

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL
PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM AVANÇOS CLÍNICOS EM FISIOTERPIA**

Gabriela de Moraes e Souza

**ANÁLISE DOS FATORES BIOMECÂNICOS QUE INFLUENCIAM NA
SOBRECARGA DA FÁSCIA PLANTAR: UMA REVISÃO NARRATIVA**

Belo Horizonte

2024

Gabriela de Moraes e Souza

**ANÁLISE DOS FATORES BIOMECÂNICOS QUE INFLUENCIAM NA
SOBRECARGA DA FÁSCIA PLANTAR: UMA REVISÃO NARRATIVA**

Trabalho de conclusão apresentado ao programa de Especialização em Avanços Clínicos em Fisioterapia da Escola de Educação Física, da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fisioterapia Esportiva.

Orientador(a): Simone Lara

Belo Horizonte

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESPECIALIZAÇÃO EM AVANÇOS CLÍNICOS EM FISIOTERAPIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DOS FATORES BIOMECÂNICOS QUE INFLUENCIAM NA SOBRECARGA DA FÁSCIA PLANTAR: UMA REVISÃO NARRATIVA

GABRIELA DE MORAIS E SOUZA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pela Coordenação do curso de ESPECIALIZAÇÃO EM FISIOTERAPIA, do Departamento de Fisioterapia, área de concentração FISIOTERAPIA ESPORTIVA.

Aprovada em 21/06/2024, pela banca constituída pelos membros: Julia Beatriz Rodrigues e Natalia Cardoso Campos.

Renan Alves Resende

Prof(a). Renan Alves Resende
Coordenador do curso de Especialização em Avanços Clínicos em Fisioterapia

Belo Horizonte, 03 de julho de 2024.

RESUMO

Introdução: Os nossos pés desempenham um papel importante nas atividades cotidianas, sendo o primeiro segmento corporal a entrar em contato com solo durante a deambulação e atividades esportivas, como a corrida. Portanto, lesões na estrutura dos pés resultam em impacto negativo na qualidade de vida dos indivíduos. Entre as inúmeras lesões relacionadas à estrutura dos pés, a fascite plantar é uma lesão musculoesquelética comum, que afeta indivíduos de todas as idades e níveis de atividades. **Objetivo:** O objetivo do presente estudo foi revisar na literatura os fatores biomecânicos proximais à articulação do pé, que podem influenciar na sobrecarga da fásia plantar. **Metodologia:** Foi realizada uma busca pelas evidências disponíveis sobre o tema proposto na base de dados eletrônica PubMed, publicadas no idioma inglês e que estavam acessíveis como manuscritos completos em periódicos revisados por pares, desde 1993 a outubro de 2023. Listas de referências de artigos incluídos ou outros relevantes (por exemplo, revisões recentes) foram pesquisadas como referenciais adicionais. **Resultados:** Um total de 19 estudos foram incluídos para a revisão e submetidos à extração de dados. Com base nesses estudos, foram apresentados 10 fatores de risco biomecânicos associados à sobrecarga da fásia plantar, assim sendo, eversão excessiva ou prolongada, índice do arco longitudinal medial plantar, alinhamento do retropé, redução da amplitude de movimento (ADM) de dorsiflexão do tornozelo, aumento da ADM de flexão plantar do tornozelo, aumento da ADM de dorsiflexão da primeira articulação metatarsofalangeana (PAMF) /mecanismo do molinete, tensão do tríceps sural (rigidez/força exercida pelo músculo), força reduzida dos músculos intrínsecos dos pés, aumento da força de reação do solo e tipo de aterrissagem relacionados à corrida. **Conclusão:** a redução de força dos músculos intrínsecos e extrínsecos do pé, o aumento da ADM de flexão plantar, o aumento da rigidez do tendão de Aquiles e o aumento da ADM de dorsiflexão da PAMF (mecanismo de molinete), são os fatores biomecânicos que estão mais relacionados à sobrecarga na fásia plantar e já estão bem descritos por vários estudos.

Palavras-chave: fascite plantar; biomecânica; cinética; cinemática.

ABSTRACT

Introduction: Our feet play an important role in everyday activities, being the first body segment to come into contact with the ground during walking and sporting activities, such as running. Therefore, injuries to the structure of the feet result in a negative impact on the quality of life of individuals. Among the countless injuries related to the structure of the feet, plantar fasciitis is a common musculoskeletal injury, which affects individuals of all ages and activity levels. **Objective:** The objective of the present study was to review in the literature the biomechanical factors proximal to the foot joint, which may influence the overload of the plantar fascia. **Methods:** A search was carried out for available evidence on the proposed topic in the electronic database PubMed, published in the English language and which were accessible as full manuscripts in peer-reviewed journals, from 1993 to October 2023. Reference lists of included articles or others relevant (for example, recent reviews) were searched as additional references. **Results:** A total of 19 studies were included for the review and subjected to data extraction. Based on these studies, 10 biomechanical risk factors associated with plantar fascia overload were presented, i.e., excessive or prolonged eversion, plantar medial longitudinal arch index, rearfoot alignment, reduced range of motion (ROM) of ankle dorsiflexion, increased ROM of plantar flexion of the ankle, increased ROM of dorsiflexion of the first metatarsophalangeal joint (FMJ) / windlass mechanism, tension of the triceps surae (stiffness/force exerted by the muscle), reduced strength of the intrinsic muscles of the feet, increased strength of ground reaction and type of landing related to running. **Conclusion:** The reduction in strength of the intrinsic and extrinsic muscles of the foot, the increase in plantar flexion ROM, the increase in the stiffness of the Achilles tendon and the increase in the dorsiflexion ROM of the FMJ (windlass mechanism), are the biomechanical factors that are most related to overload on the plantar fascia and are already well described by several studies.

