînement neuromusculaire associé à des instructions verbales et visuelles pour la correction du valgus sur un groupe (G NMT+VCIs) et sans ces instructions pour un autre groupe (G NMT) vis-à-vis d'un groupe contrôle. Sharma et al.

(102) ont étudié au sein de 2 groupes de 83 jeunes militaires, le réentraînement supervisé de la marche associé à des exercices neuromusculaires et un biofeedback comparé à un groupe contrôle qui effectue seulement l'entraînement militaire habituel. Tandis que l'étude de Mendez et al. (100) explore sur 2 groupes de 11 jeunes athlètes, l'efficacité de l'entraînement neuromusculaire en plus d'un programme de pré-saison normal.

Les trois études partagent des objectifs communs, notamment la mesure de l'incidence des blessures ainsi que l'utilisation de divers outils pour évaluer les aspects biomécaniques ou physiologiques liés à la performance ou à la prévention des blessures. Cependant, des différences apparaissent dans les outils spécifiques utilisés.

Enfin, les études ont été menées dans des contextes différents. L'étude de Letafaktar et al. (101) a été réalisée en laboratoire approuvée par le comité d'examen institutionnel de l'université de Kharazmi. L'étude de Sharma et al. (102) s'est déroulée dans un cadre universitaire aux États-Unis et l'étude de Mendez et al. (100) a été menée au Chili avec l'approbation du comité d'éthique scientifique de l'université Santo Tomás

Tableau VI : Tableau résumant les données relatives des études incluses

Auteurs (année)	Type et objectif de l'étude	Population ou échantillon	Intervention	Groupes d'études	Outcomes et outils de mesure
Mendez et al. (2021)(100)	<u>-Type</u> : ECR en simple aveugle <u>-Objectif</u> : Evaluer les effets de l'entraînement NM sur la diminution des blessures aux membres inférieurs chez des jeunes athlètes féminines d'athlétisme.	-22 jeunes filles athlètes âgées de 11 à 18 ans -CDA identiques entre les 2 groupes	<u>-Durée</u> : 6 semaines <u>-Fréquence</u> : 3 séances/semaine	CONV : 11F -Âge = 15,3 [2,1] ans -Programme pré-saison normal avec exercices anaérobiques, aérobiques, de force (120 min) NMT : 11F -Âge = 15,0 [2,7] ans -Programme pré-saison normal (120 min) + entraînement NM (sauts, atterrissage, courses, exercices force, endurance, agilité, équilibre, CORE)	<u>-Incidence des blessures</u> : -> Mesure du taux d'incidence pour 1000 heures d'exposition -> Risque relatif de blessures (RRB)
Sharma et al. (2014)(102)	<u>-Type</u> : ECR essai prospectif contrôlé et randomisé <u>-Objectif</u> : examiner si un programme de réentraînement à la marche peut réduire l'incidence du syndrome de stress tibial médial au cours d'un régime d'entraînement militaire de 26 semaines.	-166 Adultes Âge moyen ≈ 20,1 ans -CDA identiques entre les 2 groupes	<u>-Durée</u> : 26 semaines <u>-Fréquence</u> : 3 séances de 30min/semaine (10 exercices avec 10 séries semaines 1 à 12 et 14 exercices semaines 12 à 24) <u>-Evaluation pré-test</u> : savoir si répondent aux critères de risque de	CONV : 83 -Entraînement militaire habituel (aérobie, force, anaérobie) NMT : 83 -Entraînement militaire habituel (aérobie, force, anaérobie) + Réentraînement supervisé de la marche + exercices NM (exercices d'étirement, renforcement musculaire, équilibre) (3*30min/semaine) + Biofeedback (1* (30min/semaine)	<u>-Incidence des blessures</u> : -> Risque relatif instantané de blessures (RRB) -> Nombre nécessaire à traiter pour observer une recrue supplémentaire sans blessure (NT)

			blessure <u>Pendant :</u> ajuster programme si nécessaire		
Letafatkar et al. (2020)(101)	<u>Type</u> : ECR randomisé non aveugle <u>Objectif</u> : évaluer les effets de l'entraînement neuromusculaire (NMT) sur la biomécanique de la course et l'incidence des blessures chez les coureurs novices masculins.	-60 coureurs novices masculins répartis au hasard entre les 3 groupes -13,63 km hebdomadaire de moyenne -Âge moyen $\approx 32,9$ ans -CDA identiques entre les 3 groupes	<u>-Durée</u> : 6 semaines <u>-Fréquence</u> : 3 fois par semaine <u>-Evaluation pré et post intervention</u> : suivi aux mois 2 et 12	CONV : 20 -5 exercices (flexion abdominale, hyperextension du dos, flexion des biceps avec une serviette, flexion des triceps avec une serviette et étirement pectoral) NMT : 20 -15' échauffement aérobiques -45' NMT (Renforcement des jambes (squats, fentes) -Renforcement des abducteurs et rotateurs de hanche (marches latérales) Renforcement global et équilibre (exercices sur Bosuball) -Renforcement du dos et des ischio-jambiers (soulevés de terre roumain)) (3 séries/exercices) -Répétitions augmentées toutes les 2 semaines NMT + VCIs : 20 -15' échauffement aérobiques -45' NMT + instructions verbales et visuelles pour la correction du valgus -Répétitions augmentées toutes les 2 semaines	<u>-Incidence de suivi des blessures :</u> -> Nombres de blessures (n)

CONV : groupe conventionnel / NMT : groupe entraînement neuromusculaire / NMT + VCIs : groupe entraînement neuromusculaire avec instructions verbales et visuelles pour la correction du valgus / F : Femmes / CDA : Caractéristiques démographiques et anthropométriques de l'échantillon d'étude

4.2 Caractéristiques des articles retenus

La présentation détaillée des études et de leurs caractéristiques revêt une importance cruciale, car elle nous fournit les premiers éléments d'analyse essentiels pour notre discussion ultérieure dans cette revue. Nous accordons une attention particulière aux différents tests utilisés pour évaluer l'incidence, qui sont pertinents pour répondre à notre problématique, et ces tests sont spécifiés pour chaque étude. Les autres paramètres investigués par les études ne seront pas abordés en détail.

La première étude est celle de **Mendez et al.** (100), qui a pour objectif d'évaluer les effets de l'entraînement neuromusculaire sur l'incidence du syndrome de stress tibial médial, sur l'équilibre, les performances de saut et la perception de la position des articulations sur des jeunes filles pratiquant l'athlétisme. 22 jeunes athlètes féminines âgées de 11 à 18 ans ont été répartis aléatoirement dans le groupe d'entraînement neuromusculaire et le groupe d'entraînement conventionnel (NMT = 11, CONV = 11). Les caractéristiques démographiques et anthropométriques de l'étude (CDA) étaient similaires entre les deux groupes. Les deux groupes suivent alors leur programme de pré-saison habituel sur 6 semaines à raison de 3 séances de 120 minutes par semaine, composé d'exercices anaérobiques, aérobieques, de force. Le groupe d'intervention (NMT) reçoit en supplément un entraînement neuromusculaire de 30 minutes qui intègre des sauts, des atterrissages et des courses avec de la force, de l'endurance, de l'agilité, de l'équilibre et de l'entraînement CORE par le biais d'exercices pliométriques et corporels.

En ce qui concerne l'analyse statistique, pour évaluer les variations dans le nombre de blessures entre les différents programmes d'entraînement, ils ont utilisé le test exact de Fisher. Le risque relatif de blessure (RRB) a été examiné en prenant en considération toutes les blessures. Le RRB représente la division entre deux probabilités ou risques observés dans les groupes de formation. Diverses autres variables de performance ont été mesurées dans l'étude mais nous ne le détaillerons dans cette revue. Le pourcentage de changement et la taille de l'effet ont été évalués à l'aide du coefficient de Cohen, classant les effets comme insignifiants (0-0,19), petits (0,20-0,49), moyens (0,50-0,79) ou grands (0,80 ou plus). Toutes les analyses ont été effectuées avec un niveau de signification alpha de $P < 0.05$.

La deuxième étude est celle de **Sharma et al.** (102), qui a pour objectif d'examiner si un programme de réentraînement à la marche peut réduire l'incidence du syndrome de stress tibial médial, sur l'équilibre du pied au cours d'un régime d'entraînement militaire. 166 recrues adultes âgées de 20,1 ans en moyenne ont été réparties aléatoirement dans le groupe

d'intervention (NMT = 83) et le groupe contrôle (CONV = 83). Les CDA étaient similaires entre les deux groupes. Les deux groupes suivent leur programme d'entraînement militaire habituel sur 26 semaines à une fréquence de 3 séances de 30 minutes par semaine, exercices anaérobiques, aérobiques, de force. Ce programme est composé d'une dizaine d'exercices d'aérobie, de force et d'anaérobie dans la première moitié de la durée du programme puis de 14 exercices dans la seconde moitié. En complément de ce programme, le groupe d'intervention a reçu un réentraînement supervisé de la marche avec des exercices d'entraînement neuromusculaire de 30 minutes par séance ainsi que d'une séance de 30 minutes de biofeedback par semaine.

L'analyse statistique a porté sur l'incidence des blessures, en particulier le syndrome de stress tibial médial, et a été menée à l'aide de la méthode de régression à risques proportionnels de Cox. La méthode de régression à risques proportionnels de Cox est une technique statistique utilisée pour analyser la relation entre le temps écoulé jusqu'à un événement donné et plusieurs variables explicatives, en tenant compte du risque relatif constant au fil du temps (104). Dans cette analyse, la durée de survie en semaines a été considérée comme la variable de temps, le groupe d'intervention (contrôle ou intervention) comme prédicteur. Les valeurs d'effet ont été exprimées sous la forme d'un Hazard Ratio (HR) ajusté pour l'intervention par rapport au groupe témoin, ainsi que par une estimation du nombre nécessaire à traiter au bout de 20 semaines. Le Hazard Ratio (HR) est un indice utilisé en analyse de survie pour comparer le risque d'événement entre deux groupes, indiquant la probabilité relative qu'un événement survienne dans un groupe par rapport à un autre sur une période de temps donnée (104). Les valeurs seuils de 0,9, 0,7, 0,5, 0,3 et 0,1, ainsi que leurs réciproques, ont été déterminées respectivement comme des seuils pour les effets petits (0,9), moyens (0,7), importants (0,5), très importants (0,3) ou extrêmement importants (0,1) lors de l'évaluation du Hazard Ratio (HR).

La dernière étude est celle de **Letafatkar et al.** (101), qui a pour objectif d'évaluer les effets de l'entraînement neuromusculaire sur la biomécanique de la course et l'incidence des blessures, notamment du syndrome de stress tibial médial chez des coureurs novices masculins. 60 coureurs masculins débutants âgés de 32,9 ans en moyenne ont été répartis au hasard entre 3 groupes, un groupe d'entraînement neuromusculaire (NMT = 20), un autre groupe d'entraînement neuromusculaire mais avec des instructions verbales et visuelles pour la correction du valgus du genou en plus (NMT+VCIs = 20) et un groupe contrôle (CONV = 20). Les CDA étaient similaires entre les deux groupes. Les deux groupes d'intervention

suivent le même programme d'entraînement neuromusculaire d'une heure sur 6 semaines à une fréquence de 3 fois par semaine. Ce programme est composé d'échauffements aérobiques et d'exercices de renforcement global, du dos, des membres inférieurs et de l'équilibre. Seulement, un des deux groupes (NMT+VCIs) reçoit des instructions verbales (« *empêcher vos genoux de rentrer vers l'intérieur* ») et visuelles (un miroir) en plus pour corriger le valgus du genou. Le groupe contrôle, lui, comprend 5 exercices composé de flexion abdominale, hyperextension du dos, travail des biceps, travail des triceps et étirement pectoral effectué 3 fois par semaine pendant 6 semaines avec 45 à 60 minutes par séance.

