

Artigo Original

Associação entre desempenho na corrida, amplitude de dorsiflexão de tornozelo e flexão de joelhos de corredoras recreacionais

*Association between running performance, ankle dorsiflexion amplitude and knee flexion of recreational female runners*Luanda Passos Ribeiro¹, Marcelo Magalhães Sales² e José Fernando Vila Nova de Moraes¹

1. Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil.
2. Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade, Universidade Estadual de Goiás (UEG), Quirinópolis, Goiás, Brasil.

RESUMO

Introdução: A corrida de rua tem se destacado como prática de atividade física na população. Por ser uma ação complexa, que envolve diversas articulações, a corrida pode ser estudada de diversas maneiras. As articulações do tornozelo e do joelho são parte importante nas diferentes fases da corrida, além disso, o movimento de dorsiflexão do tornozelo e flexão dos joelhos podem contribuir para um melhor funcionamento dos membros inferiores durante a corrida. **Objetivo:** verificar se o tempo, frequência, volume semanal e ritmo médio de corrida estão associados à amplitude da dorsiflexão do tornozelo e flexão de joelhos de corredoras recreacionais. **Métodos:** vinte corredoras recreacionais, com idades entre 18 e 46 anos, tempo de treino de 12,00 (8,35 – 46,25) meses, frequência semanal de treino de 2 a 5 vezes, volume semanal de treino médio de 19,55 ± 5,60 km, e ritmo médio de corrida de 6,64 ± 0,69 min/km realizaram o *Weight Bearing Lunge Test* e tiveram sua cinemática articular filmada durante corrida na esteira. Os dados foram analisados por meio de Correlação de Pearson e Teste-T de Student utilizando o SPSS versão 23.0 para Windows®. O nível de significância adotado foi $p < 0,05$. **Resultados:** o tempo de treino apresentou correlações significativas com a amplitude de dorsiflexão dos tornozelos direito ($r = -0,447$; $p = 0,048$) e esquerdo ($r = -0,607$; $p = 0,004$). Não foram encontradas associações significativas entre frequência, volume e ritmo médio de corrida com a amplitude da dorsiflexão do tornozelo e flexão de joelhos das corredoras. **Conclusão:** houve correlação significativa negativa entre o tempo de treino (meses) e a amplitude da dorsiflexão dos tornozelos direito e esquerdo.

Palavras-chave: Amplitude de movimento articular; Articulação de tornozelo; Joelho; Corrida.

ABSTRACT

Background: Street running has become one of the most practiced sports. Since running is a complex action, which involves many joints, running can be studied under different ways. The ankle and knee joints play an important part in the different phases of running, in addition, the movement of ankle dorsiflexion and knee flexion can contribute to a higher performance of the lower limbs during running. **Objective:** to verify if time, frequency, weekly volume and mean running pace are associated to ankle dorsiflexion and knee flexion of recreational female runners. **Methods:** Twenty recreational female runners, aged between 18 and 48 years, with time of practice of 12.00 (8.35 – 46.25) months, weekly training frequency of 2 to 5 times, weekly mean training volume of 19.55 ± 5.60 km, and mean running pace of 6.64 ± 0.69 min/km performed the *Weight Bearing Lunge Test* and had their joint cinematics filmed while on a treadmill. Data were analyzed through Pearson's Correlation and Student's T-Test using the SPSS version 23.0 for Windows®. The level of significance adopted was $p < 0.05$. **Results:** time of practice presented significant correlations with amplitude of dorsiflexion of the right ($r = -0.447$; $p = 0.048$) and left ($r = -0.607$; $p = 0.004$) ankles. No statistically significant associations were found between frequency, volume and mean running pace and amplitude of ankle dorsiflexion and knee flexion. **Conclusion:** a significant negative correlation was found between time of practice (months) and amplitude of dorsiflexion of the right and left ankles.

Keywords: Range of motion; Ankle joint; Knee; Running.

Autor para correspondência: José Fernando Vila Nova de Moraes – josefernando.moraes@univasf.edu.br.

Submetido em 19/08/2024 | Publicado em 23/12/2024.

INTRODUÇÃO

A busca por esportes e atividades físicas tem se tornado cada vez mais frequente. Dentre as principais modalidades esportivas, a corrida é uma das mais procuradas, uma vez que sua alta popularidade e acessibilidade são vistas como um forte contribuinte para a promoção e melhoria de um estilo de vida fisicamente ativo entre a população. Além disso, essa prática tem mostrado efeito benéfico no bem-estar pessoal, na aptidão aeróbica e metabólica¹⁻².

A corrida é uma atividade motora altamente complexa que envolve a contribuição de grande parte dos músculos do corpo. Dessa forma, o movimento da corrida pode ser considerado como uma ação harmônica para alcançar uma locomoção que apresente translação do centro de massa com menor gasto de energia possível³.

Para entender como a corrida acontece, é necessário saber que seu ciclo possui duas fases: a fase de apoio e a fase de balanço. A fase de apoio começa quando, por exemplo, um pé entra em contato com o solo e o peso do corpo é transferido do retopé ou do médiopé ao antepé, e, por fim, com uma ação deste antepé contra o solo, para então, perder o contato com o solo, caracterizando a finalização da fase de apoio da corrida. Essa fase compõe 40% do ciclo da corrida e divide-se em 3 momentos: contato inicial (*Footstrike*), médio apoio (*midsupport*) e desprendimento (*Toe-off*)⁴⁻⁶.

