

Renata Alves Frederico

**INTERAÇÕES ENTRE FATORES MUSCULOESQUELÉTICOS LOCAIS,
IDADE E TEMPO DE PRÁTICA DE CORRIDA EM CORREDORES COM
HISTÓRICO DE LESÃO EM PERNA E PÉ**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2021

Renata Alves Frederico

**INTERAÇÕES ENTRE FATORES MUSCULOESQUELÉTICOS LOCAIS,
IDADE E TEMPO DE PRÁTICA DE CORRIDA EM CORREDORES COM
HISTÓRICO DE LESÃO EM PERNA E PÉ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Área de Concentração: Desempenho Funcional Humano

Orientador: Prof Dr Sérgio Teixeira da Fonseca

Co-Orientador: Dr Thiago Ribeiro Teles dos Santos

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2021

F852i Frederico, Renata Alves
2021 Interações entre fatores musculoesqueléticos locais, idade e tempo de prática de corrida em corredores com histórico de lesão em perna e pé. [manuscrito] / Renata Alves Frederico – 2021.
50 f.: il.

Orientador: Sérgio Teixeira da Fonseca
Coorientador: Thiago Ribeiro Teles dos Santos

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Bibliografia: f. 46-50

1. Corridas – Teses. 2. Corredores (esporte) – Teses. 3. Lesão – Teses. 4. Sistemas musculoesqueléticos – ferimentos e lesões – Teses. I. Fonseca, Sérgio Teixeira da. II. Santos, Thiago Ribeiro Teles dos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.

CDU: 612.76

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Danilo Francisco de Souza Lage, CRB 6: nº 3132, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

INTERAÇÕES ENTRE FATORES MUSCULOESQUELÉTICOS LOCAIS, IDADE E TEMPO DE PRÁTICA DE CORRIDA EM CORREDORES COM HISTÓRICO DE LESÃO EM PERNA E PÉ

RENATA ALVES FREDERICO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, como requisito para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, área de concentração DESEMPENHO FUNCIONAL HUMANO.

Aprovada em 13 de dezembro de 2021, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Sérgio Teixeira da Fonseca - Orientador
UFMG


Prof. Thales Rezende de Souza
UFMG


Profa. Cecília Ferreira de Aquino
UNIFENAS Campus Divinópolis

Belo Horizonte, 13 de dezembro de 2021.



ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DA ALUNA **RENATA ALVES FREDERICO**

Realizou-se, no dia 13 de dezembro de 2021, às 14:00 horas, Online, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de dissertação, intitulada *INTERAÇÕES ENTRE FATORES MUSCULOESQUELÉTICOS LOCAIS, IDADE E TEMPO DE PRÁTICA DE CORRIDA EM CORREDORES COM HISTÓRICO DE LESÃO EM PERNA E PÉ*, apresentada por RENATA ALVES FREDERICO, número de registro 2019713688, graduada no curso de FISIOTERAPIA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Sérgio Teixeira da Fonseca - Orientador (UFMG), Prof. Thales Rezende de Souza (UFMG), Profa. Cecilia Ferreira de Aquino (UNIFENAS Campus Divinópolis).

A Comissão considerou a dissertação:

(X) Aprovada

() Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 13 de dezembro de 2021.

Prof. Sérgio Teixeira da Fonseca (Doutor)

Prof. Thales Rezende de Souza (Doutor)

Profa. Cecilia Ferreira de Aquino (Doutora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à existência sutil de forças que me guiam sempre pelo melhor caminho. Segui o conselho dos meus companheiros de luz e no final desta jornada sei que saio muito melhor que quando a iniciei.

Sou grata aos meus pais, fonte primeira de aprendizado, pelo carinho, compreensão e suporte. Ao meu pai agradeço em especial o esforço realizado para que eu pudesse completar todas as fases da minha formação formal. Iniciei este projeto com o seu apoio e agora finalizo-o com o senhor em meu coração, sei que onde está o senhor olha por mim. Nunca esquecerei seu maior ensinamento: o conhecimento é a chave da liberdade e da independência. À minha mãe, exemplo de simplicidade e superação, minha raiz mais profunda.

Agradeço às minhas irmãs Fernanda e Lais pelo companheirismo, compreensão, cuidado e acolhimento durante todo este processo.