Pour l'analyse statistique, les données démographiques des groupes ont été examinées à l'aide d'analyses de variance à sens unique (ANOVA). D'autres variables cinétiques et cinématiques ont été évalué dans cette étude mais ne seront pas détaillés dans cette revue. Un niveau de $p < 0,05$ a été considéré comme significatif du point de vue statistique. Les tailles d'effet et les intervalles de confiance à 95 % ont ensuite été calculés pour évaluer la signification clinique, avec interprétation des tailles d'effet selon le coefficient de Cohen (petit $\leq 0,4$, moyen $\frac{1}{4}$ 0,41 à 0,7, grand $\geq 0,70$).

4.3 Résultats des interventions

Les résultats principaux concernent l'incidence de blessures et sont présentés dans le tableau ci-dessous (*Tableau VII*). Parmi les tests effectués, le taux d'incidence pour 1000h d'expositions est une mesure du nombre de blessures standardisée, qui prend en compte le temps d'exposition au risque. Le risque relatif de blessures (RRB) est un ratio qui compare le risque dans un groupe exposé à un facteur de risque avec celui d'un groupe non exposé, tandis que le ratio des risques (HR) est similaire mais est souvent utilisé dans les études de suivi pour tenir compte du temps de suivi. Le nombre de blessures (n) est le nombre total de blessures observées dans une étude ou une population sur une période de temps spécifique. Le nombre nécessaire à traiter (NT) évalue combien de patients doivent être traités avec une intervention pour observer un bénéfice supplémentaire par rapport au groupe de contrôle.

Tableau VII : Résultats sur l'incidence des blessures

Auteurs	Cirières de jugement	Tests	Résultats (Intervalle de confiance à 95%)						
Mendez et al. (100)	Incidence	Taux d'incidence pour 1000h d'exposition	CONV	Blessures			SSTM		
			NMT	17,89			5,96		
		Risque relatif de blessures (RRB)	CONV	6,58			0,82		
			NMT	2,53			3,85*		
				0,38			0,17*		
Sharma et al. (102)	Incidence	Ratio des risques (HR)	CONV	A 0 semaine			A 26 semaines		
			NMT	/			HR = 10/10 = 1		
		Nombre nécessaire à traiter (NT)	CONV	/			HR = 10/2,5 = 0,25 (-75%)		
				A 0 semaine			A 20 semaines		
				/			14		
Letafatkar et al. (101)	Incidence	Nombre Blessures (n)		Avant	Suivi à 1 an	% changement	Avant	Suivi à 1 an	% changement
			CONV	52	59	+13,46%	4 (7,69%)	4 (6,77%)	-11,96%
			NMT	57	39	-31,58%*	6 (10,52%)	4 (10,25%)	-0,02%
			NMT+V CIs	58	28	-65,52%*	5 (8,62%)	1 (5%)	-41,99%

**Blessures atteignant une valeur statistiquement significative (c'est-à-dire $P < 0,05$ test exact de Fisher) ; Un RRB supérieur à 1 indique un risque accru, tandis qu'un RRB inférieur à 1 indique un risque réduit ; un HR supérieur à 1 indique un risque accru, tandis qu'un HR inférieur à 1 indique un risque réduit.*

Dans l'étude de **Mendez et al.** (100), l'entraînement conventionnel (CONV) a entraîné une exposition moyenne de l'athlète de 106,7 (19,8) heures d'exposition de l'athlète et une exposition totale de 1174 heures, tandis que l'entraînement neuromusculaire (NMT) a entraîné une exposition moyenne de 110,5 (22,6) heures et une exposition totale de 1 215 heures. Aucune différence significative n'a été observée entre CONV et NMT en termes d'heures d'exposition de l'athlète ($P = 0,112$). Le taux d'incidence des blessures était de 17,89 (intervalle de confiance [IC] à 95 %, 10,24 à 25,54) blessures pour 1 000 heures d'exposition de l'athlète après un entraînement CONV. En revanche, le taux d'incidence des blessures était de 6,58 (IC à 95 %, 2,02 à 11,15) blessures pour 1 000 heures d'exposition de l'athlète après un entraînement NMT. Si l'on regarde seulement la pathologie qui nous intéresse, c'est-à-dire le syndrome de stress tibial médial (SSTM), le taux d'incidence de blessure était de 5,96 (IC à 95 %, 1,55 à 10,38) blessures pour 1000 heures d'exposition de l'athlète après un entraînement CONV et de seulement 0,82 (IC à 95 %, -0,79 à 2,44) blessures pour 1000 heures d'exposition de l'athlète après un entraînement NMT. Le risque relatif de blessures (RRB) était de 2,53 (IC à 95 %, 0,76 à 8,35) pour le groupe CONV et de 0,38 (IC à 95 %, 0,18 à 0,82) pour le groupe NMT. Pour le SSTM, le risque relatif de blessures était de 3,85 (IC à 95 %, 1,28 à 7,30) pour le groupe CONV et de 0,17 (IC à 95 %, 0,02 à 1,12) pour le groupe NMT.

Dans l'étude de **Sharma et al.** (102), il y a une réduction significative du risque instantané de blessure associé à l'intervention mesuré par le Hasard Ratio (HR), qui est de 0,25 (IC à 95 % : 0,05–0,53). Le nombre nécessaire à traiter pour observer une recrue supplémentaire sans blessure lors de l'intervention par rapport au contrôle à 20 semaines était de 14 (IC à 95%, 11 à 23), ce qui suggère une efficacité significative de l'intervention dans la prévention des blessures liées au syndrome de stress tibial médial.

Dans l'étude de **Letafatkar et al.** (101), l'incidence des blessures dans le groupe NMT plus VCIs montre une réduction plus élevée que le groupe NMT seul dans le suivi. Après un an de suivi, une réduction de 31,58 % des RBB a été observée dans le groupe NMT, tandis que dans le groupe NMT plus VCIs, la réduction était de 65,52 %. Les coureurs présentent un risque plus élevé pour quatre types de blessures, notamment le SSTM. Dans le groupe témoin, une augmentation de 13,46% des RRB a été notée. En conclusion, une réduction significative des taux d'incidence de blessures a été observée dans les groupes ayant reçu l'intervention après un an de suivi.

Les données extraites du tableau VII sont annexées à chacune des études, avec l'annexe 5 pour l'étude de Mendez et al. (100), l'annexe 6 pour l'étude de Sharma et al. (102) et l'annexe 7 pour l'étude de Letafaktar et al. (101).

5 Discussion

Cette discussion explore les implications des résultats obtenus dans le cadre de cette étude et les relie aux connaissances existantes dans le domaine. En analysant les résultats sous différents angles, nous visons à éclairer les perspectives futures de recherche et à identifier les applications pratiques de nos conclusions.

5.1 Analyse des résultats selon la taille d'effet

Dans cette partie, les résultats des études précédemment présentées sont analysés et interprétés. Les résultats sont comparés entre eux selon un seuil de significativité fixé à $p=0,05$. L'analyse statistique initiale évalue l'efficacité des interventions, mais pour une perspective plus clinique, l'examen de la taille d'effet est crucial après avoir observé une différence significative. Mesurée par des méthodes comme le d de Cohen, la taille d'effet détermine si les résultats dépassent un seuil jugé cliniquement pertinent, permettant ainsi une comparaison avec d'autres études et une meilleure compréhension de son impact clinique. Dans l'étude de **Mendez et al.** (100), les résultats de l'étude indiquent une réduction significative du taux d'incidence des blessures chez les athlètes d'athlétisme ayant suivi un programme d'entraînement neuromusculaire (NMT) par rapport à l'entraînement conventionnel (CONV), avec des taux respectifs de 6,58 et 17,89 blessures pour 1 000 heures d'exposition de l'athlète. Cette réduction est également observée spécifiquement pour le syndrome de stress tibial médial, avec des taux respectifs de 0,82 et 5,96 blessures pour 1 000 heures d'exposition de l'athlète. De plus, le risque relatif de blessure (RRB) est significativement plus faible dans le groupe NMT par rapport au groupe CONV, tant pour l'ensemble des blessures ($RR = 0,38$; $P = 0,044$) que pour le syndrome de stress tibial médial ($RR = 0,17$; $P = 0,012$). Ainsi, l'entraînement neuromusculaire (NM) semble offrir une protection contre les blessures chez les athlètes féminines en athlétisme à la fin de la poussée de croissance de l'adolescence (décalage de maturité = 1,6), notamment en réduisant le risque de syndrome de stress tibial médial. Ces conclusions suggèrent que l'entraînement neuromusculaire pourrait avoir un effet bénéfique significatif sur la prévention des blessures chez les athlètes pratiquant l'athlétisme. Cette constatation souligne l'importance clinique de l'intégration de programmes d'entraînement neuromusculaire dans la pratique sportive pour

prévenir les blessures et améliorer les performances des athlètes.

L'étude de **Sharma et al.** (102) a conclu que les recrues de l'armée participant au programme de rééducation de la marche ont présenté une réduction significative du risque instantané de blessure associé à l'intervention mesuré par le Hasard Ratio (HR), qui est de 0,25 (IC à 95 % : 0,05–0,53), indiquant un effet bénéfique potentiellement très important (0,53) ou extrêmement important (0,05) de l'intervention sur la réduction des blessures, par rapport au groupe témoin. Cela se traduit par une réduction de 75 % du risque de blessure par rapport au groupe témoin. Le nombre nécessaire à traiter pour observer une recrue supplémentaire sans blessure en intervention était de 14 sur 26 semaines de programme de formation. La reconversion à la marche a montré des effets bénéfiques sur les facteurs de risque potentiels du syndrome, sans effets indésirables observés, suggérant ainsi que cette stratégie pourrait être une option viable pour réduire l'impact du syndrome de stress tibial médial chez les recrues militaires et éventuellement dans d'autres populations confrontées à une augmentation soudaine de la charge d'entraînement, en lien avec les conclusions de Bullock et al. (105) qui ont identifié l'importance des exercices multiaxiaux, neuromusculaires, proprioceptifs et d'agilité dans la prévention du syndrome chez les militaires. Le programme de rééducation de la marche, intégrant un biofeedback sur les facteurs de risque et des exercices visant à améliorer l'état neuromusculaire, semble être une approche prometteuse pour réduire les blessures. Bien que peu d'études aient directement examiné l'impact du biofeedback sur l'incidence des blessures, des recherches ont montré son efficacité pour réduire les facteurs de risque, comme l'accélération du tibia pendant la course, qui est un facteur de risque suggéré de contrainte de stress tibial médial. Bien que l'impact des interventions d'exercice antérieures sur le syndrome de stress tibial médial ne soit pas clair selon Brushøj (106), la composante exercice actuelle, intégrant des éléments d'entraînement neuromusculaire, pourrait jouer un rôle crucial dans la réduction des blessures, offrant ainsi une stratégie complète et potentiellement efficace pour prévenir le syndrome de stress tibial médial.