A fase de balanço ocorre na sequência, o pé que perdeu o contato com o solo, é acelerado para cima e para frente. Assim, há a transposição de um membro inferior (coxa e perna) em relação ao membro contralateral. Essa fase é concluída instantes antes de o pé iniciar um novo ciclo do movimento. Dentro do ciclo da corrida, a fase de balanço é mais duradoura, preenche 60% do tempo total do ciclo⁴.

Nesse contexto, a atuação da articulação do tornozelo é essencial para um movimento apropriado da corrida. Em corredores que aterrissam com o retopé, ocorre uma leve extensão do tornozelo após o contato com o solo, enquanto aqueles que aterrissam com o antepé realizam uma ligeira flexão⁷. Logo após esse contato, ocorre uma pequena flexão plantar, como consequência do aplanamento do pé. Com o pé todo apoiado no solo, inicia-se uma flexão dorsal causada pelo avanço da tibia sobre o pé, por conta da flexão do joelho. Após o pico de dorsiflexão, ocorre uma flexão plantar até o final do apoio para promover a propulsão para a fase aérea. Na fase de balanço, o tornozelo realiza uma gradativa flexão dorsal até o alinhamento para o novo contato^{4,8-9}.

Diante do exposto, a amplitude de movimento da articulação do tornozelo, especialmente a dorsiflexão, pode influenciar no funcionamento adequado do membro inferior durante a prática de exercícios e atividades da vida diária. Por outro lado, o treinamento físico pode ocasionar um aumento na rigidez dos tendões envolvidos nos gestos motores praticados e reverberar na amplitude de movimento das articulações envolvidas naquela atividade motora¹⁰. Essas alterações podem ser explicadas, em parte, por modificações nas estruturas internas dos tendões, produzidas para compensar o desgaste mecânico nos músculos, induzido pelo estresse de carga repetida durante o treinamento¹⁰.

No que se refere à corrida, um tendão fortemente envolvido nesse gesto motor, é o do tríceps sural. Na corrida, esse tendão parece não sofrer um pré-alongamento substancial¹¹, portanto, o armazenamento de energia parece ser proveniente da contração ativa dos músculos conectados ao tendão. Dessa maneira, reduzir a complacência diminuiria a transferência de energia para o tendão e, por sua vez, reduziria o custo de energia das contrações musculares associadas¹². Onde um pré-alongamento substancial não ocorre, caso do tríceps sural durante a corrida, um tendão mais complacente, poderá requerer maior encurtamento da fibra muscular e/ou velocidade de encurtamento para um dado movimento articular. Como resultado, no caso do tendão do tríceps sural, a transmissão de força para a articulação pode ser favorecida em relação ao armazenamento e liberação de energia elástica, pois, para uma dada quantidade e taxa de encurtamento da unidade do tendão muscular, menor encurtamento da fibra muscular é necessário com um tendão rígido quando comparado a um complacente, no qual o encurtamento adicional da fibra é necessário para acomodar o alongamento do tendão¹².

Desse modo, torna-se razoável inferir que o aumento da rigidez do tendão, ocasionada pelo gesto motor realizado repetidas vezes, na medida em que, a corrida é caracterizada por uma sucessão de saltos, realizando, portanto, um grande volume de ciclo-alongamento-encurtamento das propriedades envolvidas na articulação do tornozelo, entre elas o tendão do tríceps sural, poderia ocasionar uma melhora na economia de corrida e, por sua vez, reverberar positivamente no desempenho dos seus praticantes.

Adicionalmente, a dorsiflexão do tornozelo está associada à ativação de áreas cerebrais envolvidas na preparação do movimento, integração sensorial, planejamento/execução motora, equilíbrio e coordenação visomotora¹³. No plano sagital, medidas clínicas de dorsiflexão do tornozelo restrita foram previamente ligadas à redução do movimento de flexão do joelho e do quadril^{14,15}, tornando, por sua vez, importante investigar de que forma as alterações na amplitude de movimento do tornozelo afeta os demais movimentos envolvidos no gesto motor da corrida, entre eles, a flexão de joelhos, e seus efeitos sobre o desempenho.

Por outro lado, até onde sabemos, não há estudos que tenham investigado os efeitos do volume de treinamento de corrida sobre a amplitude de movimento da dorsiflexão do tornozelo e, por sua vez, da flexão de joelhos, bem como suas implicações para o desempenho na corrida. A literatura até o presente momento aponta que, em jogadores de futebol, a amplitude de movimento da dorsiflexão do tornozelo é reduzida após uma temporada de competição, porém, sem qualquer análise sobre o desempenho¹⁶. No que se refere a corrida, existe apenas a publicação de um protocolo de avaliação de 52 semanas de treinamento de corrida, que deseja observar os impactos desse período sobre a amplitude de movimento de diversas articulações, entre elas o tornozelo e joelho. Porém, sem indicação de investigar como as alterações nas amplitudes de movimento podem afetar o desempenho de corrida¹⁷.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi verificar se o tempo, frequência, volume semanal de treino e ritmo médio de corrida possuíam associações significativas com a amplitude do movimento de dorsiflexão do tornozelo e flexão de joelho de corredoras recreacionais. Hipotetizamos que corredoras com maior frequência e volume de treinamento, e, por sua vez, melhor condicionadas, irão apresentar menor amplitude de movimento do tornozelo e joelhos, portanto, maior desempenho de corrida.