Ao Bernardo Visconti pela compreensão diante da minha disponibilidade reduzida de horários para lazer, pelo acolhimento, incentivo e pelas horas de descontração.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio Fonseca, por todas discussões que contribuíram não só com este estudo, mas também com o meu aprendizado. Obrigada pelas perguntas sem respostas, pelas colocações e pelo exemplo de fisioterapeuta, pesquisador e professor.

Ao meu co-orientador, Dr. Thiago Teles, pela incrível capacidade de tornar essa jornada mais leve e por me ajudar a pensar nas perguntas sem respostas do Sérgio. Obrigada pela disponibilidade e paciência de me ensinar a utilizar e entender os softwares e pela confiança na concessão dos dados.

Aos meus amigos de profissão e de vida Bruna Mara, Breno Gonçalves e Valéria Andrade que incentivaram, auxiliaram e também me divertiram muito com a troca de experiências, sou muito orgulhosa da trajetória de vocês.

À equipe de prestação de serviços do Laboratório de Análise de Movimento, Liria Okai-Nobrega, Priscila Albuquerque, Aline Castro, Thiago Teles e os demais envolvidos pela parceria, pelas discussões, pela pressão e por toda alegria envolvida nesse processo um tanto quanto atroz.

Aos professores que contribuíram com minha formação no mestrado, especialmente à Daniela Vaz, Juliana Ocarino e Renan Resende por todo conhecimento e oportunidade.

Aos alunos de iniciação científica que me ajudaram no início do trabalho, obrigada pela disponibilidade de tempo, pela dedicação ao aprendizado e pela ajuda nas fases do desenvolvimento do projeto.

Às minhas amigas do mestrado, Bruna Gontijo, Michelle Sena, Nayara Santos e Rayane da Vitória por toda troca de experiências, apoio, ajuda e pelos desabafos.

Agradeço pelo serviço prestativo dos funcionários do colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da UFMG. Aos funcionários da lanchonete que atendiam sempre com bom humor. Aos funcionários da limpeza sempre muito educados. Aos funcionários da portaria que nem sempre estavam sorrindo, mas sempre trabalhando com atenção. Aos funcionários da TI que sempre fazem o possível para resolver nossos problemas.

Agradeço o suporte da Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), da Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) para a realização desta pesquisa.

Agradeço a todos que contribuíram diretamente e indiretamente para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço ainda a todos aqueles que acreditam na ciência como fonte de informação e de melhoria do mundo, não se permitindo viver no negacionismo.

“O importante é não parar de questionar. A curiosidade tem a sua própria razão para existir”.

Albert Einstein, físico teórico.

RESUMO

Introdução: A corrida é uma atividade que apresenta alta incidência de lesões na região da perna e pé. Alguns fatores associados a essas lesões já foram descritos, entretanto, ainda não está claro como esses fatores interagem entre si em corredores com histórico de lesão. **Objetivo:** Identificar subgrupos de corredores com características semelhantes que têm ou não histórico de lesão na perna e pé no último ano. **Métodos:** Estudo observacional transversal. Participaram do estudo 62 corredores, sendo 22 com e 40 sem histórico de lesão. Foram avaliadas a complacência tecidual do tornozelo, alinhamento antepé-perna e a força dos flexores plantares, além disso, foram coletadas informações sobre o tempo de experiência na corrida e a idade. A análise dos dados foi realizada utilizando a Árvore de Classificação e Regressão (CART). **Resultados:** A análise revelou sete subgrupos de corredores, sendo quatro deles com histórico de lesão e três sem histórico de lesão. Entre os fatores associados ao histórico de lesão está a menor complacência do tornozelo. A maior complacência do tornozelo foi associada ao histórico de lesão quando em conjunto com outros fatores. O alinhamento antepé-perna comportou-se de maneira distinta entre os subgrupos de corredores mais jovens e mais velhos. A experiência em corrida foi selecionada pela análise somente no subgrupo de corredores mais velhos. A força muscular não foi selecionada pelo modelo como preditora do histórico de lesão. **Conclusão:** Os fatores musculoesqueléticos interagiram com o tempo de experiência na corrida e a idade gerando subgrupos específicos com e sem histórico de lesão. A menor complacência do tornozelo parece ser prejudicial aos corredores, uma vez que ela foi capaz de prever histórico de lesão sem associação com as demais variáveis. Além disso, corredores mais velhos e com maior experiência em corrida parecem conseguir lidar melhor com um maior varismo de antepé-perna, em contrapartida, corredores mais jovens com maiores valores de varismo apresentam maior risco de apresentarem histórico de lesão. Compreender como as diferentes faixas etárias lidam com essa variável é importante para guiar os profissionais envolvidos com a saúde do corredor.