Dans l'étude de **Letafatkar et al.** (101), les résultats de l'étude révèlent que l'intervention combinée de l'entraînement neuromusculaire (NMT) et des interventions complémentaires (VCIs) a conduit à une réduction significative des blessures chez les coureurs. Cette réduction est plus prononcée dans le groupe ayant reçu l'intervention combinée (-65,52 %) par rapport au groupe NMT seul (-31,58 %). L'analyse statistique des données a montré des effets de taille moyenne à grande, indiquant une pertinence clinique significative. Les résultats mettent en évidence l'importance d'intégrer des programmes d'entraînement neuromusculaire dans la

pratique clinique pour améliorer à la fois les performances cinétiques et cinématiques, tout en réduisant les risques de blessures chez les coureurs. Deux facteurs principaux peuvent expliquer ces résultats : premièrement, la combinaison du feedback avec des exercices de renforcement musculaire des muscles de la hanche comme le squat, les fentes, la marche latérale et le deadlift ; deuxièmement, la durée prolongée de l'intervention, permettant au corps de s'adapter aux nouveaux schémas moteurs. De plus, quatre types de blessures chez les coureurs présentaient un risque plus élevé (la douleur fémoro-patellaire, le syndrome de la bandelette ilio-tibiale, SSTM, tendinite rotulienne, lombalgie et douleur à la hanche). En outre, les types de blessures signalées varient entre les groupes, avec une incidence plus faible de plusieurs types de lésions dans les groupes ayant reçu l'intervention par rapport au groupe témoin. Cela souligne l'efficacité de l'intervention combinée dans la prévention des blessures spécifiques aux coureurs.

5.2 Analyse des coûts et des risques : applicabilité des résultats

L'analyse du coût/efficacité et des bénéfices/risques des traitements du syndrome de stress tibial est cruciale pour évaluer leur impact clinique et leur rentabilité. Cela est particulièrement important étant donné que le non-traitement des symptômes peut conduire à des complications et affecter la qualité de vie des sportifs. La gestion adéquate des symptômes est cruciale pour prévenir les récurrences et maintenir la santé musculosquelettique des sportifs. Les blessures sportives ont des répercussions qui vont au-delà des implications financières, touchant profondément les sportifs sur les plans anatomique, physique et psychologique, avec une période d'indisponibilité significative. Dans ce contexte, la prévention revêt une importance cruciale et le masseur-kinésithérapeute joue un rôle central. En tant que professionnel de santé, le masseur-kinésithérapeute identifie les facteurs de risque, propose des programmes préventifs adaptés, éduque les sportifs et les entraîneurs, et assure un suivi pour minimiser les risques de blessures et promouvoir la santé globale des athlètes. Les blessures entraînent donc des conséquences sur la qualité de vie du sportif ainsi que des coûts pour le système de santé. Il paraît nécessaire d'intégrer ces programmes d'entraînements avec leur modalité propre. Ces exercices sont réalisables avec très peu de matériels (swiss ball (100,102), bosu (100,101), médecine ball, élastique (101), step (102), haltères (100) ou même sans pour certains exercices et le degré de difficulté est facilement auto-modulable pour le patient. L'utilisation du biofeedback (102) offre une prise de conscience des réponses physiologiques du corps et permet de les réguler en temps réel. Le feedback auditif ou visuel (101) fournit des informations sur la performance ou le comportement en temps réel. Ces

retours contribuent à améliorer la reproductibilité des mouvements en fournissant des repères précis sur la manière dont les exercices sont exécutés. De plus, ils favorisent une meilleure compréhension de l'exercice et de ses instructions car ils offrent une visualisation en temps réel des performances. Cela conduit à une meilleure observance des consignes et à une exécution plus précise des mouvements, ce qui peut améliorer l'efficacité de l'entraînement et réduire le risque de blessures. De plus, Letafaktar et al. (101), confirment le rôle des instructions de contrôle du valgus du genou (ICV) dans la réduction de l'impact de la charge et la prévention des blessures.

Dans le contexte des sports en club, pour garantir l'efficacité à long terme des programmes d'exercices, leur mise en œuvre sur toute la saison sportive est cruciale, avec plusieurs sessions par semaine en complément de l'entraînement régulier des athlètes. Cela implique un investissement de temps considérable, à prendre en compte en fonction des plannings et de la fréquence des séances d'entraînement. De plus, il est indispensable de consacrer du temps en amont de la saison pour former le personnel de l'équipe aux programmes d'exercices. Dans notre revue, la durée des interventions variait de 6 à 26 semaines parmi les 3 études incluses. Nos résultats montrent des effets significatifs dès 6 semaines, mais soulignent également que les programmes d'exercices nécessitent du temps pour prévenir efficacement les blessures. Ils sont en accord avec les recommandations de Halvarsson suggérant que les coureurs devraient commencer ces exercices six à huit semaines avant le début de la saison de saison, afin de s'habituer au programme et de bénéficier pleinement de ses avantages préventifs (107). Bien que réduire le nombre d'exercices puisse améliorer le taux de conformité, cela peut compromettre l'efficacité globale du programme. Selon Sugimoto (108), pour prévenir les blessures du ligament croisé antérieur chez les athlètes féminines, il est recommandé de suivre un entraînement d'au moins deux fois par semaine, avec une durée minimale de 20 minutes par séance. En évaluant la balance bénéfices/risques des exercices neuromusculaires, il semble qu'ils offrent des avantages significatifs pour les patients sans présenter de risques majeurs de blessures, comme le suggèrent nos résultats. Bien que notre échantillon soit limité, aucune des études incluses n'a signalé de risques associés à ces programmes. Ainsi, dans l'ensemble, la balance bénéfices/risques semble favorable à la mise en place de ces exercices. Récemment, il a été rapporté que le fardeau économique des blessures à l'entraînement était estimé à 83,22 euros par blessure et 13,35 euros par participant (109). Certains aspects de la rentabilité des interventions restent incertains. Sharma et al. (102), n'ont par exemple pas pris en compte la modélisation de l'économie de la santé, ce qui aurait évalué si le nombre

nécessaire à traiter représente une intervention rentable. La question se pose quant à la possibilité de simplifier ou de rendre moins coûteuse l'intervention actuelle tout en maintenant son efficacité. Cependant, en raison du contexte clinique de l'étude, il est impossible de répondre avec certitude à cette question. Une évaluation du rapport coût-efficacité de l'intervention pourrait guider les futures améliorations pour augmenter son efficacité et sa rentabilité. En résumé, les programmes d'entraînement neuromusculaire examinés dans les trois études incluses semblent être des options viables pour réduire l'incidence du syndrome de stress tibial médial, en raison de leur faible contrainte et de leur impact potentiellement bénéfique.

5.3 Biais et limites de la revue de littérature

5.3.1 Relatifs aux études incluses

L'étude de **Mendez et al.** (100) présente également des limites importantes à prendre en compte. Tout d'abord, le fait que seules trois épreuves d'athlétisme aient été prises en compte limite la représentativité des résultats à l'ensemble des coureurs, car les besoins et les risques de blessures peuvent varier selon les disciplines et les pratiques individuelles. De plus, la courte période d'évaluation du taux d'incidence des blessures (3 mois) ne reflète pas la durée totale de la saison de pratique de la course, ce qui pourrait sous-estimer le risque réel de lésions de surutilisation. En outre, le fait que les athlètes aient été invités à suivre leur entraînement habituel de pré-saison introduit un facteur de confusion potentiel, car les effets de l'entraînement neuromusculaire pourraient être influencés par d'autres changements dans la pratique sportive. L'approche de l'entraînement neuromusculaire dans l'étude de Mendez et al. (100) a pris en compte plusieurs facteurs, tels que des exercices ciblés sur différents groupes musculaires et capacités motrices des membres inférieurs. Cependant, elle n'a pas examiné spécifiquement si certains de ces facteurs avaient une influence plus significative que d'autres sur la prévention des blessures, soulevant ainsi des questions sur la spécificité et l'efficacité globale de l'intervention.

L'étude menée par **Sharma et al.** (102) présente également certaines limitations importantes à prendre en considération. Tout d'abord, l'impossibilité d'aveugler les participants à une intervention de réentraînement à la marche introduit un risque de biais potentiel, bien que les évaluateurs des résultats aient été aveuglés pour minimiser ce risque. De plus, le choix de cibler spécifiquement le syndrome de stress tibial médial a limité le nombre d'événements traumatiques observés. L'étude a inclus uniquement des hommes et présentait un échantillon

très homogène, rend difficile la généralisation de ses résultats à d'autres populations. De plus, les recrues féminines de l'armée britannique sont plus susceptibles de souffrir de blessures chroniques au bas du dos et aux membres inférieurs (15) en raison de la résistance osseuse réduite chez les femmes (39). Ces constatations soulignent la nécessité de développer des stratégies de prévention des blessures adaptées à diverses populations, notamment celles cherchant à augmenter leur activité physique. Bien que la généralisation des résultats de l'étude de Sharma et al. (102) soit limitée par la nature homogène de l'échantillon, une stratégie de prévention des blessures efficace serait bénéfique pour tous, indépendamment de leur profession, âge, sexe ou niveau de performance. La durée de collecte des données était insuffisante (5 minutes) pour mesurer la vitesse de marche, ce qui remet en question l'interprétation des différences observées dans l'équilibre des pieds. Cette limitation suggère que les différences dans l'équilibre des pieds étaient probablement attribuables à l'intervention de rééducation de la marche plutôt qu'à un déséquilibre fortuit de la vitesse de marche. De plus, la présentation des résultats est très dense, elle manque de clarté et n'offre pas de comparaison avec le groupe témoin. A l'exception du graphique de survie pour illustrer l'incidence de blessure du syndrome de stress tibial médial (*annexe 6*), aucun tableau ou graphique n'est présent, il y a seulement des descriptions textuelles, ce qui rend la compréhension statistique difficile. La justification de l'importance de la taille d'effet avec des termes comme "peut-être très important/ probablement important" est ambiguë pour comprendre la signification exacte des résultats et leur importance clinique.

L'étude menée par **Letafaktar et al.** (101) présente plusieurs limites importantes. Tout d'abord, le fait que seuls des hommes aient été inclus dans l'échantillon limite la généralisation des résultats à une population plus diverse de coureurs. De plus, l'utilisation d'enregistrements rétrospectifs de blessures comporte un risque de biais et d'erreur, ce qui pourrait compromettre la validité des conclusions. Le suivi des sujets n'a pas permis de suivre leur routine de course ni leurs erreurs d'entraînement, ce qui rend difficile de déterminer si la réduction des blessures ou les améliorations biomécaniques observées sont le résultat des interventions appliquées ou de la variabilité de l'entraînement. De plus, l'étude n'a pas évalué la force et l'activation neuromusculaire, ce qui aurait pu fournir des informations importantes sur la relation entre ces variables et l'incidence des blessures. Enfin, la petite taille de l'échantillon limite la capacité à généraliser les effets des interventions sur l'incidence des blessures, soulignant la nécessité de futures études avec des effectifs plus importants pour mieux comprendre ces relations.