MÉTODOS

Tipo de estudo e local de realização da pesquisa

O presente estudo possui característica transversal e foi realizado com corredoras recreacionais do município de Petrolina-PE. A condução das corredoras durante a realização dos testes e aplicação dos treinamentos foi realizada em um consultório em uma sala reservada e climatizada, localizado no município de Petrolina-PE. No momento da avaliação estavam apenas a voluntária e os avaliadores.

Características da amostra e aspectos éticos

A amostra foi composta por indivíduos saudáveis e ativos, do sexo feminino, selecionadas de forma não aleatória, por voluntariedade, isentos de problemas físicos e de tratamento farmacológico.

O presente estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Estudos e Pesquisas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE) sob o parecer número 4.475.278 e CAAE número 39983720.1.0000.8052. As participantes foram informadas sobre o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme a resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Crítérios de inclusão e exclusão dos participantes da pesquisa

Foram incluídas na pesquisa pessoas do sexo feminino, com idades entre 18 e 50 anos, que praticavam corrida de rua com um volume semanal de no mínimo 10km. Como critérios de não inclusão, observou-se a presença de cirurgia pregressa nos membros inferiores, anormalidades patológicas intra-articulares, acometimento dos ligamentos colaterais ou cruzados, instabilidade patelar, Síndrome Sinding-Larsen-Johansson ou Osgood-Schlatter, derrame articular do joelho, doenças neurológicas em geral que pudessem mascarar resultados neuromecânicos e motores, e limitações cognitivas que não permitam o entendimento para a realização dos testes. Por fim, após a inclusão, foram excluídas as participantes que desistiram de participar do estudo ou que apresentaram mal estar físico ou psicológico que impossibilitasse a realização das avaliações.

Procedimentos

Cada voluntária participou de uma entrevista inicial com um fisioterapeuta licenciado para identificação pessoal e triagem para critérios de inclusão, não inclusão e exclusão. Posteriormente, a voluntária foi encaminhada para uma avaliação cineantropométrica para medição de estatura e peso, e conseqüentemente cálculo do IMC.

Em seguida, a participante foi preparada para avaliação da amplitude de dorsiflexão do tornozelo por meio do *Lunge Test*. O *Weight Bearing Lunge Test* (WBLT) é um teste que avalia a dorsiflexão em cadeia cinética fechada (CCF)¹⁸. Enquanto o movimento é realizado próximo a uma parede, a dorsiflexão é mensurada indiretamente com o auxílio de uma fita métrica atada ao chão. A distância entre o 1º dedo do pé e a parede é considerada e mensurada. O resultado do teste pode ser utilizado em centímetros, ou em graus com o uso de um inclinômetro (Figura 1). Para o presente estudo, optou-se por utilizar os valores em graus. Este é um método simples e confiável tanto para a condição intra-examinador quanto interexaminador^{19,20}.

O WBLT foi realizado com o indivíduo descalço e com o pé dominante à frente da perna não dominante, ao longo de uma fita métrica fixada no chão, de modo que a bissecção do calcâneo e o segundo dedo do pé permaneceu na linha. Em seguida, a participante foi instruída a conduzir a patela do membro inferior dominante o mais próximo possível de uma linha vertical desenhada na parede sem levantar o calcanhar do chão. Depois que a voluntária atingiu a dorsiflexão máxima do tornozelo, o examinador posicionou um inclinômetro analógico entre a tuberosidade tibial e a marca feita na face anterior da tibia para registro do resultado (o inclinômetro foi posicionado na face anteromedial da perna para evitar qualquer influência do músculo tibial anterior na medição)²¹, conforme Figura 1.

Figura 1. Avaliação da amplitude da dorsiflexão do tornozelo com o uso de inclinômetro analógico. Fonte: autoria própria.



Após o WBLT, foi realizada a avaliação da cinemática articular utilizando uma esteira ergométrica (R4, Movement, Brasil) e uma câmera de dispositivo móvel (Iphone, Apple). Cada voluntária realizou um aquecimento de 10 minutos até atingir a velocidade média que habitualmente realiza a corrida (dado coletado na avaliação) após esse período, foi realizada a filmagem durante trinta segundos. Marcadores adesivos foram posicionados em pontos e projeções anatômicas dos membros inferiores para a reconstrução dos ângulos no software de análise de imagem, sendo estes pontos localizados no epicôndilo lateral do fêmur, maléolo lateral e base do quinto metatarso²².

Foi utilizado um tripé portátil posicionado em uma altura de 1,05m a dois metros lateralmente do membro a ser avaliado²³. O software Kinovea (França, versão 0.8.15) foi utilizado para reconstruir os segmentos corporais e calcular os ângulos do tornozelo no plano sagital em dois instantes: a) contato inicial do pé com o solo; b) máxima flexão do joelho durante a fase de apoio²² (Figuras 2 e 3).

Figura 2. Avaliação da dorsiflexão dinâmica de tornozelo. Linha traçada do marcador interarticular do joelho ao marcador do maléolo lateral e linha traçada paralela à borda do tênis. Fonte: autoria própria.



Figura 3. Avaliação da flexão do joelho. Linha traçada do marcador do trocânter maior do fêmur ao marcador da linha interarticular do joelho. Fonte: autoria própria.