Palavras-chave: histórico de lesão, corrida, preditores de lesão, complacência do tornozelo, idade

ABSTRACT

Introduction: Running is an activity with a high incidence of injuries at shank and foot. Some factors associated with these injuries have already been described. However, it is still unclear how these factors interact with each other in runners with a history of injury.

Objective: To identify subgroups of runners with similar characteristics who have or do not have a history of shank and foot injuries in the last year.

Methods: Cross-sectional observational study. Sixty-two runners participated in the study, 22 with and 40 without injury history. Ankle tissue compliance, forefoot-leg alignment, plantar flexor strength, running experience time, and age were collected. Data analysis was performed using the Classification and Regression Tree (CART).

Results: The analysis revealed seven subgroups of runners, four of them with a history of injury and three of them without a history of injury. Lower ankle compliance was one of the factors associated with injury history. Higher ankle compliance was associated with injury history when combined with other factors. The forefoot-leg alignment contributed differently to injury in the younger and older runners' subgroups. Running experience was selected as a predictor of injury history only in the older runner's subgroup. The model did not select muscle strength as a predictor of injury history.

Conclusion: Musculoskeletal factors interact with running experience time and age, generating specific subgroups with and without injury history. Lower ankle compliance seems to be harmful to runners since it could predict injury history without association with the other variables. In addition, older runners with greater running experience seem to be better able to deal with greater forefoot varus. In contrast, younger runners with higher varus values are at greater risk of having a history of injury. Understanding how different age groups deal with this variable is essential to guide professionals involved with runners' health.

Keywords: injury history, run, injury predictors, ankle compliance, age

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CART - *Classification and Regression Tree* ou árvore de classificação e regressão

HLRC-PP – Histórico de lesão relacionada à corrida em perna e pé

HRRI-SF - *History of running-related injury in shank and foot*

IC – Intervalo de confiança

ICC – Coeficiente de correlação intraclasse

LAM - Laboratório de Análise do Movimento

ROC - Curva característica de operação do receptor

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

METODOLOGIA

Figura 1 – Testes clínicos e avaliação isocinética da força21

ARTIGO

Figure 1 – Testes clínicos e avaliação isocinética da força.....41

Figure 2 – Árvore de decisão gerada pela análise CART.....42

Figure 3 – Diagrama dos nodos terminais da árvore de decisão.....43

Figure 4 – Curva ROC da árvore de decisão.....44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	MATERIAIS E MÉTODO	18
	2.1 Delineamento do Estudo.....	18
	2.2 Amostra	18
	2.3 Procedimentos	19
	2.4 Redução de Dados.....	23
	2.5 Análise Estatística.....	23
3	ARTIGO	25
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
	ANEXO 1 – Aprovação do Comitê de Ética.....	51

PREFÁCIO

Esta dissertação foi desenvolvida em três seções, seguindo as normas estabelecidas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). A primeira seção contém a introdução com a problematização a respeito do tema escolhido, a justificativa do estudo realizado e os objetivos do estudo. A segunda seção apresenta o artigo científico correspondente ao estudo realizado, formatado segundo as normas do periódico *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. As considerações da banca examinadora serão utilizadas para revisar o artigo, que em seguida será submetido para publicação. Na terceira seção estão expostas as considerações finais desta dissertação. Em seguida, estão indicadas as referências bibliográficas, anexos e apêndices.

1 INTRODUÇÃO

A corrida é uma atividade que apresenta um número crescente de praticantes devido ao baixo custo e a praticidade associados ao esporte¹. Uma das principais razões que levam o indivíduo a iniciar a corrida é a melhora na saúde¹. Entre os benefícios da atividade estão a redução na incidência de doenças cardiovasculares, da obesidade e o aumento da longevidade¹⁻³. Apesar dos benefícios associados ao esporte, a corrida apresenta uma alta incidência de lesão variando entre 19,4 a 92,4%^{4,5}. Além dos custos decorrentes das lesões, os atletas podem perder a motivação e se afastarem da prática^{6,7}. Por isso, entender os fatores associados às lesões é um dos primeiros passos para que programas de prevenção possam ser traçados, o que permitirá que corredores permaneçam fisicamente ativos.