Les biais et les limites de la revue de littérature ont été identifiés, notamment ceux relatifs aux études incluses. Premièrement, les critères de sélection des études incluses dans cette revue de littérature ont été rigoureusement définis, cependant, la variabilité des méthodes et de la qualité méthodologique entre les études introduit un biais de sélection, rendant ainsi difficile la comparaison des résultats bien que toutes soient des essais contrôlés randomisés. De plus, la validité interne des études incluses semblait assez faible en raison de divers biais potentiels, tels que le principe de double aveugle qui n'est pas présent, ce qui peut compromettre la comparabilité des groupes et la fiabilité des résultats obtenus. La validité externe des résultats des études incluses dans cette revue reste souvent peu renseignée, ce qui soulève des questions quant à la généralisation des conclusions à d'autres populations ou contextes cliniques similaires, tels que les patients du quotidien. Cela peut-être le renseignement de la taille d'effet ou de l'effet clinique minimal par exemple. Bien que les études incluses aient contribué à la compréhension de certains effets, il convient de noter que la taille de l'échantillon dans ces études était souvent faible, ce qui peut limiter la portée et la généralisation des résultats. En outre, ces échantillons sont largement dominés par des hommes, avec 222 participants masculins comparés à seulement 22 jeunes filles. Cela ne reflète pas la diversité de la population et ne permet pas une représentation adéquate des deux sexes. Les critères d'inclusion des études varient considérablement d'une étude à l'autre, ce qui peut rendre difficile la comparaison des résultats et la synthèse des preuves. L'intégration des caractéristiques psychosociales, telles que recommandée par le modèle EBP, aurait été pertinente. En effet, il est essentiel pour les praticiens de détecter des facteurs tels que la dépression, l'anxiété, le stress, la kinésiophobie, le catastrophisme, ainsi que les divers troubles de l'humeur, de l'alimentation, du sommeil et des comportements addictifs, car ils influent sur la perception de la douleur et sur les stratégies de prise en charge (110,111). Cependant, ces aspects n'ont pas été inclus, ce qui limite la compréhension globale des résultats obtenus.

En ce qui concerne les interventions, l'accent était mis sur les effets de l'entraînement neuromusculaire chez les coureurs à pied sujets au syndrome de stress tibial médial. En revanche, les trois études incluses se distinguent par des protocoles d'intervention variés, comprenant des différences dans les traitements "standard" des groupes témoins, les types d'exercices, les volumes d'entraînement, etc... Les durées des protocoles étaient différentes en fonction des études. Elles sont de 6 ou 26 semaines avec une fréquence de 3 entraînements par

semaine. Par conséquent, l'interprétation des résultats doit être prudente car les conditions varient d'une étude à l'autre, ce qui limite la généralisation des conclusions à d'autres populations. Les variations dans les critères d'évaluation des résultats entre les études incluses peuvent introduire un biais dans l'interprétation des résultats, en particulier car les critères pour analyser l'incidence n'étaient pas les mêmes. Les approches statistiques utilisées dans les études incluses peuvent également présenter des biais potentiels, tels que des limitations dans la modélisation des données ou des hypothèses non vérifiées, ce qui peut affecter la robustesse des résultats obtenus. Les principaux freins restent l'observance des patients au programme et la gestion du temps. Hägglund et al. (112) ont montré qu'une réduction significative des taux de blessures n'a été constatée que dans les équipes ayant la plus grande observance d'un programme d'entraînement neuromusculaire.

5.3.2 Relatif à la méthodologie

Lors de la réalisation d'une revue de littérature, il est crucial de prendre en compte les biais et les limites inhérents à la méthodologie utilisée. Ces éléments peuvent avoir un impact significatif sur la fiabilité et la validité des conclusions tirées. Initialement, le contrôle neuromusculaire n'est pas répertorié parmi les cinq facteurs de risque significatifs (40). Cependant, élaborer des protocoles de traitement pour le syndrome de stress tibial médial (SSTM) en se basant sur ces facteurs de risque existants est difficile, car bon nombre d'entre eux ne peuvent pas être facilement modifiés (113). Ainsi, nous avons pris la décision d'étudier ce facteur de risque car il avait été étudié sur d'autres populations et d'autres pathologies et avait montré des effets bénéfiques sur l'incidence des blessures musculosquelettiques. Par ailleurs, la limitation de la recherche à seulement trois bases de données, dont PEDro spécialisé dans la physiothérapie et la rééducation, PubMed qui se concentre sur les sciences de la vie et de la santé, et ScienceDirect qui englobe divers domaines scientifiques, a pu entraîner l'omission d'études pertinentes disponibles dans d'autres sources spécifiques à notre domaine de recherche. Cette restriction pourrait introduire un biais de sélection en excluant des études importantes publiées ailleurs (114). Les critères d'inclusion et d'exclusion de cette revue pourraient introduire un biais, reposant sur des jugements subjectifs susceptibles d'exclure des études importantes. Par exemple, l'exclusion des articles antérieurs à 2000 pourrait avoir écarté des résultats significatifs, mais assure la pertinence des articles les plus récents. De même, l'exclusion des articles non rédigés en anglais et en français peut avoir écarté des résultats, mais la prépondérance de la langue anglaise dans la littérature scientifique justifie cette décision pour garantir l'accessibilité aux publications internationales. En outre, le

choix de se concentrer sur des articles présentant un haut niveau de preuve, comme les essais contrôlés randomisés, limite le biais d'inclure des études de faible qualité, mais le faible nombre d'ECR trouvés et sélectionnés, en raison du développement récent de la recherche sur l'entraînement neuromusculaire dans des pathologies telles que le syndrome de stress tibial médial, limite la pertinence et la robustesse de cette revue. La méthode par équation de recherche utilisée dans cette revue de littérature pourrait également être sujette à des biais, car les termes de recherche utilisés pourraient ne pas être exhaustifs, excluant ainsi des études pertinentes.

Des biais subsistent dans l'extraction et l'analyse des données de cette revue de littérature, car une seule personne a réalisé le tri, la lecture et l'analyse méthodologique. Pour dissiper les doutes, cette étape de sélection devrait être effectuée par au moins deux personnes afin de réduire la subjectivité et d'éviter un biais de sélection des articles et de leurs résultats (114). De même, l'évaluation de la qualité des études incluses, comme le score PEDro a été fait à la main (101), compromettant ainsi la fiabilité des conclusions. Il est également important de reconnaître le risque de biais de publication sélective, où les études avec des résultats non significatifs peuvent être moins susceptibles d'être publiées, faussant ainsi les conclusions de la revue. En conclusion, une prise de conscience de ces facteurs contribuera à garantir la validité et la fiabilité des conclusions tirées lors de l'interprétation des résultats de notre étude.

5.4 Synthèse des résultats

Cette revue visait à explorer l'impact d'un programme d'entraînement neuromusculaire sur l'incidence des blessures du membre inférieur, en particulier le syndrome de stress tibial médial. Les résultats de nos trois essais contrôlés randomisés ont démontré une réduction significative du taux d'incidence des blessures chez les athlètes ayant suivi ces programmes, ce qui suggère une efficacité préventive prometteuse. Les protocoles d'intervention variés utilisés dans les études analysées ont permis d'évaluer l'efficacité de différentes approches dans la prévention des blessures. Les résultats des études de Sharma et al. (102) et Letafaktar et al. (101) mettent en avant l'importance de combiner le feedback ou le biofeedback avec des exercices de renforcement musculaire pour accroître l'efficacité des interventions préventives. Les analyses statistiques ont mis en évidence des tailles d'effet cliniquement pertinentes pour les interventions évaluées. Concernant la relation entre la dose et l'effet, d'après la méta-analyse de Steib (17), l'entraînement neuromusculaire réalisé sur de courtes périodes de 10 à 15 minutes, deux à trois fois par semaine, avec un volume d'entraînement hebdomadaire de 30

à 60 minutes, a démontré l'effet préventif le plus significatif pour les blessures des membres inférieurs. Ces effets ont été constatés après 20 à 60 séances sur une période d'entraînement de moins de six mois et semblent persistants avec une pratique régulière et continue. Nous pouvons également tenter de caractériser le contenu d'un programme semblant optimal dans la prévention du syndrome de stress tibial médial chez les coureurs. Le contenu doit inclure des exercices d'étirement, de renforcement et d'équilibre, des exercices d'agilité spécifiques au sport selon Thacker (115). De plus, des exercices de contrôle moteur, de feedback ou de biofeedback, de pliométrie, de sauts et d'atterrissage sont retrouvés dans les programmes étudiés (100–102). L'intégration de ces programmes dans la pratique clinique est soulignée comme une stratégie efficace pour réduire les risques de blessures chez les coureurs.

Les biais et les limites de cette revue de littérature sont multiples et nécessitent une attention particulière. En premier lieu, les études incluses présentent diverses limites, notamment des échantillons exclusivement masculins dans les études de Letafaktar et al. (101) et Sharma et al. (102), ce qui entrave la généralisation des résultats à une population plus diversifiée. La durée de suivi des participants et la période de collecte des données étaient insuffisantes dans cette étude, ce qui ne permettait pas une évaluation complète des routines d'entraînement. Par conséquent, l'attribution des résultats aux interventions ou à la variabilité de l'entraînement était difficile, ce qui pourrait avoir conduit à une sous-estimation du risque réel de lésions. De même, la taille restreinte de l'échantillon dans toutes les études limite la généralisation des effets des interventions sur l'incidence des blessures. La prise en compte de seulement trois épreuves d'athlétisme limite la représentativité des résultats à l'ensemble des coureurs (100). Dans les trois études, l'impossibilité d'aveugler les participants à l'intervention introduit un risque de biais potentiel. Concernant la méthodologie, plusieurs biais sont identifiés. La limitation de la recherche à seulement trois bases de données pourrait introduire un biais de sélection en excluant des études pertinentes disponibles ailleurs. De plus, les critères d'inclusion et d'exclusion pourraient être sujet à des jugements subjectifs, excluant potentiellement des études importantes. Le choix de se concentrer sur des articles présentant un haut niveau de preuve limite la pertinence et la robustesse de la revue, étant donné le faible nombre d'essais contrôlés randomisés trouvés. Enfin, des biais subsistent dans l'extraction et l'analyse des données, car une seule personne a réalisé ces tâches, augmentant ainsi le risque de subjectivité. Des précautions doivent être prises lors de l'interprétation des résultats de cette revue de littérature car le niveau de preuve reste trop faible pour émettre des recommandations. Nos conclusions renforcent la littérature existante en fournissant des

preuves supplémentaires de l'efficacité de l'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures sportives, ce qui soutient l'importance croissante de cette approche dans les programmes d'entraînement. En examinant diverses approches d'intervention, cette étude enrichit la compréhension des stratégies préventives disponibles tout en mettant en lumière les lacunes méthodologiques, ce qui souligne la nécessité de recherches futures pour approfondir notre compréhension et améliorer l'efficacité des interventions préventives.