Análise de dados

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado na verificação da normalidade e homogeneidade dos dados. Apenas a variável de tempo de treino em meses não atingiu a normalidade. Assim, todas as variáveis, com exceção do tempo de treinamento, foram expressas em média e desvio padrão. A variável tempo de treinamento expressa em mediana e seus respectivos intervalos de confiança (IC 95%). Para verificar o grau de associação entre as variáveis com distribuição Gaussiana, foi empregada uma Correlação de Pearson, para o tempo de treinamento, que violou a normalidade, uma correlação de Spearman foi utilizada. Adicionalmente, foi utilizado o teste-t de *Student* para amostras independentes foi aplicado para comparação das variáveis de acordo com a classificação do volume semanal de treino e ritmo médio de corrida (convertido para minutos decimais). Para tanto, as participantes foram divididas em dois grupos de acordo com a mediana de cada variável. Em todas as análises foi adotado nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises foram efetuadas com o auxílio do software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 23.0 para Windows®.

O cálculo do *effect size* para as comparações entre grupos foi realizado de acordo com o *d* de Cohen²⁴, no qual valores entre 0,1 a 0,3 foram considerados pequenos, 0,3 a 0,5 médios, e acima de 0,5 grandes.

O cálculo do poder das análises foi realizado com o auxílio do software G*Power 3.1.9.4. Para o teste-t de *Student* para amostras independentes, considerando um *effect size* de 0,52 e uma margem de erro de 5%, o poder estatístico atingido para a análise foi de 0,30. Já para a Correlação de Pearson, considerando o mesmo *effect size* e margem de erro, o poder estatístico encontrado para a análise foi de 0,84.

RESULTADOS

Participaram do estudo 20 corredoras recreacionais do município de Petrolina – PE, com idades entre 18 e 46 anos e tempo de treino entre 2 e 180 meses. Apenas uma participante relatou dominância do membro esquerdo. As demais características das participantes podem ser encontradas na tabela 1.

Tabela 1. Características principais das participantes (n=20).

Variável	Média ± Desvio-padrão	Mínimo – Máximo
Idade (anos)	33,05 ± 9,00	18 – 46
Massa corporal (kg)	63,64 ± 10,26	50,00 – 93,20
Estatuta (m)	1,61 ± 0,05	1,51 – 1,72
IMC (kg/m ²)	24,39 ± 2,67	19,30 – 33,80
Tempo de treino (meses)*	12,00	8,35 – 46,25
Ritmo de corrida (min dec/km)	6,64 ± 0,69	5,50 – 7,90
Freq. de treino semanal (n)	2,85 ± 0,67	2,00 – 5,00
Vol. de treino semanal (km)	19,55 ± 5,60	7,00 – 30,00
Amp. do tornozelo direito (°)	44,00 ± 8,83	20,00 – 60,00
Amp. do tornozelo esquerdo (°)	46,00 ± 6,41	35,00 – 55,00
Amp. dinâmica do tornozelo dominante (°)	69,21 ± 4,05	60,06 – 77,60
Amp. da flexão de joelho (°)	41,45 ± 4,33	34,00 – 47,60

Legenda: IMC=índice de massa corporal; Freq.=frequência; Vol.=volume; Amp.=amplitude.*Dados expressos em mediana e intervalo de confiança (95%).

A tabela 2, por sua vez, exibe a Correlação de Pearson e Spearman entre as variáveis. Os resultados apontados mostraram associações significativas negativas entre o tempo de treino e a amplitude de dorsiflexão dos tornozelos direito ($r = -0,0447$; $p = 0,048$) e esquerdo ($r = -0,607$; $p = 0,004$). Adicionalmente, foram observadas correlações significativas positivas entre a frequência semanal e o volume semanal de treino ($r = 0,541$; $p = 0,014$) e entre a amplitude da dorsiflexão dos tornozelos direito e esquerdo ($r = 0,717$; $p < 0,001$).

Conforme exibido na tabela 2, o gráfico do coeficiente de Correlação de Pearson entre a amplitude dinâmica da dorsiflexão e a flexão do joelho foi de $r = -0,429$ (Figura 4). Apesar de não atingir significância estatística a correlação foi considerada moderada e o valor de significância encontrado foi marginal ($p = 0,059$).

As tabelas 3 e 4 apresentam as comparações da amplitude de movimento estática da dorsiflexão dos tornozelos direito e esquerdo, e a amplitude de movimento dinâmica e flexão do joelho do membro dominante de acordo com o volume semanal de treinamento e ritmo médio de corrida. O teste-t de *Student* para medidas independentes não revelou diferenças significativas entre os grupos. Todavia, a análise do tamanho do efeito (*effect size*) revelou tamanho do efeito considerado grande ($d = 0,52$) para a flexão do joelho (em relação ao volume semanal de treinamento) e amplitude dinâmica da dorsiflexão (de acordo com o ritmo médio de corrida).

Tabela 2. Matriz de correlação. O coeficiente de correlação de Pearson e Spearman entre tempo, frequência semanal e volume semanal de treino e ritmo médio de corrida com a amplitude da dorsiflexão dos tornozelos direito e esquerdo.