As lesões na corrida acometem, principalmente, os membros inferiores, sendo as regiões de perna e pé as mais frequentemente afetadas^{8,9}. Entre as lesões encontradas nessas regiões, pode-se citar a síndrome do estresse tibial medial, tendinopatia do tendão calcâneo, fratura tibial e de metatarso por estresse, distensão muscular de gastrocnêmio/sóleo e fascite plantar^{9,10}. A maioria das lesões ocorre por *overuse*, ou seja, não apresenta o histórico de um evento específico responsável pela lesão. Sua etiologia pode apresentar diversos fatores relacionados, como carga de treinamento e técnicas inadequadas de corrida¹¹. Geralmente, a lesão por *overuse* é o resultado do desequilíbrio entre a carga recebida pelo corpo e a carga com a qual ele é capaz de lidar¹¹. Assim, o entendimento das lesões em corredores deve considerar como o sistema musculoesquelético lida com as cargas relacionadas ao esporte.

A maneira com que os fatores do sistema musculoesquelético se relacionam com a corrida está relacionada com o gesto realizado nesse esporte. A fase de apoio da corrida pode ser dividida em duas subfases, a fase de absorção de carga, que ocorre entre o momento que o pé aterrissa no solo até o contato total do pé, e a fase de propulsão, que ocorre quando o pé está totalmente apoiado até o momento em que o pé sai do solo¹². No contato inicial, a fâscia plantar recebe uma carga equivalente a 3,7 vezes o peso corporal e o tendão calcâneo o equivalente a 7,7 vezes o peso corporal¹³. Parte dessa energia é dissipada na medida em que ocorrem a dorsiflexão de tornozelo, flexão de joelho e quadril. Dessa forma, esses movimentos contribuem para absorção do impacto recebido pelo corpo¹⁴. Na segunda fase do apoio, ou fase de propulsão, os movimentos são gerados

com o intuito de impulsionar o corpo à frente¹². Para isso, o pé precisa torna-se uma alavanca rígida, capaz de transmitir as forças do membro inferior para o solo¹⁴. Especificamente, nessa fase ocorre a supinação da articulação subtalar, que irá permitir que os torques articulares gerados a partir dos movimentos de extensão de quadril e joelho e flexão plantar do tornozelo sejam transmitidos ao solo¹². A energia necessária para impulsionar o corpo nessa fase provém de mecanismos ativos, contração concêntrica, além da energia elástica armazenada nos tecidos do sistema musculoesquelético na fase inicial do apoio, principalmente no tendão do gastrocnêmio-sóleo¹⁵. Dessa forma, o movimento relacionado à corrida requer que o sistema musculoesquelético seja capaz de absorver energia, assim como armazenar e reutilizar esta energia para impulsionar o corpo à frente.

Entre as características do sistema musculoesquelético para lidar com as forças relacionadas à corrida, destaca-se a complacência do tornozelo, a capacidade dos flexores plantares de gerar torque e o adequado alinhamento do pé em relação à perna. Alterações nessas características podem afetar a biomecânica ideal da corrida, fazendo com que o custo energético da corrida seja maior, expondo, conseqüentemente, o sistema musculoesquelético a maiores cargas e possíveis sobrecargas. Assim, a relação dessas características com a corrida será detalhada nos parágrafos seguintes.

Durante a fase de absorção de carga, um dos fatores que pode comprometer a biomecânica ideal da corrida é a complacência tecidual do tornozelo^{15,16}. A complacência tecidual pode ser entendida como a capacidade de distensão tecidual sob a aplicação de uma força¹⁷. Quanto maior a complacência tecidual, maior a deformação que os tecidos irão sofrer sob a aplicação de uma mesma força¹⁷. Essa propriedade é o inverso da rigidez tecidual. Durante a primeira fase do apoio, ocorre a dorsiflexão do tornozelo, esse movimento leva ao alongamento dos tecidos posteriores ao tornozelo, principalmente do tendão calcâneo. Esse alongamento tecidual permite não só que o tornozelo realize a dorsiflexão em amplitude adequada para dissipar carga, mas também está relacionado à capacidade de armazenar energia elástica que será retornada ao sistema musculoesquelético durante a fase de impulsão¹². É possível que alterações na complacência tecidual do tornozelo modifiquem os mecanismos de dissipação e de armazenamento de energia e resulte numa corrida com menor eficiência energética¹⁵. Uma possível adaptação a essa ineficiência em armazenar energia seria uma maior geração de energia por meio da contração muscular, o que pode resultar em fadiga e, conseqüentemente, lesões a ela associadas¹⁸. Portanto, a compreensão de como a