Key-words: fasciitis plantar; biomechanical; kinetic; kinematic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 METODOLOGIA	7
2.1 Design	7
2.2 Procedimentos	7
2.3 Critérios de inclusão e exclusão	8
2.4 Extração e análise dos dados.....	9
3 RESULTADOS	9
4 DISCUSSÃO	16
4.1 Hiper mobilidade.....	16
4.2 Tração excessiva.....	19
4.3 Hipomobilidade	23
4.4 Fatores relacionadas à biomecânica da corrida	24
4.5 Limitações do estudo	25
5 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Os nossos pés desempenham um papel importante nas atividades cotidianas, sendo o primeiro segmento corporal a entrar em contato com solo durante a deambulação e atividades esportivas, como a corrida. Para cumprir tão importante tarefa, os pés se organizam como uma estrutura anatomicamente complexa, composta por ligamentos, fásCIAS, articulações e muitos ossos e músculos (1). Infelizmente, essa complexidade anatômica resulta em uma diversidade de demandas (receber e distribuir o peso corporal, adaptar-se às diferentes superfícies, absorver as forças de reação do solo, ser um potente braço de alavanca para gerar potência) que representam também uma grande oportunidade para lesões (2).

Deambular, subir e descer escadas, correr, pular, saltar e chutar são requisitos fundamentais para o desempenho de atividades diárias e esportivas, e para cumprir tais tarefas, é necessário ter pés saudáveis e funcionais (2). Portanto, lesões na estrutura dos pés resultam em impacto negativo na qualidade de vida dos indivíduos (3).

Entre as inúmeras lesões relacionadas à estrutura dos pés, a fascite plantar é uma lesão musculoesquelética comum, que afeta indivíduos de todas as idades e níveis de atividades (4). Ela está entre as 5 lesões nos pés mais comum no esporte (2), sendo especialmente prevalente em corredores, ocupando o terceiro lugar entre as lesões mais prevalentes relacionadas à corrida (5).

A fascite plantar é um distúrbio musculoesquelético caracterizado por dor, especialmente no aspecto inferomedial do calcanhar, que é exacerbada após períodos sem sustentação de peso (6). Ela é caracterizada por uma degeneração crônica, na qual a inflamação não é uma característica predominante. Sua apresentação clínica envolve dor à palpação na região plantar medial do calcanhar, mais perceptíveis nos passos iniciais após um período de inatividade, mas também pior após suporte de peso prolongado e muitas vezes precipitada por um aumento recente na atividade de sustentação de peso (7).

Uma revisão sistemática listou as tendências de pesquisa sobre pé e tornozelo em cinco revistas de medicina geral de alto impacto entre 2000 e 2017, a fascite plantar foi o segundo tópico mais comumente publicado (8). Uma busca na PubMed pelo termo “fascite plantar” retornou mais de 1.900 resultados em junho de 2023, com 669 novas publicações nos últimos 5 anos. O número de pesquisas reflete

a importância da compreensão dessa condição de saúde e da sistematização de informações para a melhor atuação dos profissionais da saúde.

Existem descritos na literatura vários fatores de risco, intrínsecos e extrínsecos, associados à fascite plantar. Os fatores intrínsecos estão relacionados às características próprias do indivíduo como: alinhamento dos pés e membros inferiores, amplitude de movimento do pé e tornozelo, força e resistência muscular e índice de massa corporal. Já os fatores extrínsecos referem-se ao ambiente e a tarefa a ser realizada como: corrida e atividades de sustentação de peso relacionadas ao trabalho, tempo gasto em pé ou se exercitando, calçados e tipos de superfícies (9). Entre eles, os fatores biomecânicos relacionados ao aumento de tensão excessiva na fásia plantar têm sido citados como fundamentais para o desenvolvimento da fascite plantar (6).

Na opinião da autora do estudo, uma avaliação funcional para a compreensão dos padrões de movimento nas atividades diárias e/ou esportivas, e de como os segmentos corporais interagem entre si, gerando sobrecargas em locais específicos, é fundamental para direcionar as condutas para o tratamento de condições de saúde musculoesqueléticas, resultando em desfechos mais eficientes. Logo, o objetivo do presente estudo foi revisar na literatura os fatores biomecânicos proximais à articulação do pé, que podem influenciar na sobrecarga da fásia plantar.

2 METODOLOGIA

2.1 Design

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura.

2.2 Procedimentos

Foi realizada uma busca pelas evidências disponíveis sobre o tema proposto na base de dados eletrônica PubMed, publicadas no idioma inglês e que estavam acessíveis como manuscritos completos em periódicos revisados por pares. Optou-se pela análise de artigos publicados desde 1993 até outubro de 2023, a fim de ampliar os resultados da busca.

Foram utilizadas palavras-chave (MeSH e palavras de texto) para o grupo 1, que diziam respeito à condição de saúde (fasciitis plantar, plantar heel pain, plantar fasc*), para o grupo 2, que diziam respeito à especificação do fator de risco a ser analisado (biomechanical, kinetic*, kinematic*) e para os subgrupos 3 (flatfoot, pronation, medial longitudinal arch), 4 (gastrocnemius, Achilles tend*, ankle dorsiflexion), 5 (first metatarsophalangeal joint, windlass mechanism) e 6 (foot mobility, range of motion, pes cavus). Os termos de busca dos subgrupos diziam respeito as subcategorias de fatores de risco biomecânicos relacionados a sobrecarga na fásia plantar: hipermobilidade do tornozelo/pé, tração excessiva relacionada à cadeia miofascial posterior, mecanismo do molinete e hipomobilidade do tornozelo/pé, respectivamente.

Os termos de cada grupo e subgrupo foram vinculados entre si com “OR” e as pesquisas entre grupos foram combinadas usando “AND”. Foram realizadas 4 buscas distintas combinando os grupos 1 e 2 com os subgrupos 3 a 6. Listas de referências de artigos incluídos ou outros relevantes (por exemplo, revisões recentes) foram pesquisadas como referenciais adicionais.

2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão para a seleção foram: estudos experimentais e quase experimentais, estudos de revisão em geral (sistemáticas e meta análises), estudos biomecânicos, estudos observacionais comparativos de coorte, transversais e caso controle retrospectivo, relatando fatores biomecânicos do tornozelo/pé relevantes para a fascite plantar. Como critérios de exclusão foram adotados: ensaios clínicos, estudos de caso e série de casos, duplicados, que não dizem respeito ao propósito do estudo e sobre dor no calcanhar relacionada a outras condições que não à fascite plantar.