	Freq.	Vol.	Ritmo	Amp Dir	Amp Esq	Amp Din	FlexJ
Tempo	0,327	-0,047	-0,014	-0,447*†	-0,607*†	0,304	0,078
Freq.	-	0,541*	0,074	0,062	-0,086	-0,077	-0,117
Vol.	-	-	-0,300	0,294	0,152	-0,049	-0,179
Ritmo	-	-	-	0,029	0,077	0,242	0,118
AmpDir	-	-	-	-	0,717*	0,012	-0,164
AmpEsq	-	-	-	-	-	0,120	-0,335
AmpDin	-	-	-	-	-	-	-0,429

Legenda: Tempo=tempo de treino; Freq.=frequência semanal de treino; Vol.=volume semanal de treino; Ritmo=ritmo médio da corrida; AmpDir=amplitude da dorsiflexão do tornozelo direito; AmpEsq=amplitude da dorsiflexão do tornozelo AdmDin=amplitude de movimento dinâmica do membro dominante; FlexJ=flexão do joelho dominante. *p<0,05. †Correlação de Spearman.

Figura 4. Correlação de Pearson entre a amplitude dinâmica da dorsiflexão e flexão do joelho de corredoras recreacionais (n=20).

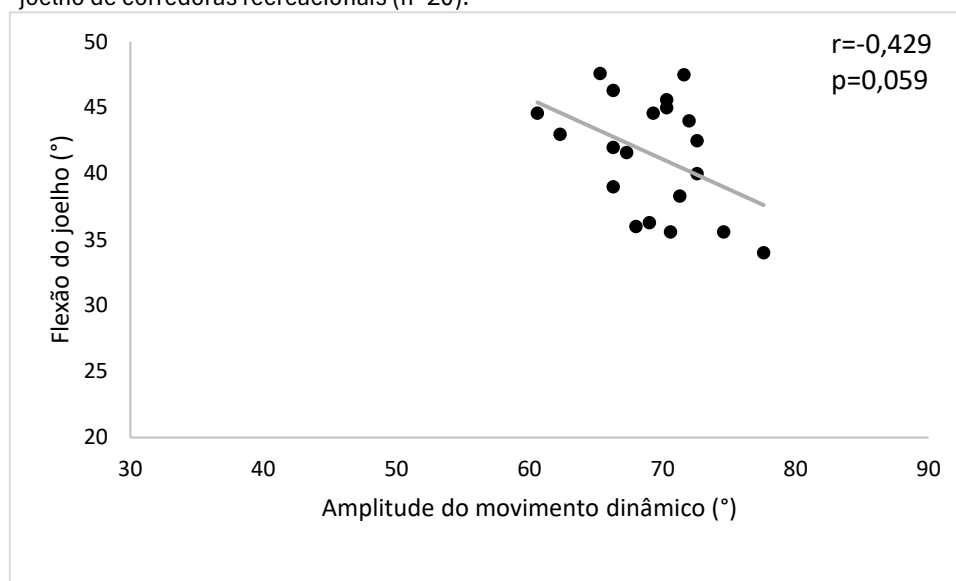


Tabela 3. Comparação da amplitude de movimento das participantes de acordo com o volume de treinamento semanal (n=20).

	Menos de 20km/sem (n=9)	20 ou mais km/sem (n=11)	p-valor	Tamanho do Efeito
Amplitude tornozelo direito (°)	42,78 ± 10,34	45,00 ± 7,75	0,589	0,247
Amplitude tornozelo esquerdo (°)	45,56 ± 7,68	46,36 ± 5,52	0,787	0,122
Amp. de movimento dinâmica (°)	69,37 ± 3,95	69,08 ± 4,33	0,881	-0,070
Flexão do joelho (°)	42,68 ± 4,35	40,45 ± 4,24	0,264	-0,520

Nota: Grupos divididos de acordo com a mediana da população estudada.

Tabela 4. Comparação da amplitude de movimento das participantes de acordo com o ritmo médio de corrida (n=20).

	Menos de 6,75 min/km (n=10)	6,75 min/km ou mais (n=10)	p-valor	Tamanho do Efeito
Amplitude tornozelo direito (°)	43,50 ± 11,56	44,50 ± 5,50	0,808	0,110
Amplitude tornozelo esquerdo (°)	44,50 ± 6,85	47,50 ± 5,89	0,308	0,470
Amp. de movimento dinâmica (°)	68,20 ± 3,58	70,22 ± 4,27	0,277	0,513
Flexão do joelho (°)	41,22 ± 4,27	41,69 ± 4,61	0,816	0,106

Nota: Grupos divididos de acordo com a mediana da população estudada.

DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo verificar a amplitude de dorsiflexão de tornozelo e a flexão de joelho medidos clinicamente com o *Lunge Test* e com uma análise cinemática, em corredoras recreacionais, e comparar com essas medidas com o tempo de treinamento na corrida, frequência e volume semanal de treino, e ritmo médio de corrida.

O principal achado do presente estudo indica que o tempo de treinamento afeta negativamente a dorsiflexão de tornozelo. De um ponto de vista fisiológico, parece ser uma adaptação natural, na medida em que, durante a corrida, o tendão dos músculos que compõem o tríceps sural, parece não sofrer um pré-alongamento substancial¹¹. Portanto, o armazenamento de energia parece ser proveniente da contração ativa dos músculos conectados ao tendão, não contando com um somatória da energia elástica. Assim, reduzir a complacência do tendão em questão, poderia aumentar a velocidade de transferência de energia do músculo para o tendão e, portanto, reduzir a dissipação dessa energia, diminuindo o custo energético das contrações musculares associadas¹².