5.5 Perspectives et pistes de réflexion

Cette revue de littérature soulève des questions importantes que nous avons rencontrées au fil de nos lectures scientifiques. Nos conclusions soulignent l'efficacité de l'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures sportives, en particulier du syndrome de stress tibial médial. Les programmes d'entraînement neuromusculaire étudiés nécessitent une mise en place précoce et encadrée par des professionnels compétents pour assurer leur efficacité sur le développement moteur à long terme. La qualité de cet entraînement est retrouvée dans la diversité et la flexibilité des exercices. L'intégration de feedbacks de la part des professionnels et de biofeedbacks de la part des patients permet d'acquérir un meilleur apprentissage moteur. Cependant, malgré ces modalités, ces programmes n'ont pas d'impact sur les principaux facteurs de risque du syndrome de stress tibial médial. Il est donc crucial d'examiner leur effet sur l'ensemble des facteurs de risque lors de la prévention primaire et secondaire. Pour le masseur-kinésithérapeute, reconnaître et adresser les facteurs de risque modifiables est essentiel. Ainsi, disposer de programmes efficaces et adaptés est indispensable pour optimiser la prise en charge et prévenir les récives.

Les résultats de ces études mettent en évidence les effets bénéfiques des programmes, mais ils nécessitent une confirmation par d'autres études présentant un design similaire mais une pertinence clinique et une qualité méthodologique accrues. Il serait également intéressant que les futures recherches évaluent ces programmes sur des populations plus diversifiées, notamment une population plus âgée, étant donné que l'âge moyen dans nos trois études était d'environ 22,71 ans. D'autres études futures pourraient se concentrer sur des populations mixtes ou spécifiquement féminines, cette dernière ayant un risque 6,5 fois plus élevé de souffrir d'une blessure aux membres inférieurs par rapport aux hommes (116). Parmi les études incluses, deux d'entre elles se limitent à des populations exclusivement masculines (101,102). Concernant les outcomes recherchés, dans un contexte d'entraînement neuromusculaire, il aurait pu être intéressant d'observer d'autres effets sur la prévention

comme l'amélioration des performances sportives comme l'amélioration de la coordination, de l'équilibre, de la force musculaire, de la puissance, de la vitesse, de l'endurance, etc... Des indicateurs de la réduction de la fatigue musculaire ou encore d'une récupération plus rapide après l'effort peuvent être des pistes intéressantes pour des recherches futures.

Par ailleurs, des recherches sur d'autres programmes présentant potentiellement une taille d'effet plus importante sont nécessaires. Par exemple, le programme FIFA11+ (93) présente un potentiel prometteur en raison de sa portée mondiale et de son soutien par la fédération. Bien qu'il ait démontré des effets bénéfiques sur divers aspects physiologiques chez les footballeurs, notamment en réduisant les blessures, son efficacité spécifique dans la prévention des blessures au genou nécessite une investigation approfondie. Une analyse systématique de haute qualité des essais cliniques randomisés pourrait éclairer davantage sur son impact réel. En élargissant cette recherche à d'autres sports et à d'autres affections partageant des caractéristiques biomécaniques similaires, il est envisageable qu'un programme similaire puisse être développé pour la course à pied, offrant ainsi des avantages potentiels pour des affections spécifiques telles que le syndrome de stress tibial médial. Malgré le développement et l'étude de programmes d'entraînement neuromusculaire dans divers sports et pour différentes affections du membre inférieur, aucune recommandation universelle n'a été établie à ce jour. Par exemple, des recherches ont été menées dans des sports tels que le basket-ball (18,117,118), le handball (119), le football (120,121), le volleyball (18), mettant l'accent sur des pathologies comme le LCA (122–124) le syndrome fémoro-patellaire (125), les entorses de cheville (16). Par ailleurs, des programmes d'entraînement pour prévenir les blessures en athlétisme sont connues mais n'ont pas étudié leur effet sur le SSTM (126). De plus, pour optimiser la compliance et donc l'efficacité du programme, il apparaît indispensable que tous les membres du staff médico-sportif l'adoptent et que ce programme soit réaliste et adapté à la population ciblée (127).

En ce qui concerne les politiques publiques, nos résultats soulignent l'importance d'investir dans des programmes de prévention des blessures sportives, en mettant l'accent sur l'éducation des entraîneurs, des athlètes et des professionnels de la santé sur l'importance de l'entraînement neuromusculaire. Des politiques visant à rendre ces programmes accessibles et abordables pour tous les athlètes, quel que soit leur niveau de pratique, pourraient contribuer à réduire le fardeau des blessures sportives sur la santé publique.

Les études menées dans différents sports et sur diverses pathologies du membre inférieur soulignent l'efficacité potentielle des programmes d'entraînement neuromusculaire dans la

prévention des blessures. En intégrant ces connaissances dans la pratique clinique et l'entraînement sportif, il est possible de concevoir des interventions plus ciblées et efficaces pour réduire l'incidence des blessures et améliorer les performances des athlètes. Ces perspectives offrent un terrain fertile pour la recherche future et la collaboration interdisciplinaire afin d'optimiser la santé et le bien-être des sportifs.

Cette revue de littérature a influencé notre future pratique professionnelle en nous fournissant de nouvelles connaissances et perspectives. Elle renforce nos compétences en recherche scientifique et en esprit critique, essentielles pour répondre aux exigences de l'Evidence-Based Practice (EBP). En explorant le rôle de l'entraînement neuromusculaire, nous avons identifié des aspects spécifiques à intégrer dans notre pratique clinique, notamment dans la prise en charge préventive des coureurs et les techniques d'apprentissage moteur. Ce travail élargit notre champ d'action professionnel et nous confronte à la complexité de la prévention et de la prise en charge des pathologies courantes. Il souligne également notre rôle multifacette dans un contexte interprofessionnel, où nous devons intégrer nos connaissances, les besoins des patients et les données scientifiques tout en collaborant avec d'autres professionnels aux perspectives différentes.

6 Conclusion

Cette revue systématique visait à évaluer l'efficacité de l'entraînement neuromusculaire dans la prévention du syndrome de stress tibial médial. Nos résultats suggèrent un impact positif de ces programmes sur la réduction de l'incidence chez les coureurs. Cependant, le faible nombre d'articles inclus et les biais potentiels soulignent la nécessité de recherches supplémentaires pour consolider ces conclusions. De nouvelles études standardisées sont attendues pour éclairer davantage cette pathologie complexe et guider les pratiques cliniques. En attendant, l'entraînement neuromusculaire se profile comme une stratégie prometteuse dans la prévention initiale du syndrome de stress tibial médial chez les coureurs. Son intégration dans la prise en charge pourrait améliorer les résultats pour les patients. Ces principes peuvent être généralisés à d'autres contextes de soins, renforçant ainsi les pratiques de rééducation et de prévention dans la masso-kinésithérapie.

BIBLIOGRAPHIE

1. INJEP [Internet]. [cité 25 avr 2024]. Les pratiques sportives en France en 2023 - INJEP - Amélie Mauroux, Philippe Lombardo (INJEP), Jörg Müller (CREDOC). Disponible sur: <https://injep.fr/publication/les-pratiques-sportives-en-france-en-2023/>
2. Lefevre B, Thierry P. Les principales activités physiques et sportives pratiquées en France en 2010.
3. NAPIER C. La science du running: Améliorer son entraînement et prévenir les blessures. Illustrated édition. Vanves: Marabout; 2021. 224 p.
4. Lee DC, Pate RR, Lavie CJ, Sui X, Church TS, Blair SN. Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk. *J Am Coll Cardiol*. 5 août 2014;64(5):472-81.
5. 2008_04_01_CP_ExpCol_ActivPhysSante.pdf [Internet]. [cité 20 nov 2023]. Disponible sur: https://presse.inserm.fr/wp-content/uploads/2017/01/2008_04_01_CP_ExpCol_ActivPhysSante.pdf
6. Yamato TP, Saragiotto BT, Lopes AD. A consensus definition of running-related injury in recreational runners: a modified Delphi approach. *J Orthop Sports Phys Ther*. mai 2015;45(5):375-80.
7. Kinesport. Kinesport. [cité 20 nov 2023]. Entraînement du gainage du pied pour prévenir les blessures liées à la course à pied. Disponible sur: <https://www.kinesport.fr/blog/gainage-pied>
8. van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med*. août 1992;14(2):82-99.
9. Hreljac A, Marshall RN, Hume PA. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Med Sci Sports Exerc*. sept 2000;32(9):1635-41.
10. DUBOIS, BERG B Frédéric. La Clinique Du Coureur (Nouvelle Édition 2022) – Boutique La Clinique Du Coureur [Internet]. [cité 4 févr 2024]. Disponible sur: <https://boutique.lacliniqueducoureur.com/products/livre-la-sante-par-la-course-a-pied>
11. Fields KB, Sykes JC, Walker KM, Jackson JC. Prevention of running injuries. *Curr Sports Med Rep*. 2010;9(3):176-82.
12. Reshef N, Guelich DR. Medial tibial stress syndrome. *Clin Sports Med*. avr 2012;31(2):273-90.
13. Lopes AD, Hespanhol LC, Yeung SS, Costa LOP. What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? *Sports Med*. 2012;42(10):891-905.
14. JULIA M, CROISIER JL, PERREY S, al et. Prévention des troubles musculo-squelettiques chez le sportif. Montpellier: Sauramps médical; 2013. 1 vol. (233 p.). (Acquisitions en médecine physique et de réadaptation).
15. Les kinésithérapeutes, acteurs majeurs de la prévention [Internet]. Ordre des masseurs-kinésithérapeutes. 2022 [cité 25 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.ordremk.fr/actualites/kines/les-kinesitherapeutes-acteurs-majeurs-de-la-prevention/>
16. Hübscher M, Zech A, Pfeifer K, Hänsel F, Vogt L, Banzer W. Neuromuscular Training for Sports Injury Prevention: A Systematic Review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. mars 2010;42(3):413.

17. Steib S, Rahlf AL, Pfeifer K, Zech A. Dose-Response Relationship of Neuromuscular Training for Injury Prevention in Youth Athletes: A Meta-Analysis. *Front Physiol* [Internet]. 14 nov 2017 [cité 1 avr 2024];8. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2017.00920/full>
18. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med*. 1999;27(6):699-706.
19. Bouché RT, Johnson CH. Medial tibial stress syndrome (tibial fasciitis): a proposed pathomechanical model involving fascial traction. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2007;97(1):31-6.
20. Kortebein PM, Kaufman KR, Basford JR, Stuart MJ. Medial tibial stress syndrome. *Med Sci Sports Exerc*. mars 2000;32(3 Suppl):S27-33.
21. Jolivet F. La périostite tibiale. *Le mensuel pratique et technique du kinésithérapeute* [Internet]. 10 juill 2012 [cité 4 févr 2024];534. Disponible sur: <https://www.ks-mag.com/article/6122-la-periostite-tibiale>
22. Devas MB. STRESS FRACTURES OF THE TIBIA IN ATHLETES OR « SHIN SORENESS ». *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*. 1 mai 1958;40-B(2):227-39.
23. Slocum DB. The shin splint syndrome. Medical aspects and differential diagnosis. *Am J Surg*. déc 1967;114(6):875-81.
24. Elsevier Masson SAS [Internet]. [cité 26 avr 2024]. Anatomie de l'appareil locomoteur - Tome 1. Membre inférieur | Livre + Compl. | 9782294777981. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/anatomie-de-l-appareil-locomoteur-tome-1-membre-inferieur-9782294777981.html>
25. Craig DI. Current developments concerning medial tibial stress syndrome. *Phys Sportsmed*. déc 2009;37(4):39-44.
26. Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med*. avr 2002;36(2):95-101.
27. Moen MH, Tol JL, Weir A, Steunebrink M, De Winter TC. Medial tibial stress syndrome: a critical review. *Sports Med*. 2009;39(7):523-46.
28. Yates B, White S. The incidence and risk factors in the development of medial tibial stress syndrome among naval recruits. *Am J Sports Med*. 2004;32(3):772-80.
29. Lefebvre G, Dunca R, Wandji G, Cohen M, Demondion X, Cotten A. Le tibia du coureur. *Journal de Radiologie Diagnostique et Interventionnelle*. 1 déc 2017;98(6):319-27.
30. M N, Fw D, C Z, Kj J. Measures of disease frequency: prevalence and incidence. *Nephron Clinical practice* [Internet]. 2010 [cité 21 nov 2023];115(1). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20173345/>
31. Catonné Y. Elsevier Masson SAS. 2021 [cité 24 sept 2023]. Traumatologie en pratique sportive | Livre + Compl. | 9782294768194. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/traumatologie-en-pratique-sportive-9782294768194.html>
32. Pinney [Internet]. [cité 25 sept 2023]. Disponible sur: http://www.podiatryinstitute.com/pdfs/Update_2015/2015_21.pdf