Um revisor fez a primeira triagem dos estudos identificados através da estratégia de busca a partir de uma leitura rápida do título e/ou resumo. Após a triagem, os estudos selecionados tiveram sua elegibilidade confirmada pela leitura integral do artigo. Se o estudo não atendia aos critérios de inclusão e/ou atendia aos critérios de exclusão, ele foi eliminado da análise.

2.4 Extração e análise dos dados

Dados sobre desenho do estudo, características da amostra e grupos, fatores de risco investigados e desfechos encontrados estão resumidos em uma tabela com todos os artigos incluídos (tabela 1).

3 RESULTADOS

Foram encontrados 207 estudos utilizando a estratégia de busca. Após a remoção de duplicatas, eliminação de estudos que não se enquadravam nos critérios de inclusão, ou se enquadravam nos critérios de exclusão, 12 estudos foram selecionados. A partir das listas de referências dos artigos incluídos, 7 artigos foram adicionados. Um total de 19 estudos foram incluídos para a revisão e submetidos à extração de dados (figura 1).

O resumo dos achados e as características dos 19 estudos incluídos são apresentados na tabela 1. Entre os estudos 3 são artigos de revisão, 9 estudos transversais, 5 estudos com modelos computacionais, 1 estudo biomecânico e 1 estudo cadavérico, sendo publicados entre 2000 e 2023 e forneceram dados suficientes para listar 10 fatores de risco biomecânicos associados à sobrecarga da fásia plantar: eversão excessiva ou prolongada, índice do arco longitudinal medial plantar, alinhamento do retropé, redução da amplitude de movimento (ADM) de dorsiflexão do tornozelo, aumento da ADM de flexão plantar do tornozelo, aumento da ADM de dorsiflexão da primeira articulação metatarsofalangeana (mecanismo do molinete), tensão do tríceps sural (rigidez/força exercida pelo músculo), força reduzida dos músculos intrínsecos dos pés, aumento da força de reação do solo e tipo de aterrissagem relacionados à corrida.

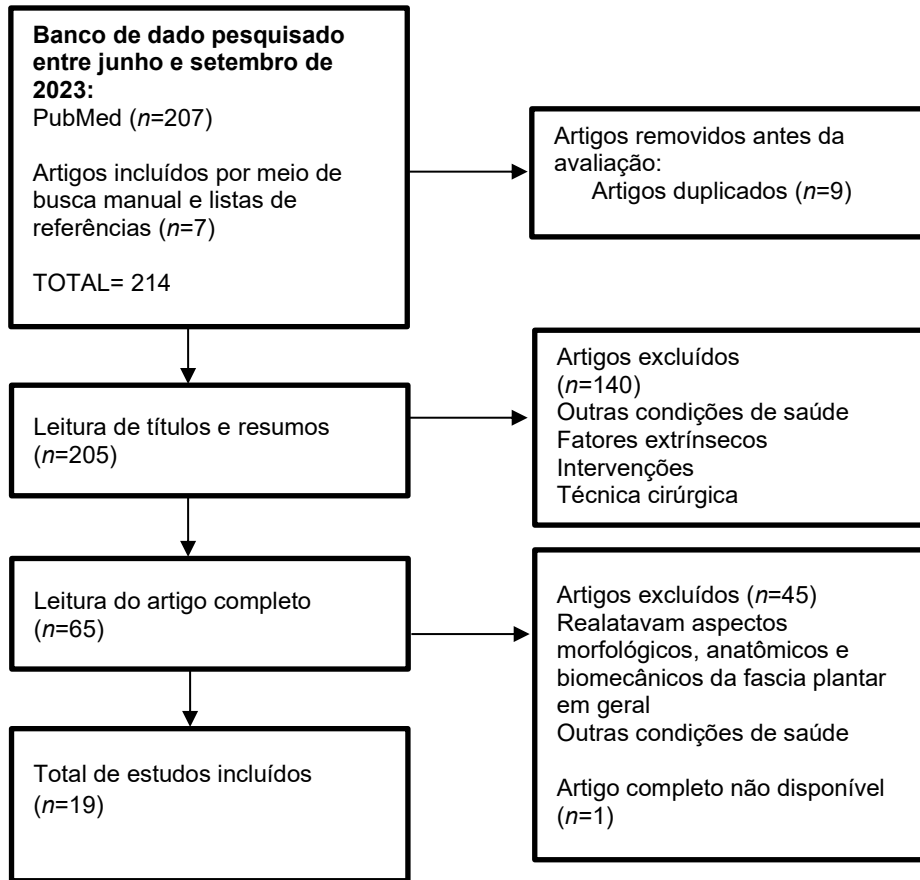


Figura 1. Fluxograma de inclusão e exclusão dos estudos

Tabela 1. Síntese dos estudos incluídos.

Autores	Desenho do estudo	Amostra	Fator de risco estudado	Desfechos
Pohl et al (10) (2009)	Transversal	25 corredoras com histórico de FP 25 corredoras sem histórico de FP	Altura do ALM do pé FRS ADM de dorsiflexão tornozelo Alinhamento do retropé Em corredoras com histórico de FP foi encontrado	Menor (FP) Maior (FP) Maior (FP) Sem diferença Maior FRS e ADM de dorsiflexão, menor altura do ALM, sem diferença na cinemática do retropé.
Wearing et al (11) (2004)	Transversal	10 indivíduos com FP 10 controles saudáveis	Índice do ALM do pé Eversão ADM da PAMF Indivíduos com FP apresentaram	Sem diferença Sem diferença Maior (FP) Maior pico do ângulo da PAMF
Chang et al (12) (2014)	Transversal	22 indivíduos com FP crônica 22 controles saudáveis	Movimento do retropé Velocidade de eversão no CI Eversão total ADM da PAMF no AT Pico de força vertical no AT Indivíduos com FP apresentaram	Maior (FP) Maior (FP) Maior (FP) Maior (FP) Menor (FP) Maior movimento total do retropé e dorsiflexão máxima da PAMF no AT
Ribeiro et al (13) (2011)	Transversal	45 corredores com FP 60 controles saudáveis	Alinhamento do retropé Índice do ALM do pé	Sem diferença Maior (FP)