Em suma, a transmissão de força para a articulação pode ser favorecida em relação ao armazenamento e liberação de energia elástica, pois, para uma dada quantidade e taxa de encurtamento da unidade do tendão muscular, menor encurtamento da fibra muscular é necessário com um tendão rígido quando comparado a um complacente, no qual o encurtamento adicional da fibra é necessário para acomodar o alongamento do tendão¹².

Assim, como a corrida trata-se de sucessivos saltos, realizando, portanto, um grande volume de ciclo-alongamento-encurtamento das propriedades envolvidas na articulação do tornozelo, entre elas o tendão do tríceps sural, poderia ocasionar uma melhora na economia de corrida e, por sua vez, reverberar positivamente no desempenho dos seus praticantes, o que parece ser confirmado pelas correlações negativas e significantes.

Adicionalmente, os achados identificaram correlações significativas positivas entre a frequência semanal e o volume semanal de treino ($r=0,541$; $p=0,014$) e entre a amplitude da dorsiflexão dos tornozelos direito e esquerdo ($r=0,717$; $p<0,001$). Essas correlações observadas já eram esperadas, considerando que se espera que quanto maior for a frequência semanal, maior o volume semanal de treino.

No que se refere a amplitude movimento, também espera-se que, quanto maior a amplitude de movimento de uma dada articulação, maior seria a amplitude de movimento da articulação contralateral, o que é confirmado no estudo de Almansoof et al.¹³, que investigaram a correlação de dorsiflexão do tornozelo entre o lado direito e esquerdo de 21 atletas recreacionais, todos homens, demonstraram haver uma positiva e significativa correlação entre os lados [$r = 0,514$, (0,092 – 0,779) 95% IC, $p < 0.01$].

A avaliação da dorsiflexão estática através do *Lunge Test* foi observada em estudos anteriores. Ferreira et al.²⁵ utilizaram o lado dominante para a mensuração clínica dessa variável e obtiveram medidas que variaram de 20° a 60°, essa variação nas medidas também foram encontradas no presente estudo. Rabin et al.²⁶ mostraram que recrutas militares com dorsiflexão abaixo de 22° tiveram maior risco de desenvolver a tendinopatia de Aquiles, corroborando com estudos que levantaram a hipótese de que a dorsiflexão limitada pode levar à pronação excessiva, aumentando a tensão do tendão de Aquiles e também pode gerar sobrecarga no tendão patelar²⁷. Esses achados mostram a importância de avaliar essa medida como preditora de futuras lesões e para identificar tanto a presença de um déficit de mobilidade quanto uma hipermobilidade na região do tornozelo.

Milner et al.²⁸ sugeriram que a menor flexão do joelho no contato inicial entre os atacantes do retropé contribuiu para lesões ósseas devido à maior rigidez articular e, conseqüentemente, maiores taxas de carga e absorção de choque prejudicada. Por outro lado, o aumento dessa angulação durante a corrida pode reduzir o risco de lesão no joelho e pode ser observado em corredores competitivos, o que sugere que essa variável parece ser uma adaptação protetora²⁹.

Corredores mais fortes podem ser capazes de usar maior flexão de joelho, criando uma estratégia de aterrissagem favorável³⁰. Bonacci et al.³¹ também observaram que um menor ângulo de flexão do joelho durante a fase de apoio na corrida, diminui a demanda sobre os músculos do quadríceps. Em seu estudo, os valores para o pico de flexão variaram entre 46,9° e 54,5°, já o presente estudo apresentou valores variando entre 35,6° e 47,6°.

Não foram encontradas diferenças significativas entre a distância percorrida semanalmente (volume de treino) e as variáveis cinemáticas estudadas (dorsiflexão de tornozelo e flexão de joelho). O volume de corrida semanal é comumente usado para prescrever o treinamento, pois é específico e de fácil compreensão. Além disso, a distância percorrida semanalmente pode ser considerada como um dos fatores de risco para o surgimento de lesões relacionadas à corrida. O

estudo de van Mechelen³², por exemplo, encontrou uma relação quase linear entre o aumento da distância semanal e a incidência de lesões na corrida para homens e mulheres.

No entanto, até onde sabemos, parece não haver estudos comparando a distância com as variáveis cinemáticas supracitadas. Shiotani *et al.*³³ avaliaram a rigidez da fásia plantar em corredores de longa distância e em indivíduos não treinados e observaram um aumento da rigidez nos corredores de longa distância, o que pode ser ocasionado em resposta à carga aos quais estão expostos.

Esses resultados sugerem uma adaptabilidade em decorrência do estresse mecânico da corrida, tal qual ocorreu no presente estudo, mesmo que em uma amostra de corredoras recreacionais.

Com relação à dorsiflexão do tornozelo, das vinte voluntárias avaliadas, quatro apresentavam valores abaixo de 40°, o que sugere uma restrição de mobilidade e seis voluntárias apresentavam valores acima de 50°, o que pode sugerir uma hipermobilidade do tornozelo. Para o movimento de flexão de joelho, nenhuma voluntária apresentou o valor de 50° e as que chegaram em valores próximos variaram o ritmo de corrida, não mostrando relação entre a mobilidade de joelho e velocidade de corrida.