33. Barton CJ, Bonanno DR, Carr J, Neal BS, Malliaras P, Franklyn-Miller A, et al. Running retraining to treat lower limb injuries: a mixed-methods study of current evidence synthesised with expert opinion. *Br J Sports Med.* mai 2016;50(9):513-26.
34. Fourchet [Internet]. [cité 3 févr 2024]. Disponible sur:
<https://www.facebook.com/watch/?v=1423408027793512>
35. Monaro P. « Shin Splints » - Medial Tibial Stress Syndrome: A Review of the Literature. 2015 juin.
36. Almeida MO, Davis IS, Lopes AD. Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* oct 2015;45(10):738-55.
37. Craig DI. Medial Tibial Stress Syndrome: Evidence-Based Prevention. *J Athl Train.* 2008;43(3):316-8.
38. Franklyn M, Oakes B. Aetiology and mechanisms of injury in medial tibial stress syndrome: Current and future developments. *World J Orthop.* 18 sept 2015;6(8):577-89.
39. Naderi A, Moen MH, Degens H. Is high soleus muscle activity during the stance phase of the running cycle a potential risk factor for the development of medial tibial stress syndrome? A prospective study. *J Sports Sci.* oct 2020;38(20):2350-8.
40. Reinking MF, Austin TM, Richter RR, Krieger MM. Medial Tibial Stress Syndrome in Active Individuals: A Systematic Review and Meta-analysis of Risk Factors. *Sports Health.* 2017;9(3):252-61.
41. Hamstra-Wright KL, Bliven KCH, Bay C. Risk factors for medial tibial stress syndrome in physically active individuals such as runners and military personnel: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* mars 2015;49(6):362-9.
42. Newman P, Witchalls J, Waddington G, Adams R. Risk factors associated with medial tibial stress syndrome in runners: a systematic review and meta-analysis. *Open Access J Sports Med.* 13 nov 2013;4:229-41.
43. Winters M, Veldt H, Bakker EW, Moen MH. Intrinsic factors associated with medial tibial stress syndrome in athletes: A large case-control study. *South African Journal of Sports Medicine.* 2 oct 2013;25(3):63-6.
44. Akiyama K, Noh B, Fukano M, Miyakawa S, Hirose N, Fukubayashi T. Analysis of the talocrural and subtalar joint motions in patients with medial tibial stress syndrome. *Journal of Foot and Ankle Research.* 1 juill 2015;8(1):25.
45. Yüksel O, Özgürbüz C, Ergün M, İşlegen C, Taskiran E, Denerel N, et al. Inversion/Eversion strength dysbalance in patients with medial tibial stress syndrome. *J Sports Sci Med.* 2011;10(4):737-42.
46. Clansey AC, Hanlon M, Wallace ES, Lake MJ. Effects of fatigue on running mechanics associated with tibial stress fracture risk. *Med Sci Sports Exerc.* oct 2012;44(10):1917-23.
47. Escamilla-Martínez E, Martínez-Nova A, Gómez-Martín B, Sánchez-Rodríguez R, Fernández-Seguín LM. The effect of moderate running on foot posture index and plantar pressure distribution in male recreational runners. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2013;103(2):121-5.
48. Madeley LT, Munteanu SE, Bonanno DR. Endurance of the ankle joint plantar flexor muscles in

- athletes with medial tibial stress syndrome: a case-control study. *J Sci Med Sport*. déc 2007;10(6):356-62.
49. Sharma J, Golby J, Greeves J, Spears IR. Biomechanical and lifestyle risk factors for medial tibia stress syndrome in army recruits: a prospective study. *Gait Posture*. mars 2011;33(3):361-5.
 50. Subotnick SI. The biomechanics of running. Implications for the prevention of foot injuries. *Sports Med*. 1985;2(2):144-53.
 51. Cook SD, Brinker MR, Poche M. Running shoes. Their relationship to running injuries. *Sports Med*. juill 1990;10(1):1-8.
 52. Cabinet de podologie du sport à Sèvres - Pierre Lapègue & Mélanie Audier [Internet]. [cité 4 févr 2024]. Périostite tibiale. Disponible sur: <https://www.podologue-sport.com/les-pathologies-du-sportif/periostite-tibiale/>
 53. Elsan [Internet]. [cité 4 févr 2024]. Périostite tibiale — Symptômes et traitements. Disponible sur: <https://www.elsan.care/fr/pathologie-et-traitement/maladies-des-os/periostite-tibiale-definition-symptomes-traitements>
 54. Winters M, Bakker EWP, Moen MH, Barten CC, Teeuwen R, Weir A. Medial tibial stress syndrome can be diagnosed reliably using history and physical examination. *Br J Sports Med*. oct 2018;52(19):1267-72.
 55. Bennett JE, Reinking MF, Pluemer B, Pentel A, Seaton M, Killian C. Factors contributing to the development of medial tibial stress syndrome in high school runners. *J Orthop Sports Phys Ther*. sept 2001;31(9):504-10.
 56. Fredericson M, Bergman AG, Hoffman KL, Dillingham MS. Tibial stress reaction in runners. Correlation of clinical symptoms and scintigraphy with a new magnetic resonance imaging grading system. *Am J Sports Med*. 1995;23(4):472-81.
 57. O F, FICHEZ O. Périostite et fracture de fatigue du tibia. *Sport Med'*. janv 2001;(N°128):p.12-16.
 58. Pegrum J, Dixit V, Padhiar N, Nugent I. The pathophysiology, diagnosis, and management of foot stress fractures. *Phys Sportsmed*. nov 2014;42(4):87-99.
 59. Alfayez. A review article of medial tibial stress syndrome - Journal of Musculoskeletal Surgery and Research [Internet]. [cité 23 janv 2023]. Disponible sur: <https://journalsmr.com/a-review-article-of-medial-tibial-stress-syndrome/>
 60. Winters M, Eskes M, Weir A, Moen MH, Backx FJG, Bakker EWP. Treatment of medial tibial stress syndrome: a systematic review. *Sports Med*. déc 2013;43(12):1315-33.
 61. Couture CJ, Karlson KA. Tibial stress injuries: decisive diagnosis and treatment of « shin splints ». *Phys Sportsmed*. juin 2002;30(6):29-36.
 62. Clinique du coureur fiche technique [Internet]. [cité 1 févr 2024]. Disponible sur: https://az675379.vo.msecnd.net/media/7842110/printemps_2021.pdf
 63. Esculier JF, Bouyer LJ, Dubois B, Fremont P, Moore L, McFadyen B, et al. Is combining gait retraining or an exercise programme with education better than education alone in treating runners with patellofemoral pain? A randomised clinical trial. *Br J Sports Med*. mai 2018;52(10):659-66.
 64. Fokkema T, de Vos RJ, Visser E, Krastman P, IJzerman J, Koes BW, et al. Enhanced injury prevention programme for recreational runners (the SPRINT study): design of a randomised

- controlled trial. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2020;6(1):e000780.
65. Baltich J, Emery CA, Whittaker JL, Nigg BM. Running injuries in novice runners enrolled in different training interventions: a pilot randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports.* nov 2017;27(11):1372-83.
 66. Winters M. The diagnosis and management of medial tibial stress syndrome : An evidence update. *Unfallchirurg.* janv 2020;123(Suppl 1):15-9.
 67. Rhim HC, Shin J, Kang J, Dyrek P, Crockett Z, Galido P, et al. Use of extracorporeal shockwave therapies for athletes and physically active individuals: a systematic review. *Br J Sports Med.* 1 févr 2024;58(3):154-63.
 68. Garcia S, Ramon S, Gomez M, Benet Rodríguez M, Ruiz D, Letrado F, et al. Shockwave treatment for medial tibial stress syndrome in military cadets: A single-blind randomized controlled trial. *International journal of surgery (London, England).* 4 sept 2017;46.
 69. Moen MH, Rayer S, Schipper M, Schmikli S, Weir A, Tol JL, et al. Shockwave treatment for medial tibial stress syndrome in athletes; a prospective controlled study. *Br J Sports Med.* mars 2012;46(4):253-7.
 70. Rompe JD, Cacchio A, Furia JP, Maffulli N. Low-energy extracorporeal shock wave therapy as a treatment for medial tibial stress syndrome. *Am J Sports Med.* janv 2010;38(1):125-32.
 71. Newman P, Waddington G, Adams R. Shockwave treatment for medial tibial stress syndrome: A randomized double blind sham-controlled pilot trial. *J Sci Med Sport.* mars 2017;20(3):220-4.
 72. WHO_HPR_HEP_98.1_fre.pdf [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/67245/WHO_HPR_HEP_98.1_fre.pdf
 73. Article L4321-1 - Code de la santé publique - Légifrance [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000045293687/
 74. Dubois B, Esculier JF. Soft-tissue injuries simply need PEACE and LOVE. *Br J Sports Med.* janv 2020;54(2):72-3.
 75. Brotherhood JR. Nutrition and sports performance. *Sports Med.* 1984;1(5):350-89.
 76. Galbraith RM, Lavalley ME. Medial tibial stress syndrome: conservative treatment options. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 7 oct 2009;2(3):127-33.
 77. Guo S, Liu P, Feng B, Xu Y, Wang Y. Efficacy of kinesiology taping on the management of shin splints: a systematic review. *Phys Sportsmed.* oct 2022;50(5):369-77.
 78. Moen MH, Holtslag L, Bakker E, Barten C, Weir A, Tol JL, et al. The treatment of medial tibial stress syndrome in athletes; a randomized clinical trial. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 30 mars 2012;4:12.
 79. Knapik JJ, Trone DW, Tchandja J, Jones BH. Injury-reduction effectiveness of prescribing running shoes on the basis of foot arch height: summary of military investigations. *J Orthop Sports Phys Ther.* oct 2014;44(10):805-12.
 80. Kemler E, Cornelissen M, Gouttebauge V. The effectiveness of an online intervention in stimulating injury-preventive behaviour in adult novice runners: Results of a randomised controlled trial. *S Afr J Sports Med.* 20 sept 2021;33(1):v33i1a11297.