			Corredoras com sintomas ou história de FP (análise de postura estática)	Não diferiram no alinhamento do retropé, mas apresentaram maior altura do ALM
Pazhooman et al (14) (2023)	Transversal	13 corredores com FP 13 controles saudáveis	Velocidade de eversão no CI ADM passiva da PAMF ADM de flexão plantar no AT	Maior (FP) Menor (FP) Menor (FP)
			O grupo FP apresentou	Maior eversão na fase de apoio inicial e extensão passiva da PAMF reduzida
Sun et al (15) (2022)	Estudo biomecânico	15 corredores amadores saudáveis	Movimento do ALM ADM da PAMF Variação do comprimento da fásia plantar	Maior (ANT) Maior (ANT) Maior (ANT)
			Em diferentes padrões de aterrissagem na corrida (RET e ANT)	A aterrissagem com ANT gera maior estresse na fásia plantar
Johnson et al (16) (2020)	Transversal	125 corredores apresentando lesões de MMII, inclusive fascite plantar 65 controles saudáveis	FRS	Para lesões individuais, a FRS foi significativamente maior em indivíduos com fascite plantar
Chen et al (17) (2019)	Modelo computacional	1 corredor habitual de RET	Deformação da fásia plantar Tensão na fásia plantar	Maior (ANT) Maior (ANT)
			Em diferentes padrões de aterrissagem na corrida (RET e ANT)	Ataque com ANT aumentou a deformação do arco do pé, o estresse do tecido conjuntivo plantar e a força de tração na fásia plantar.

Huerta et al (18) (2014)	Modelo computacional	-	Relação funcional entre a rigidez do gastrocnêmio e a tensão na fásia plantar	A rigidez do músculo gastrocnêmio produz um aumento na tensão do tendão de Aquiles durante atividades de sustentação de peso e aumenta a rigidez da dorsiflexão da articulação do tornozelo.
Pan et al (19) (2021)	Transversal	20 indivíduos com FP 20 controles saudáveis	Rigidez passiva do TA Dor	<p>Maior rigidez (FP) O aumento da rigidez passiva distal do TA está associado à dor (FP)</p> <p>Pacientes com FP apresentaram Rigidez TA significativamente maior, estando relacionada à dor</p>
Carlson et al (20) (2000)	Experimental cadavérico	8 espécimes de MMII de cadáveres	Força de tração no TA e a tensão da fásia plantar	<p>O aumento da força de tração no TA produziu aumentos proporcionais de tensão da fásia plantar</p> <p>A dorsiflexão dos dedos dos pés traciona a fásia plantar e aumenta o efeito que uma força de tração no TA oferece sobre a fásia plantar.</p>
Cheung et al (21) (2006)	Modelo computacional	Pé direito de um indivíduo normal do sexo masculino com 26 anos de idade, altura de 174 cm e peso de 70 kg no posição neutra	Carga do TA Deformação do ALM	Um aumento na carga do tendão de Aquiles resultou em reduções na altura do arco e aumento nas tensões da fásia plantar

Cheng et al (22) (2008)	Modelo computacional	-	Força de tração no TA e a tensão na fásia plantar Dorsiflexão da PAMF	A tensão da fásia plantar aumentou à medida que os ângulos de dorsiflexão da PAMF aumentaram, e esse fenômeno foi potencializado pelo aumento da força no tendão de Aquiles.
Cheng et al (23) (2008)	Modelo computacional	-	Influência dos ângulos de dorsiflexão da PAMF sobre a tensão da fásia plantar (mecanismo do molinete)	A distribuição de tensão ao longo da fásia aumentou progressivamente com a dorsiflexão da PAMF (45 graus>30 graus>15 graus).
Garcia et al (24) (2008)	Transversal	17 indivíduos saudáveis	Influência da dorsiflexão passiva da PAMF na rigidez da fásia plantar (mecanismo de molinete)	A rigidez da fásia plantar foi significativamente maior com a extensão da PAMF, porém um aumento maior da rigidez foi observado no primeiro metatarso.
Sahin et al (25) (2010)	Transversal	64 pés dos 42 indivíduos com dor no calcanhar 80 pés dos 40 pacientes sem dor no calcanhar	Ângulo de inclinação do calcâneo (AIC) Ângulo calcâneo primeiro metatarso (ACP) Comprimento da fásia plantar (CFP) Medida radiográfica do pé no plano sagital, com e sem carga.	As alterações reduzidas de AIC, ACP e CPF durante a sustentação de peso podem mostrar redução da mobilidade do pé e da elasticidade da fásia plantar, o que pode levar à síndrome da dor posterior no calcanhar.
Bolgia et al (26) (2004)	Revisão	-	Pronação excessiva e sua relação com a sobrecarga da FP	FATORES ASSOSSIADOS: Fraqueza muscular, Rigidez do calcanhar Deformidades estruturais do pé

			Subpronação e sua relação com a sobrecarga da FP	Mobilidade articular limitada, Redução da extensibilidade da fásia plantar Aumento da rigidez muscular
Sullivan et al. (9) (2020)	Revisão	-	Alinhamento dos pés Pico de eversão do retropé ADM de dorsiflexão Extensão da PAMF Força e resistência muscular (músculos intrínsecos dos pés)	Não está claro Não está claro Menor (FP) Não está claro Déficit (FP)
			A dor plantar no calcanhar parece estar associada à	Reduzida ADM de dorsiflexão do tornozelo e déficits de força muscular do pé e tornozelo
Hamstra-Wright et al (27) (2021)	Revisão sistemática e meta-análise	Indivíduos fisicamente ativos	ADM de flexão plantar ADM de dorsiflexão do torn. Índice do ALM do pé Alinhamento do retropé Pronação	Maior (FP) Sem diferença Sem diferença Não está claro Não está claro
			Dos 11 fatores de risco analisados	Indivíduos com maior ADM de flexão plantar tiveram maior probabilidade de desenvolver FP

FP (fascite plantar), ALM (arco longitudinal medial), FRS (força de reação ao solo), ADM (amplitude de movimento), PAMF (primeira articulação metatarsofalangeana), CI (contato inicial), AT (apoio terminal), RET (retropé), ANT (antepé), MMII (membros inferiores), TA (tendão de Aquiles)

4 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi revisar na literatura os fatores biomecânicos proximais à articulação do pé que podem influenciar na sobrecarga da fâscia plantar. Os 19 artigos incluídos permitiram listar 10 fatores de risco relacionados à sobrecarga na fâscia plantar. Para facilitar a discussão, os fatores de risco serão separados em 4 subcategorias: hipermobilidade articular, tração excessiva, hipomobilidade articular e fatores relacionados à biomecânica da corrida.