Isso pode ser observado na tabela 4, a qual mostra que o ritmo médio de corrida não apresenta relação com as variáveis estudadas. Isso sugere que corredoras mais velozes não necessariamente apresentam melhores valores para mobilidade articular de joelho e tornozelo. No entanto, a homogeneidade da amostra pode ter influenciado nesse achado.

As evidências sobre as alterações da flexão do joelho durante a fase de apoio em relação à velocidade de corrida são ambíguas, com alguns estudos indicando aumento da flexão do joelho durante o apoio médio e outros mostrando que a flexão do joelho permanece relativamente estável em todas as velocidades de corrida^{34,35}.

Assim, como não houve diferença entre frequência semanal e dorsiflexão e flexão de joelho, o ritmo médio de corrida também não apresentou diferença significativa com as mesmas variáveis. Sabe-se que os corredores mudam suas velocidades de corrida com a mudança de comportamentos cinéticos, por exemplo, o torque de flexão plantar do tornozelo e o trabalho da articulação do tornozelo durante a fase de apoio aumentam na faixa de velocidade mais lenta³⁶. Por outro lado, o estudo de Schache *et al.*³⁴ encontrou que as articulações do joelho e do tornozelo não diferiram significativamente com os incrementos de velocidade de corrida. Ainda assim, trata-se de um tema controverso e pouco explorado na literatura.

Dentre as limitações do presente estudo, destaca-se o delineamento transversal, que impede de estabelecer razões de causa e efeito. Além disso, a medição foi realizada apenas em indivíduos do sexo feminino e em corredoras recreacionais, não sendo possível generalizar os resultados para o gênero masculino e para atletas competitivos. Outro aspecto é a amostra, que apesar de apresentar experiência de corrida e volume de treino distintos, no aspecto biomecânico pode ser considerada uma amostra homogênea.

CONCLUSÃO

Conclui-se que, para a amostra estudada, houve correlação significativa negativa entre o tempo de treino (meses) e a amplitude da dorsiflexão dos tornozelos direito e esquerdo.

REFERÊNCIAS

1. Hespanhol Junior LC, Pillay JD, Van Mechelen W, Verhagen E. Meta-Analyses of the Effects of Habitual Running on Indices of Health in Physically Inactive Adults. *Sports Medicine*. 2015;45(10):1455–68. doi: doi.org/10.1007/s40279-015-0359-y
2. Dallinga J, Van Rijn R, Stubbe J, Deutekom M. Injury incidence and risk factors: A cohort study of 706 8-km or 16-km recreational runners. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*. 2019;5:e000489. doi: 10.1136/bmjsem-2018-000489
3. Fraga CHW, Bloedow LDLS, Vaz MA. Análise de variáveis cinemáticas na corrida do triathlon obtidas em prova simulada. *Revista Brasileira de Biomecânica*. 2007;8(14):16-20.
4. Brandina K. *Biomecânica aplicada ao esporte*. São Paulo: Editora Sol; 2018.
5. Soderberg GL. *Gait and gait retraining*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1990.
6. Adelaar RS. The practical biomechanics of running. *Am J Sports Medicine*. 1986;14(6): 497-500. doi: 10.1177/036354658601400613
7. Bertuzzi R, Brum PC, Alves CRR, Lima-Silva AE (Orgs). *Aptidão aeróbia desempenho esportivo, saúde e nutrição*. 1o Edição. Barueri-SP: Manole; 2017. 552 p.