81. note-d-analyse-n-11-activit-physique-et-sportive-sant-et-qualit-des-finances-publiques-3325.pdf [Internet]. [cité 29 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.sports.gouv.fr/sites/default/files/2023-01/note-d-analyse-n-11-activit-physique-et-sportive-sant-et-qualit-des-finances-publiques-3325.pdf>
82. Kozinc Ž, Šarabon N. Effectiveness of Movement Therapy Interventions and Training Modifications for Preventing Running Injuries: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Sports Sci Med*. sept 2017;16(3):421-8.
83. Enke RC, Gallas JE. Diagnosis, treatment, and prevention of common running injuries. *Journal of Clinical Outcomes Management*. 1 févr 2012;19:86-94.
84. Emery CA, Roy TO, Whittaker JL, Nettel-Aguirre A, van Mechelen W. Neuromuscular training injury prevention strategies in youth sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. juill 2015;49(13):865-70.
85. Herman K, Barton C, Malliaras P, Morrissey D. The effectiveness of neuromuscular warm-up strategies, that require no additional equipment, for preventing lower limb injuries during sports participation: a systematic review. *BMC Med*. 19 juill 2012;10(1):75.
86. Wu H, Brooke-Wavell K, Fong DTP, Paquette MR, Blagrove RC. Do Exercise-Based Prevention Programs Reduce Injury in Endurance Runners? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* [Internet]. 23 janv 2024 [cité 11 mars 2024]; Disponible sur: <https://doi.org/10.1007/s40279-024-01993-7>
87. Herteil J, Denegar CR. A Rehabilitation Paradigm for Restoring Neuromuscular Control Following Athletic Injury. *Athletic Therapy Today*. sept 1998;3(5):12-6.
88. Myer GD, Faigenbaum AD, Ford KR, Best TM, Bergeron MF, Hewett TE. When to Initiate Integrative Neuromuscular Training to Reduce Sports-Related Injuries and Enhance Health in Youth? *Current Sports Medicine Reports*. juin 2011;10(3):155.
89. Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. *Curr Sports Med Rep*. févr 2008;7(1):39-44.
90. Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review. *J Athl Train*. 2010;45(4):392-403.
91. Hewett TE, Paterno MV, Myer GD. Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. sept 2002;(402):76-94.
92. Wojtys EM, Huston LJ, Taylor PD, Bastian SD. Neuromuscular adaptations in isokinetic, isotonic, and agility training programs. *Am J Sports Med*. 1996;24(2):187-92.
93. Bizzini M, Junge A, Dvorak J. Implementation of the FIFA 11+ football warm up program: how to approach and convince the Football associations to invest in prevention. *Br J Sports Med*. août 2013;47(12):803-6.
94. Risberg MA, Mørk M, Jenssen HK, Holm I. Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. nov 2001;31(11):620-31.
95. Shamseer L, Moher D, Clarke M, Gherzi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ*. 2 janv 2015;350:g7647.

96. [etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf) [Internet]. [cité 2 mai 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf
97. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* août 2003;83(8):713-21.
98. Cochrane recommends Covidence for new reviews [Internet]. [cité 25 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.cochrane.org/news/cochrane-recommends-covidence-new-reviews>
99. English - PEDro [Internet]. [cité 12 avr 2024]. Disponible sur: <https://pedro.org.au/>
100. Mendez-Rebolledo G, Figueroa-Ureta R, Moya-Mura F, Guzmán-Muñoz E, Ramirez-Campillo R, Lloyd RS. The Protective Effect of Neuromuscular Training on the Medial Tibial Stress Syndrome in Youth Female Track-and-Field Athletes: A Clinical Trial and Cohort Study. *J Sport Rehabil.* 20 avr 2021;30(7):1019-27.
101. Letafatkar A, Rabiei P, Afshari M. Effect of neuromuscular training augmented with knee valgus control instructions on lower limb biomechanics of male runners. *Physical Therapy in Sport.* 1 mai 2020;43:89-99.
102. Sharma J, Weston M, Batterham AM, Spears IR. Gait retraining and incidence of medial tibial stress syndrome in army recruits. *Med Sci Sports Exerc.* sept 2014;46(9):1684-92.
103. Butcher NJ, Monsour A, Mew EJ, Chan AW, Moher D, Mayo-Wilson E, et al. Guidelines for Reporting Outcomes in Trial Reports: The CONSORT-Outcomes 2022 Extension. *JAMA.* 13 déc 2022;328(22):2252-64.
104. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* janv 2009;41(1):3-13.
105. Bullock SH, Jones BH, Gilchrist J, Marshall SW. Prevention of physical training-related injuries recommendations for the military and other active populations based on expedited systematic reviews. *Am J Prev Med.* janv 2010;38(1 Suppl):S156-181.
106. Brushøj C, Larsen K, Albrecht-Beste E, Nielsen MB, Løye F, Hölmich P. Prevention of overuse injuries by a concurrent exercise program in subjects exposed to an increase in training load: a randomized controlled trial of 1020 army recruits. *Am J Sports Med.* avr 2008;36(4):663-70.
107. Halvarsson B, von Rosen P. Could a specific exercise programme prevent injury in elite orienteers? A randomised controlled trial. *Physical Therapy in Sport.* 1 nov 2019;40:177-83.
108. Sugimoto D, Myer GD, Foss KDB, Hewett TE. Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes: meta- and sub-group analyses. *Sports Med.* avr 2014;44(4):551-62.
109. Hespanhol Junior LC, Huisstede BMA, Smits DW, Kluitenberg B, van der Worp H, van Middelkoop M, et al. The NLstart2run study: Economic burden of running-related injuries in novice runners participating in a novice running program. *J Sci Med Sport.* oct 2016;19(10):800-4.
110. Regnaud JP, Guay V, Marsal C. *Evidence based practice* ou la pratique basée sur les preuves en rééducation. *Kinésithérapie, la Revue.* 1 oct 2009;9(94):55-61.
111. Rousseau L, Bacelon M. Facteurs psychosociaux, douleur et kinésithérapie. *Kinésithérapie, la*

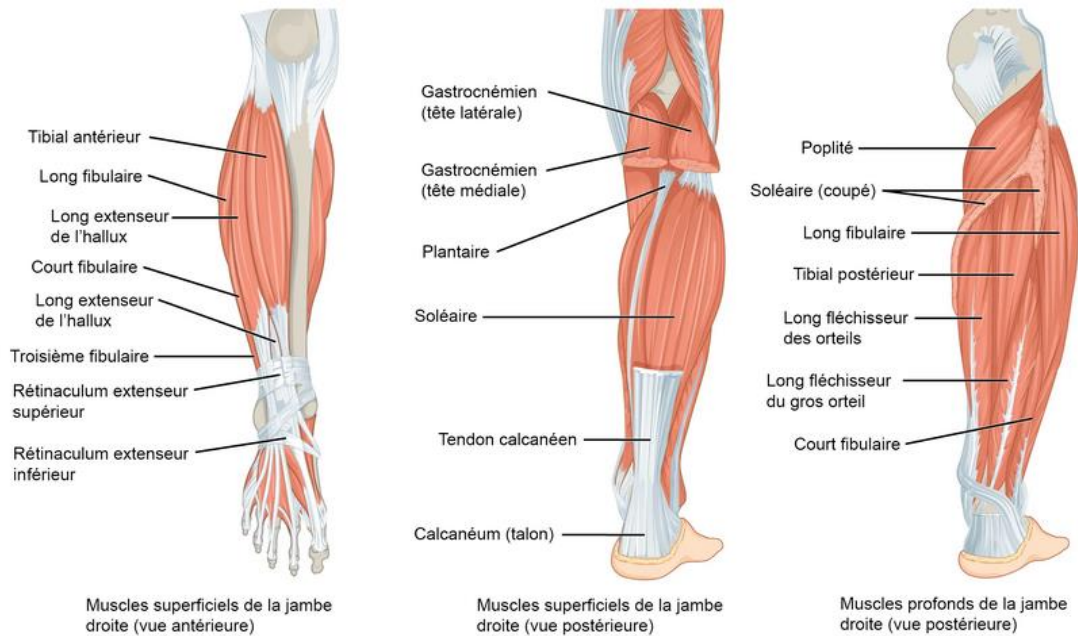
Revue. 1 juin 2017;17(186):33-43.

112. Hägglund M, Atroshi I, Wagner P, Waldén M. Superior compliance with a neuromuscular training programme is associated with fewer ACL injuries and fewer acute knee injuries in female adolescent football players: secondary analysis of an RCT. *Br J Sports Med.* oct 2013;47(15):974-9.
113. Mattock JPM, Steele JR, Mickle KJ. Are Leg Muscle, Tendon and Functional Characteristics Associated with Medial Tibial Stress Syndrome? A Systematic Review. *Sports Med Open.* 9 oct 2021;7(1):71.
114. efficacite_des_methodes_de_mise_en_oeuvre_des_recommandations_medicales.pdf [Internet]. [cité 3 mai 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2014-09/efficacite_des_methodes_de_mise_en_oeuvre_des_recommandations_medicales.pdf
115. Thacker SB, Gilchrist J, Stroup DF, Kimsey CD. The prevention of shin splints in sports: a systematic review of literature. *Med Sci Sports Exerc.* janv 2002;34(1):32-40.
116. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther.* déc 2006;36(12):911-9.
117. Emery CA, Rose MS, McAllister JR, Meeuwisse WH. A prevention strategy to reduce the incidence of injury in high school basketball: a cluster randomized controlled trial. *Clin J Sport Med.* janv 2007;17(1):17-24.
118. LaBella CR, Huxford MR, Grissom J, Kim KY, Peng J, Christoffel KK. Effect of neuromuscular warm-up on injuries in female soccer and basketball athletes in urban public high schools: cluster randomized controlled trial. *Arch Pediatr Adolesc Med.* nov 2011;165(11):1033-40.
119. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ.* 26 févr 2005;330(7489):449.
120. Soligard T, Myklebust G, Steffen K, Holme I, Silvers H, Bizzini M, et al. Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ.* 10 déc 2008;337:a2469.
121. Wesam Saleh AA, Najeebullah S, Evangelos P, Peter J S, Ross H S. How Effective are F-MARC Injury Prevention Programs for Soccer Players? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ)* [Internet]. févr 2016 [cité 30 avr 2024];46(2). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26403470/>
122. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med.* mars 2006;34(3):490-8.
123. Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas AC, Keyhani S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 8 mai 2021;13(1):49.
124. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, Knarr JF, Thomas SD, Griffin LY, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med.* juill 2005;33(7):1003-10.