4.1 Hipermobilidade articular

Dentre os fatores de risco da subcategoria hipermobilidade articular temos: alinhamento do tornozelo/pé (índice do arco plantar, alinhamento do retropé), eversão excessiva/prolongada e força reduzida dos músculos intrínsecos e extrínsecos dos pés.

Em relação ao alinhamento do tornozelo/pé, Pohl et al (10) relataram em seu estudo que uma menor altura do arco plantar (índice do arco em posição ortostática) está associado ao histórico de fascite plantar em corredoras. Porém, tanto as medidas estáticas quanto dinâmicas do alinhamento do retropé, foram semelhantes em relação ao grupo controle. Sullivan et al (9) e Hamstra-Wright et al (27), em estudos de revisão sobre os fatores de risco associados ao desenvolvimento da fascite plantar, relatam que a participação do alinhamento do retropé não está clara. Porém, quanto ao índice do arco plantar, relatam não haver diferença quando comparado a indivíduos saudáveis, achado também compatível com o estudo transversal de Wearing et al (11).

Pohl et al (10) relatam que, embora o valgo do calcâneo não tenha sido diferente entre grupos, o fato do grupo com histórico de fascite plantar demonstrar uma altura de arco inferior, poderia ser justificado por uma alteração de movimento do meio do pé, e não a eversão do retropé, enfatizando a importância da análise do movimento do meio do pé em pesquisas futuras. Sendo o índice do arco plantar uma medida estática, talvez fazer a mensuração do movimento dinâmico do meio do pé possa separar os indivíduos com menor arco plantar que podem desenvolver ou não a fascite plantar.

Para finalizar, é importante ressaltar que as corredoras com histórico de fascite plantar que apresentaram menor altura do arco podem ter adquirido, com a prática da corrida ou durante a reabilitação da fascite plantar, uma melhor força da musculatura intrínseca dos pés e perna, fazendo com que, mesmo com a presença de um arco desabado, não apresentem mais a dor plantar, sendo capazes absorver as cargas e gerar força propulsiva durante a corrida, sem sobrecarregar a fásia.

Quanto à eversão excessiva, Chang et al (12) encontraram em seu estudo um maior movimento total do retropé (movimento angular e pico de eversão no contato inicial) em indivíduos com fascite plantar crônica durante a marcha. Os achados de Pazhooman et al (14) corroboram com esses achados em relação a maior velocidade de eversão do retropé no contato inicial, porém durante a corrida. Em contrapartida, Wearing et al (11), não acharam diferença no movimento de eversão de indivíduos com fascite plantar quando comparado à indivíduos saudáveis durante a marcha. Ao analisar os dados parece que a velocidade com que o movimento de eversão acontece é mais importante para a análise como fator de risco para fascite plantar do que o movimento angular

total do retropé. É importante ressaltar que os dois primeiros estudos citados, fizeram uma avaliação tridimensional do movimento de eversão, enquanto o estudo de Wearing et al (11), usou uma avaliação bidimensional no plano sagital para dimensionar um movimento que é tridimensional. As revisões de Sullivan et al (9) e Hamstra-Wright et al (27) relatam que o papel da eversão não está clara, isso é justificado pela diversidade de estudos incluídos e diferenças na amostra e formas de mensuração.

Bolgla et al (26), em uma ampla revisão sobre os mecanismos relacionados à pronação excessiva e sua sobrecarga na fásia plantar, descrevem que o músculo tibial posterior fornece o suporte dinâmico mais significativo do arco durante a fase de contato inicial da marcha. Este músculo alonga-se excêntrica para controlar a pronação e reduzir a tensão aplicada à fásia plantar durante a aceitação do peso. Portanto, a pronação excessiva pode causar fraqueza do tibial posterior e consequente alongamento e tensão da fásia plantar.

O déficit na função muscular dos pés também é considerado um possível fator que contribui para a dor plantar no calcanhar. Os resultados da revisão de Sullivan et al (9) indica que os déficits específicos de força de tornozelo e pé estão associados a fascite plantar. Os autores descrevem que os músculos intrínsecos do pé têm um papel importante no suporte do arco longitudinal, assim como os músculos extrínsecos, como o tibial posterior e o fibular longo. A fraqueza em qualquer um desses grupos musculares pode resultar em maior ADM do pé/tornozelo e consequente estresse excessivo em estruturas não contráteis, incluindo a fásia plantar.

4.2 Tração excessiva

Dentre os fatores de risco da subcategoria tração excessiva temos: tensão do tríceps sural (rigidez/força exercida pelo músculo), aumento da ADM de dorsiflexão da primeira articulação metatarsfalangeana (mecanismo do molinete), aumento da ADM de flexão plantar do tornozelo,

Pan et al (19), em um estudo transversal com o objetivo de avaliar a rigidez passiva em diferentes regiões do tendão de Aquiles em participantes com e sem fascite plantar e investigar a interação entre a rigidez passiva em pacientes com fascite plantar e dor, concluíram que os pacientes com fascite plantar apresentaram rigidez distal do tendão de Aquiles significativamente maior quando comparado à indivíduos saudáveis, e essa tensão se correlacionou com a dor nesses indivíduos.