8. Puleo J, Milroy P. *Running Anatomy*. 2nd Edition. Champaign, IL: Human Kinetics; 2019. 200p.
9. Lima Y, Ferreira VMLM, Lima POP, Bezerra MA, Oliveira RR, Almeida GPL. The association of ankle dorsiflexion and dynamic knee valgus: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*. 2018;29:61-9. doi: 10.1016/j.ptsp.2017.07.003
10. Burgess KE, Connick MJ, Graham-Smith P, Pearson SJ. Plyometric vs. isometric training influences on tendon properties and muscle output. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2007;21(3):986-989. Disponível em: https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/2007/08000/Plyometric_Vs_Isometric_Training_Influences_on.55.aspx. Acesso em 23 out 2024.
11. Lichtwark GA, Bougoulias K, Wilson AM. Muscle fascicle and series elastic element length changes along the length of the human gastrocnemius during walking and running. *J Biomech*. 2007;40:157-164. Doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.10.035
12. Fletcher JR, Esau SP, MacIntosh BR. Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110:1037-1046. doi: 10.1007/s00421-010-1582-8
13. Almansoof HS, Nuhmani S, Muaidi Q. Role of ankle dorsiflexion in sports performance and injury risk: A narrative review. *Electronic Journal of General Medicine*. 2023;20(5):em512. doi: 10.29333/ejgm/13412
14. Rabin A, Portnoy S, Kozol Z. The association of ankle dorsiflexion range of motion with hip and knee kinematics during the lateral step-down test. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2016;46:1002-1009. doi: 10.2519/jospt.2016.6621
15. Sigward SM, Ota S, Powers CM. Predictors of frontal plane knee excursion during a drop land in young female soccer players. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2008;38:661-667. doi: 10.2519/jospt.2008.2695
16. Moreno-Pérez V, Soler A, Ansa A, López-Samanes Á, Madruga-Parera M, Beato M, Romero-Rodríguez D. Acute and chronic effects of competition on ankle dorsiflexion ROM in professional football players. *European journal of sport science*. 2020;20(1):51-60. doi: 10.1080/17461391.2019.1611930
17. Jungmalm J, Grau S, Desai P, Karlsson J, Nielsen RØ. Study protocol of a 52-week Prospective Running INjury study in Gothenburg (SPRING). *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2018;4(1):e000394. doi: 10.1136/bmjsem-2018-000394
18. Hoch MC, McKeon PO. Normative range of weight-bearing lunge test performance asymmetry in healthy adults. *Manual Therapy*. 2011;16(5):516-9. doi: 10.1016/j.math.2011.02.012
19. Venturini C, André A, Aguilar BP, Giacomelli B. Reliability of two evaluation methods of active range of motion in the ankle of healthy individuals. *Acta Fisiátrica*. 2006;13(1):39-43. doi: 10.11606/issn.2317-0190.v13i1a102574
20. Bennell K, Talbot R, Wajswelner H, Technovanich W, Kelly D, Hall AJ. Intra-rater and inter-rater reliability of a weight-bearing lunge measure of ankle dorsiflexion. *Australian Journal of Physiotherapy*. 1998;44(3):175-180. doi: 10.1016/S0004-9514(14)60377-9
21. Konor MM, Morton S, Grindstaff TL. Reliability of three measures of ankle dorsiflexion range of motion. *The International Journal of Sports Physical Therapy*. 2012;7(3):279-287. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3362988/pdf/ijsp-07-279.pdf>. Acesso em 16 ago 2024.
22. Dingenen B, Barton C, Janssen T, Benoit A, Malliaras P. Test-retest reliability of two-dimensional video analysis during running. *Physical Therapy in Sport*. 2018;33:40-47. doi: 10.1016/j.ptsp.2018.06.009
23. Kingston B, Murray A, Norte GE, Glaviano NR. Validity and reliability of 2-dimensional trunk, hip, and knee frontal plane kinematics during single-leg squat, drop jump, and single-leg hop in females with patellofemoral pain. *Physical Therapy in Sport*. 2020;45:181-187. doi: 10.1016/j.ptsp.2020.07.006
24. Cohen J. *The effect size. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 1988:77-83.
25. Ferreira VLM, Oliveira RR, Nazareno TS, Freitas LV, Mendonça LD. Interaction of foot and hip factors identifies achilles tendinopathy occurrence in recreational runners. *Physical Therapy in Sport*. 2020;45:111-19. doi: 10.1016/j.ptsp.2020.06.006
26. Rabin A, Kozol Z, Finestone AS. Limited ankle dorsiflexion increases the risk for midportion Achilles tendinopathy in infantry recruits: a prospective cohort study. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2014;7:48. doi: 10.1186/s13047-014-0048-3
27. Mendonça LD, Ocarino JM, Bittencourt NFN, Macedo LG, Fonseca ST. Association of Hip and Foot Factors With Patellar Tendinopathy (Jumper's Knee) in Athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2018;48(9):676-684. doi: 10.2519/jospt.2018.7426
28. Milner CCE, Hamill ID. Are knee mechanics during early stance related to tibial stress fracture in runners? *Clinical Biomechanics*. 2007;22(6):697-703. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2007.03.003
29. Quan W, Ren F, Sun D, Fekete G, He Y. Do Novice Runners Show Greater Changes in Biomechanical Parameters? *Appl Bionics Biomech*. 2021; 8894636. doi: 10.1155/2021/8894636
30. Moffit TJ, Montgomery MM, Lockie RG, Pamukoff DN. Association between knee-and hip-extensor strength and running-related injury biomechanics in collegiate distance runners. *Journal of Athletic Training*. 2020;55(12):1262-1269. doi: 10.4085/1062-6050-0532.19
31. Bonacci J, Saunders PU, Hicks A, Rantalainen T, Vicenzino BT, Spratford W. Running in a minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study. *British Journal of Sports Medicine*. 2013;47(6):387-392. doi: 10.1136/bjsports-2012-091837
32. van Mechelen W. *Running Injuries: A Review of the Epidemiological Literature*. *Sports Medicine*. 1992;14(5):320-335. doi: 10.2165/00007256-199214050-00004

33. Shiotani H, Yamashita R, Mizokuchi T, Sado N, Naito M, Kawakami Y. Track distance runners exhibit bilateral differences in the plantar fascia stiffness. *Sci Rep.* 2021;11:9260. doi: 10.1038/s41598-021-88883-4
34. Schache AG, Brown NAT, Pandy MG. Modulation of work and power by the human lower-limb joints with increasing steady-state locomotion speed. *The Journal of Experimental Biology.* 2015;218(15):2472-2481. doi: 10.1242/jeb.119156
35. van Oeveren BT, de Ruitter CJ, Beek PJ, van Dieen JH. The biomechanics of running and running styles: a synthesis. *Sports Biomechanics.* 2024;23(4):516-554. doi: 10.1080/14763141.2021.1873411
36. Sado N, Yoshioka S, Fukashiro S. A biomechanical study of the relationship between running velocity and threedimensional lumbosacral kinetics. *Journal of Biomechanics.* 2019;94:158-164. doi: 10.1016/j.jbiomech.2019.07.038