complacência se relaciona com outros fatores pode auxiliar no planejamento de programas de prevenção de lesões em corredores.

A fase final do apoio, ou fase de propulsão, é responsável por impulsionar o corpo à frente e prosseguir com o deslocamento horizontal da corrida¹². Durante esse período é essencial que o pé esteja em posição favorável para que a energia armazenada no tendão calcâneo durante a fase anterior e a energia gerada pelos flexores plantares e extensores de joelho e quadril nesse período seja transmitida ao solo¹². Para isso, o pé realiza o movimento de supinação, tornando-se uma alavanca rígida capaz de realizar tal transmissão^{12,19}. Quando o movimento de supinação não acontece na segunda fase do apoio e o pé impulsiona em posição pronada, parte da energia propulsora é perdida e o impulso pode ficar comprometido²⁰. Para compensar essa perda de energia, é provável que os flexores plantares tenham que realizar mais força a partir de seus componentes ativos para manter o comprimento do passo²⁰. Um dos fatores que propicia a pronação na segunda fase do apoio é o mau alinhamento entre o antepé e a perna²¹. Indivíduos que apresentam maiores valores de varismo nesse alinhamento tendem a apresentarem maiores amplitudes de pronação que podem perdurar durante a fase de propulsão²¹. Apesar da pronação excessiva ser relacionada com diversas lesões, ainda há controvérsias na literatura a respeito da sua relação direta com tais lesões²². Dessa forma, é possível que a pronação excessiva seja compensada de diversas formas durante a corrida e que sua relação com as lesões dependa de outros fatores associados.

Ainda durante a fase de impulsão, se o pé permanece pronado, para que o corredor consiga compensar a perda de energia decorrente do pé menos rígido é necessário que ele apresente força adequada. Entretanto, a maior geração de força ativa pode impor uma maior tensão nos tecidos e contribuir para a sua sobrecarga¹⁹. Alguns estudos prévios mostram que a fraqueza dos flexores plantares está associadas a lesões como a tendinopatia do tendão calcâneo e fascite plantar em indivíduos que praticam esportes que envolvem a corrida^{18,23}. Em outros grupos musculares distais, como abdutores de quadril, corredores que apresentam fraqueza muscular realizavam também movimentos excessivos que os deixavam mais predispostos a lesões²⁴. Além disso, corredores com fraqueza muscular dos flexores plantares podem apresentar maior amplitude de movimento de dorsiflexão de tornozelo associada¹⁸. É possível que essa maior amplitude seja por consequência da maior complacência tecidual apresentada pelo músculo mais fraco, já que a complacência está associada a área de secção transversa do músculo entre outras características teciduais¹⁷. Apesar da relação entre a fraqueza muscular e alguns

tipos de lesões já estar mais evidente na literatura, ainda não se sabe como ela interage com outros fatores para o desenvolvimento de lesões, sendo assim, estudar sua relação com outras variáveis pode trazer esclarecimentos.

Além dos fatores musculoesqueléticos, outros aspectos podem estar relacionados ao surgimento de lesões. A experiência em corrida parece desempenhar um papel importante para os corredores²⁵. A maior experiência com o esporte pode favorecer o desenvolvimento de técnicas mais adequadas e, com isso, reduzir sobrecargas teciduais e a chance de desenvolver lesões^{5,26}. Entretanto, evidências conflitantes surgem quando o foco são as lesões no pé. Nessa região, os corredores mais experientes parecem apresentar maior incidência⁵. Esses achados controversos dificultam o entendimento do papel da experiência no manejo das lesões⁵. É possível que corredores considerados experientes apresentem técnicas inadequadas de corrida, ou que esses corredores apresentem outros fatores que, apesar da experiência, ainda assim os deixem mais vulneráveis à lesão. Por isso, entender como a experiência em corrida se relaciona com outros fatores que predispõe a lesão pode trazer esclarecimentos sobre sua relação com as lesões e facilitar o desenvolvimento de programas de reabilitação e prevenção de lesões.