Huerta et al (18), a partir de um modelo computacional, propõem uma relação funcional entre a rigidez do músculo gastrocnêmio e a tensão na fásia plantar. A partir do modelo aqui apresentado, a rigidez do músculo gastrocnêmio produz um aumento na tensão do tendão de Aquiles durante atividades de sustentação de peso. Esse aumento de tensão produz momentos de flexão plantar no retopé e um aumento na pressão plantar do antepé com deslocamento anterior do centro de pressão. A combinação dos momentos de flexão plantar do retopé e dos momentos de dorsiflexão do antepé tende a colapsar o arco, e a fásia plantar aumenta sua tensão longitudinal mecânica passiva, neutralizando o efeito de achatamento do arco causado pela rigidez do gastrocnêmio. Com essas ideias em mente, a relação entre o músculo gastrocnêmio e a fásia plantar poderia ser considerada como uma relação

derivada do comportamento mecânico do pé em condições de sustentação de peso, em vez da transmissão direta de tensão através do sistema trabecular do calcâneo.

O modelo desenvolvido por Cheung et al (21) demonstra achados semelhantes ao modelo de Huerta et al (18). Neste modelo os autores observaram que um aumento na carga do tendão de Aquiles resultou em reduções na altura do arco e aumento nas tensões da fásia plantar. Descobriu-se que a carga do tendão de Aquiles tem cerca de duas vezes mais efeito de tensão na fásia plantar do que o peso corporal no pé. Os autores concluem que, tanto o estiramento excessivo do tendão de Aquiles resultante da contração muscular intensa quanto o alongamento passivo do tendão de Aquiles tenso, são fatores mecânicos plausíveis para o esforço excessivo da fásia plantar.

Carlson et al (20), a partir de um estudo cadavérico, também demonstraram que quanto maior a força de tração no tendão de Aquiles, maior a tensão produzida na fásia plantar e que, a combinação da força no tendão de Aquiles e o aumento no ângulo de dorsiflexão da PAMF, através do mecanismo do molinete, produziu as tensões mais significativas na fásia plantar.

Um “molinete” é o aperto de uma corda ou cabo. A fásia plantar simula um cabo preso ao calcâneo e às articulações metatarsofalângicas. A dorsiflexão do hálux durante a fase propulsiva da marcha envolve a fásia plantar ao redor da cabeça do metatarso. Este enrolamento da fásia plantar encurta a distância entre o calcâneo e os metatarsos para elevar o arco longitudinal medial. O encurtamento da fásia plantar resultante da dorsiflexão do hálux é a essência do princípio do mecanismo do molinete (26).

Para avaliar a relação do mecanismo do molinete com o aumento de tensão na fásia plantar, Wearing et al (11) avaliaram por meio da fluoroscopia digital, o movimento sagital do arco do pé em indivíduos com e sem fascite plantar durante a marcha. Chang et al (12), avaliaram a cinemática multisegmentar do pé, a partir de um modelo tridimensional, durante a corrida. Ambos os estudos demonstram que indivíduos com fascite plantar apresentam maior dorsiflexão da PAMF durante a marcha e corrida, respectivamente.

Cheng et al (23), em um estudo de modelo computacional, monitorou a fásia plantar quanto às suas respostas biomecânicas sob várias combinações de alongamento: três ângulos de dorsiflexão dos dedos (efeito molinete: 15°, 30° e 45°) e cinco forças do tendão de Aquiles (100, 200, 300, 400 e 500 N). Os resultados indicaram que a tensão da fásia plantar aumentou à medida que os ângulos de dorsiflexão aumentaram, e esse fenômeno foi potencializado pelo aumento da força no tendão de Aquiles. Já o estudo de Garcia et al (24), um estudo transversal com o objetivo de determinar o efeito da dorsiflexão passiva da PAMF na rigidez da fásia plantar, demonstrou que a distribuição de tensão ao longo da fásia plantar aumentou progressivamente com a dorsiflexão da PAMF.

Já a revisão de Sullivan et al (9), relata que o papel do aumento de dorsiflexão da PAMF não está claro como fator de risco relacionado à fascite plantar. Apenas o estudo de Pazhooman et al (14) foi controverso, mostrando redução da ADM passiva da PAMF em indivíduos com fascite plantar. Vale ressaltar que neste estudo o grupo com fascite plantar apresentou também aumento significativo da ADM de eversão na fase de apoio inicial. Neste caso, as características da amostra poderiam se encaixar como fator de risco

relacionado a hipermobilidade, sendo que o mecanismo de sobrecarga seria pela eversão excessiva do tornozelo.

O último fator de risco a ser analisado na subcategoria de tração excessiva é o aumento da ADM de flexão plantar. Segundo a revisão de Hamstra-Wright et al (27), com o objetivo de determinar quais fatores podem colocar indivíduos fisicamente ativos em risco de desenvolver fascite plantar, indivíduos com ADM de flexão plantar de tornozelo aumentado em comparação com seus pares não lesionados tiveram maior probabilidade de incorrer em fascite plantar. Os autores explicam que um tríceps sural tenso aumenta o grau de flexão plantar durante o ciclo de corrida devido à correlação anatômica entre a tensão da fásia plantar e a carga do tendão de Aquiles, e esta flexão plantar aumentada gera maior sobrecarga na fásia através do mecanismo do molinete.

Entretanto, em pacientes com fascite plantar podemos encontrar uma redução da flexão plantar no apoio terminal da marcha ou da corrida, sendo uma adaptação para evitar a dor comumente associada à flexão plantar e dorsiflexão da PAMF que acontece nesta fase do movimento, e onde ocorre a maior tensão na fásia plantar (12). No estudo de Chang et al (12), os indivíduos com fascite plantar exibiram um pico de força de reação do solo vertical reduzido durante a propulsão em comparação com indivíduos saudáveis. Portanto, é plausível que alguns indivíduos tenham realizado compensações na marcha para reduzir esse pico propulsivo na tentativa de controlar a dor.

4.3 Hipomobilidade articular

Dentre os fatores de risco da subcategoria hipomobilidade temos: a redução da amplitude de movimento (ADM) de dorsiflexão do tornozelo e o pé cavo.