125. Emamvirdi M, Letafatkar A, Khaleghi Tazji M. The Effect of Valgus Control Instruction Exercises on Pain, Strength, and Functionality in Active Females With Patellofemoral Pain Syndrome. *Sports Health*. 2019;11(3):223-37.
126. Sandrey MA, Mitzel JG. Improvement in dynamic balance and core endurance after a 6-week core-stability-training program in high school track and field athletes. *J Sport Rehabil*. nov 2013;22(4):264-71.
127. Donaldson A, Callaghan A, Bizzini M, Jowett A, Keyzer P, Nicholson M. A concept mapping approach to identifying the barriers to implementing an evidence-based sports injury prevention programme. *Inj Prev*. août 2019;25(4):244-51.
128. Liste des muscles du corps humain. In: Wikipédia [Internet]. 2024 [cité 2 mai 2024]. Disponible sur:
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_des_muscles_du_corps_humain&oldid=2145544

ANNEXES

Annexe 1 : Muscles superficiels et profonds de la jambe en vue antérieure et postérieure d'une jambe droite (128)



Annexe 2 : Tableau résumant les 27 facteurs de risque du SSTM (40)

Significant Pooled Effect		Nonsignificant Pooled Effect	
Low Heterogeneity	Moderate-High Heterogeneity	Moderate-High Heterogeneity	Low Heterogeneity
Female sex	Higher BMI	Lean calf girth	Age
Higher weight	Greater eversion with running	Hip int rot with hip flexed	Height
Higher navicular drop		Leg length difference	Eversion ROM
Previous running injury		Q-angle	Inversion ROM
Greater hip ext rot with hip flexed		Dflex ROM with knee extended	Dflex isom strength
		Dflex ROM with knee flexed	Eversion isom strength
		Inversion isom strength	Tibial varum
		Pflex ROM	Walking speed
		Standing foot angle	Weekly mileage
		Years running	
		History of MTSS	

BMI, body mass index; Dflex, dorsiflexion; ext rot, external rotation; int rot, internal rotation; isom, isometric; MTSS, medial tibial stress syndrome; Pflex, plantarflexion; ROM, range of motion.

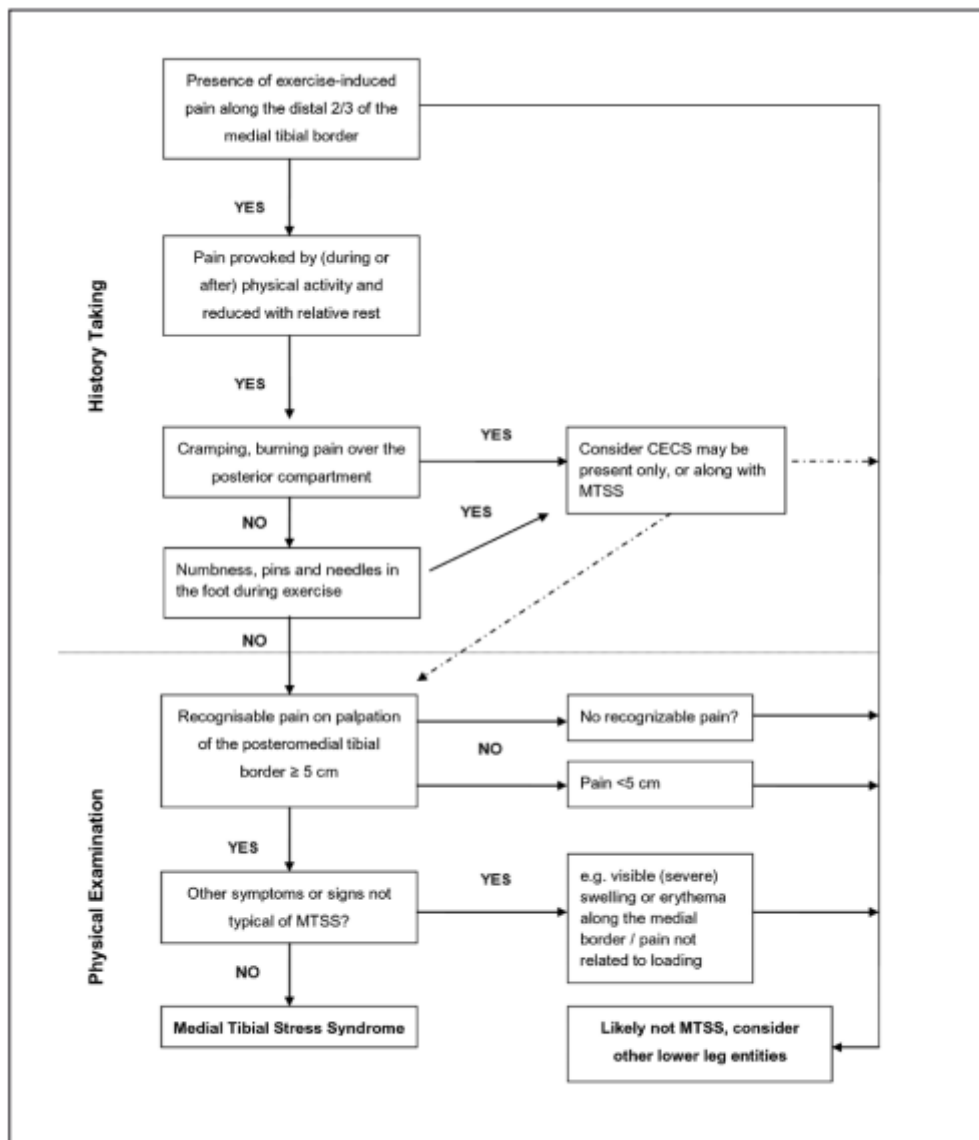
Annexe 3 : Algorithme de diagnostic clinique du syndrome de stress tibial médial (54)

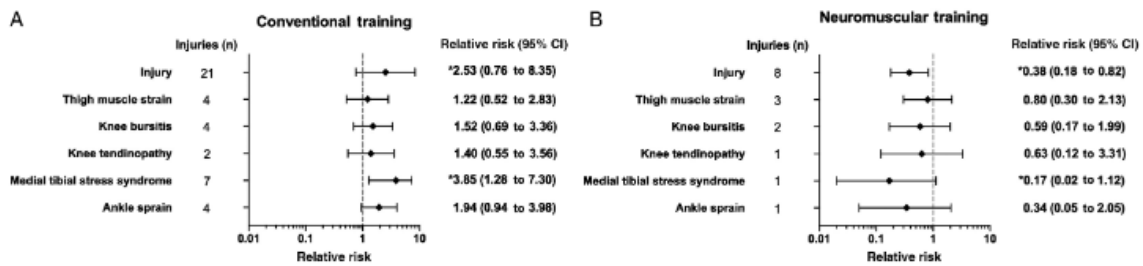
Figure 1. History taking and physical examination tool for lower leg pain in clinical sports medicine practice. MTSS=medial tibial stress syndrome, CECS=chronic exertional compartment syndrome.

Annexe 4 : Tableau de gradation des niveaux de preuves scientifiques selon les études d'après la HAS (96)

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins. Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Annexe 5 : Tableau des résultats de l'étude de Mendez et al. (100),**Table 3 Injury Assessments After Training**

Incidence rate	Conventional training			Neuromuscular training		
	Injuries × 1000 h	95% CI		Injuries × 1000 h	95% CI	
Injury	17.89	10.24	25.54	6.58	2.02	11.15
Thigh muscle strain	3.41	0.07	6.75	2.47	-0.32	5.26
Knee bursitis	3.41	0.07	6.75	1.65	-0.64	3.93
Knee tendinopathy	1.70	-0.66	4.06	0.82	-0.79	2.44
Medial tibial stress syndrome	5.96	1.55	10.38	0.82	-0.79	2.44
Ankle sprain	3.41	0.07	6.75	0.82	-0.79	2.44

**Figure 2** — Relative risk of injury after for conventional and neuromuscular training. The mean relative risk is plotted with 95% CI. *Injuries reaching a statistically significant value (ie, $P < .05$ Fisher exact test). CI indicates confidence interval.

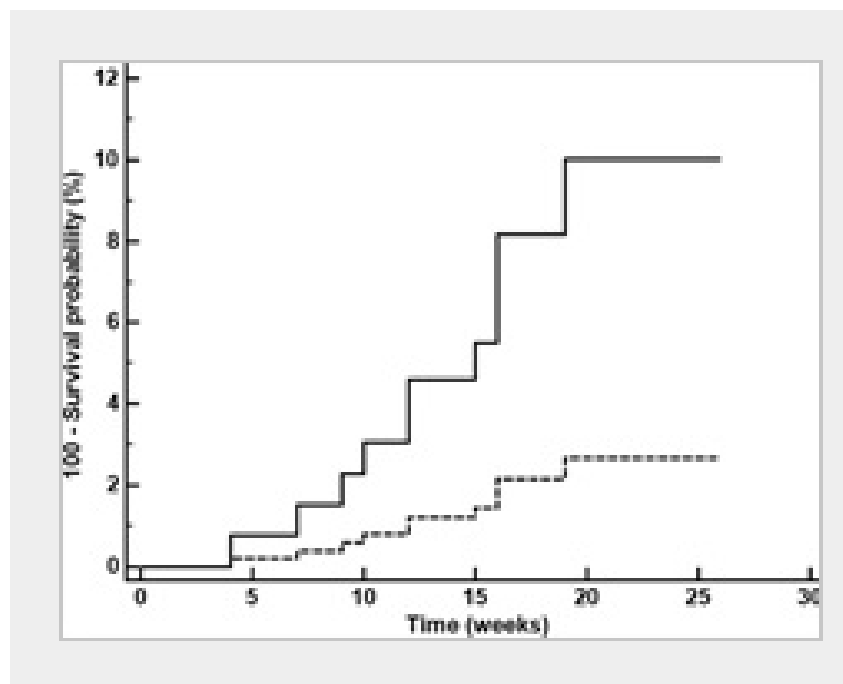
Annexe 6 : Graphique d'analyse de survie de l'étude de Sharma et al. (102)

FIGURE 3: Survival plot for medial tibial stress syndrome over 26 wk. *Solid line*, control; *dashed line*, intervention.

Annexe 7 : Tableau des résultats de l'étude de Letafaktar et al. (101).**Table 5**

No. (%) of running-related injuries in 3 groups.

Groups		PPF	Plantar fasciitis	ITBS	Hamstrings strain	Achilles tendinitis	Calf strain	Shin splints	Patellar tendinitis	Meniscal injury	LBP	total
NMT	pre	N (%) 6	7 (12.28)	8(14.03)	7(12.28)	5(8.77)	5(8.77)	6(10.52)	3(5.26)	4(7.01)	6(10.52)	57
	follow-up	5(12.82)	4(10.25)	6(15.38)	6(15.38)	4(10.25)	3(7.69)	4(10.25)	4(10.25)	0(0)	3(7.69)	39
	N (%)	N (%)										(p = 0.013) ^b 31.58%↓ ^a
NMT plus VCI	pre	N (%) 7(12.06)	6(10.34)	9(13.8)	6(10.34)	4(6.89)	6(10.34)	5(8.62)	6(10.34)	2(3.44)	7(12.06)	58
	follow-up	3(15)	2(10)	3(15)	3(15)	1(5)	3(15)	1(5)	0(0)	0(0)	4(20)	20
	N (%)	N (%)										(p = 0.003) ^b 65.52%↓ ^a
Sham	pre	N (%) 5(9.61)	5(9.61)	6(11.53)	7(13.46)	7(13.46)	5(9.61)	4(7.69)	4(7.69)	3(5.76)	6(11.53)	52
	follow-up	7(11.86)	6(10.16)	9(15.25)	8(13.55)	6(10.16)	5(8.47)	4(6.77)	5(8.47)	2(3.50)	7(11.86)	59
	N (%)	N (%)										(p = 0.217) 13.46%↑ ^a

NMT, neuromuscular training.

PPF, Patella femoral pain; ITBS, Iliotibial band syndrome; LBP, Low back pain.

↑, increase; ↓, decrease.

^a Δ% change from Pre-intervention, equation: (Pretest) – (1-year follow-up)/(Pretest) × 100.^b statistically significant at the p < 0.05.