A revisão de Sullivan et al (9), cujo objetivo foi fazer uma descrição dos fatores mecânicos relacionados à fascite plantar, concluiu que a fascite plantar pode estar associada à redução da ADM de dorsiflexão do tornozelo. Já na revisão de Hamstra-Wright et al (27), a redução da ADM de dorsiflexão de tornozelo não foi considerada como fator de risco para desenvolver a fascite plantar em indivíduos fisicamente ativos. Os achados do estudo de Pohl et al (10) foram bem contraditórios, demonstrando que corredoras com histórico de fascite plantar apresentavam maior ADM passiva de dorsiflexão de tornozelo. Porém, as características da amostra do estudo de Pohl (10) tem, em sua maioria, relação com o grupo hipermobilidade, não sendo possível comparar os resultados com os demais estudos presentes na revisão de Sullivan que relatam a redução da ADM de dorsiflexão de tornozelo como fator de risco relacionado à hipomobilidade.

Quanto a relação do pé cavo como fator de risco para desenvolver fascite plantar, o estudo de Sahin et al (25), através da medida radiográfica do pé no plano sagital, com e sem carga, encontrou medidas de movimento reduzidas nos indivíduos com fascite plantar durante a sustentação de peso, demonstrando redução da mobilidade do pé e da elasticidade da fásia plantar.

Bolgla et al (26), em uma revisão com o objetivo de fornecer uma abordagem para o tratamento da fascite plantar baseada no modelo do mecanismo molinete, explicam que um pé com arco mais alto não possui a

mobilidade necessária para auxiliar na absorção das forças de reação do solo. Consequentemente, fica incapaz de dissipar as forças desde o impacto aumentando a carga aplicada à fásia plantar.

4.4 Fatores relacionados à biomecânica da corrida

Dentre os fatores de risco relacionados à biomecânica da corrida temos: aumento da força de reação do solo e tipo de aterrissagem.

Em relação ao aumento da força de reação do solo durante a corrida, os estudos transversais de Pohl et al (10) e Johnson et al (16) corroboram com seus achados, onde uma maior força de reação do solo aumenta o risco de desenvolver fascite plantar. No primeiro estudo (10) os autores encontraram maiores taxas de força de reação do solo em corredoras com histórico de fascite plantar. Já o segundo estudo (16), que avaliou 125 corredores com lesões gerais de membros inferiores, encontraram, para lesões individuais, força de reação do solo significativamente maior em indivíduos com fascite plantar.

Quanto ao tipo de aterrissagem, o estudo de Chen et al (17), com o objetivo de comparar a deformação do arco do pé e a tensão da fásia plantar entre diferentes tipos de aterrissagem (antepe x retrope) na corrida, através de modelagem computacional, concluíram que a aterrissagem com antepé aumentou a deformação do arco do pé, o estresse do tecido conjuntivo plantar e a força de tração na fásia. Esses resultados corroboram com achados do estudo de Sun et al (15), que avaliou a variação do comprimento do fásia plantar durante a corrida com diferentes padrões de aterrissagem. O estudo concluiu que a potência e a deformação máxima na fásia plantar aumentaram significativamente na aterrissagem com antepé.

4.5 Limitações do estudo

A maioria dos estudos incluídos nesta revisão são estudos transversais, portanto, não é possível determinar causalidade. Da mesma forma não é possível saber se as diferenças na função do pé em corredores com fascite plantar foram a causa da lesão ou o resultado da dor e/ou degeneração da fásia plantar associada. Além disso, a comparação dos resultados é difícil devido as diferentes metodologias empregadas, características das amostras, o tipo de estudo, a avaliação específica do movimento (marcha de caminhada e corrida) e as medidas de desfecho selecionadas.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os estudos incluídos na revisão, a redução de força dos músculos intrínsecos e extrínsecos do pé, o aumento da ADM de flexão plantar, o aumento da rigidez do tendão de Aquiles e o aumento da ADM de dorsiflexão da PAMF (mecanismo de molinete), são os fatores biomecânicos que estão mais bem relacionados à sobrecarga na fásia plantar e já estão bem descritos por vários estudos. Quanto ao movimento de eversão, os resultados são contraditórios, mas a sobrecarga na fásia parece ter mais relação com a velocidade com que o movimento ocorre do que a angulação total. As medidas estáticas de alinhamento do pé/tornozelo e a redução da ADM de dorsiflexão de tornozelo parecem não ter relação. E por fim, a hipomobilidade encontrada no pé cavo e os fatores relacionados à corrida (maior força de reação do solo e aterrissagem com antepé), apesar de terem estudos que fazem uma associação positiva com a sobrecarga na fásia plantar, precisam de um maior número de pesquisas para confirmar a força dessa associação.

REFERÊNCIAS

1. METSAVAHT, L.; LEPORACE, G. Current trends in the biokinetic analysis of the foot and ankle. **Journal of the Foot & Ankle**, v. 14, n. 2, p. 191–196, 2020.
2. LIEVERS, W.B.; GOGGINS, K.A.; ADAMIC, P. Epidemiology of Foot Injuries Using National Collegiate Athletic Association Data From the 2009-2010 Through 2014-2015 Seasons. **J Athl Train**, v. 55, n. 2, p. 181-187, 2020.
3. LÓPEZ-LÓPEZ, D.; PÉREZ-RÍOS, M.; RUANO-RAVINA, A.; LOSA-IGLESIAS, M.E.; BECERRO-DE-BENGOA-VALLEJO, R.; ROMERO-MORALES, C.; CALVO-LOBO, C.; NAVARRO-FLORES, E. Impact of quality of life related to foot problems: a case-control study. **Scientific Reports**, v. 11, p. 14515, 2021.
4. RHIM, H.C.; KWON, J.; PARK, J.; BORG-STEIN, J.; TENFORDE, A.S. A Systematic Review of Systematic Reviews on the Epidemiology, Evaluation, and Treatment of Plantar Fasciitis. **Life (Basel)**, v. 11, n. 12, 1287, 2021.
5. KAKOURIS, N.; YENER, N.; FONG, D.T.P. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. **Journal of Sport and Health Science**, v. 10, n. 5, p. 513-522, 2021.
6. WEARING, S.C.; SMEATHERS, J.E.; URRY, S.R.; *ET AL*. The Pathomechanics of Plantar Fasciitis. **Sports Medicine**, v. 36, p. 585–611, 2006.
7. MARTIN, R.L.; DAVENPORT, T.E.; REISCHL, S.F.; MCPAIL, T.G.; MATHESON, J.W.; WUKICH, D.K.; MCDONOUGH, C.M. American Physical Therapy Association. Heel pain-plantar fasciitis: revision 2014. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 44, n. 11, p. 841-910, 2014.
8. KARHADE, A.V.; KWON, J.Y. Trends in Foot and Ankle Studies Published in High-Impact General Medical Journals: A Systematic Review. **The Journal of Foot & Ankle Surgery**, v. 58, n. 3, p. 540-544, 2019.
9. SULLIVAN J., PAPPAS E., BURNS J. Role of mechanical factors in the clinical presentation of plantar heel pain: Implications for management. **The Foot**, v. 42, n. 101636, 2020.
10. POHL, M. B.; HAMILL, J.; DAVIS, I. S. Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners. **Clin J Sport Med**, v. 19, n. 5, p. 372-376, 2009.
11. WEARING, S. C.; SMEATHERS, J. E.; YATES, B.; SULLIVAN, P. M.; URRY, S. R.; DUBOSI, P. Sagittal movement of the medial longitudinal arch is

- unchanged in plantar fasciitis. **Med Sci Sports Exerc.** v. 36, n. 10, p. 1761-1767, oct, 2004.
12. CHANG, R.; RODRIGUES, P. A.; VAN EMMERIK, R. E.; HAMILL, J. Multi-segment foot kinematics and ground reaction forces during gait of individuals with plantar fasciitis. **J Biomech.** v. 47, n. 11, p. 2571-7, aug, 2014.
 13. RIBEIRO, A. P.; TROMBINI-SOUZA, F.; TESSUTTI, V.; RODRIGUES L. F.; SACCO IDE, C.; JOÃO, S. M. Rearfoot alignment and medial longitudinal arch configurations of runners with symptoms and histories of plantar fasciitis. **Clinics**, Sao Paulo, v. 66, n. 6, p. 1027-33, 2011.
 14. PAZHOOMAN, H.; ALAMRI, M. S.; POMEROY, R. L.; COBB, S. C. Foot kinematics in runners with plantar heel pain during running gait. **Gait Posture**, v. 104, p. 15-21, jul, 2023.
 15. SUN, X.; SU, W.; ZHANG, F.; YE, D.; WANG, S.; ZHANG, S.; FU, W. Changes of the in vivo kinematics of the human medial longitudinal foot arch, first metatarsophalangeal joint, and the length of plantar fascia in different running patterns. **Front Bioeng Biotechnol**, v. 10, n. 959807, nov, 2022.
 16. JOHNSON, C. D.; TENFORDE, A.S.; OUTERLEYS, J.; REILLY, J.; DAVIS, I. S. Impact-Related Ground Reaction Forces Are More Strongly Associated With Some Running Injuries Than Others. **Am J Sports Med**, v. 48, n. 12, p. 3072-3080, oct, 2020.
 17. CHEN, T. L.; WONG, D.W.; WANG, Y.; LIN, J.; ZHANG, M. Foot arch deformation and plantar fascia loading during running with rearfoot strike and forefoot strike: A dynamic finite element analysis. **J Biomech**, v. 23, n. 83, p. 260-272, jan, 2019.
 18. HUERTA, J. P. The effect of the gastrocnemius on the plantar fascia. **Foot Ankle Clin**, v. 19, n. 4, p. 701-18, dec, 2014.
 19. PAN, W.; ZHOU, J.; LIN, Y.; ZHANG, Z.; WANG, Y. Elasticity of the Achilles Tendon in Individuals With and Without Plantar Fasciitis: A Shear Wave Elastography Study. **Front Physiol**, v. 12, n. 686631, jun, 2021.
 20. CARLSON, R. E.; FLEMING, L. L.; HUTTON, W. C. The biomechanical relationship between the tendoachilles, plantar fascia and metatarsophalangeal joint dorsiflexion angle. **Foot Ankle Int**, v. 21, n. 1, jan, 2000.
 21. CHEUNG, J.T.; ZHANG, M.; NA, K.N. Effect of Achilles tendon loading on plantar fascia tension in the standing foot. **Clin Biomech**, Bristol, v. 21, n. 2, p. 194-203, feb, 2006.
 22. CHENG, H.Y.; LIN, C. L.; CHOU, S. W.; WANG, H. W. Nonlinear finite element analysis of the plantar fascia due to the windlass mechanism. **Foot Ankle Int**, v. 29, n. 8, p. 845-51, aug, 2008.

23. CHENG, H.Y.; LIN, C.L.; WANG, H. W.; CHOU, S. W. Finite element analysis of plantar fascia under stretch-the relative contribution of windlass mechanism and Achilles tendon force. **J Biomech**, v. 41, n. 9, p. 1937-44, 2008.
24. GARCIA, C. A.; HOFFMAN, S. L.; HASTINGS, M. K.; KLAESNER, J. W.; MUELLER, M. J. Effect of metatarsal phalangeal joint extension on plantar soft tissue stiffness and thickness. **Foot**, Edinb, v. 18, n. 2, p. 61-7, jun, 2008.
25. SAHIN, N.; OZTURK, A.; ATICI, T. Foot mobility and plantar fascia elasticity in patients with plantar fasciitis. **Acta Orthop Traumatol**, Turc, v. 44. N. 5, p. 385-91, 2010.
26. BOLGLA, L.A.; MALONE, T. R. Plantar fasciitis and the windlass mechanism: a biomechanical link to clinical practice. **J Athl Train**, v. 39, n. 1, p. 77-82, jan, 2004.
27. HAMSTRA-WRIGHT, K. L.; HUXEL BLIVEN, K. C.; BAY, R. C.; AYDEMIR, B. Risk Factors for Plantar Fasciitis in Physically Active Individuals: A Systematic Review and Meta-analysis. **Sports Health**, v. 13, n. 3, p. 296-303, may-jun, 2021.