Assim como a experiência na corrida, o papel da idade no desenvolvimento de lesões também permanece sem consenso. Enquanto alguns estudos mostram que corredores mais jovens tendem a apresentar mais lesões, outros associam a maior chance de lesão em grupos com idade maior, como nos idosos^{4,26}. Entretanto, essas associações parecem não estar relacionadas apenas com a idade biológica em si, mas com aspectos relacionados a ela. Corredores mais jovens tendem a apresentar lesões em regiões diferentes das lesões mais frequentes nos corredores mais velhos^{27,28}. É possível que o padrão de corrida entre corredores jovens e idosos seja diferente e que isso influencie o tipo de lesão e não a incidência. Em comparação com corredores mais jovens, os idosos apresentam alterações biomecânicas na corrida, tais como redução das amplitudes de dorsiflexão de tornozelo e flexão joelho durante a aterrissagem²⁹. Além disso, esses grupos etários também apresentam padrões coordenativos diferentes durante a corrida, o que pode estar relacionado aos diferentes padrões de lesão³⁰. A idade biológica representa o crescimento, amadurecimento e envelhecimento do sistema musculoesquelético. Dessa forma, é possível que a idade se relacione não só com a experiência do corredor, mas também com os fatores musculoesqueléticos influenciando as lesões.

Considerando a natureza multifatorial das lesões e o fato de que corredores com histórico de lesão apresentarem um risco maior de desenvolverem uma nova lesão^{5,31,32},

o objetivo do presente estudo é identificar subgrupos de corredores com e sem histórico de lesão relacionada à corrida da região da perna e pé (HLRC-PP) usando o método de decisão da Árvore de Classificação e Regressão. As variáveis incluídas na análise foram: complacência do tornozelo para dorsiflexão, alinhamento entre antepé e perna, pico de torque dos flexores plantares, experiência em corrida e idade. As hipóteses deste estudo são que nos subgrupos com histórico de lesão estão os corredores que: 1) apresentam menor complacência tecidual do tornozelo; 2) apresentam maiores valores do alinhamento varo entre antepé e perna; 3) apresentam menor força dos flexores plantares; 4) apresentam menor experiência em corrida; 5) apresentam maior idade.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Delineamento do Estudo

O presente estudo é uma análise transversal que recrutou 79 corredores saudáveis, dos quais 62 foram incluídos na análise. Dois grupos etários foram selecionados para o estudo, o primeiro com idade entre 18 e 30 anos e o segundo com idade a partir de 60 anos. Os corredores foram avaliados a respeito do histórico de lesão, alinhamento entre o antepé e a perna, força dos flexores plantares, complacência dos tecidos em volta do tornozelo e experiência em corrida. O estudo foi conduzido na Universidade Federal de Minas Gerais, no Laboratório de Análise do Movimento (LAM).

2.2 Amostra

Setenta e nove corredores foram recrutados em associações de corrida, locais de treinamento e competições. Os critérios de inclusão foram: (1) idade entre 18 e 30 anos e a partir de 60 anos; (2) experiência de corrida de pelo menos um ano; (3) treinar corrida pelo menos duas vezes por semana; (4) participação em pelo menos uma competição de corrida no último ano; (5) ausência de história de cirurgia em membros inferiores; (6) ausência de sintomas de dor ou outras lesões musculoesqueléticas no dia da coleta de dados; (7) nenhum relato de lesão relacionada à corrida no último mês. A lesão relacionada à corrida foi definida como um evento que afetou a capacidade do atleta de treinar ou correr^{27,33}. O critério de exclusão foi qualquer queixa que impedisse o participante de realizar os testes clínicos e a avaliação isocinética. Para este estudo, apenas corredores com histórico de lesões relacionadas à corrida (HLRC) no último ano foram selecionados. Esse período já foi considerado um tempo viável para lembrar e produzir

autorrelato de lesão com precisão^{27,33}. Entre os 79 corredores inicialmente recrutados, 40 não tinham histórico de lesões relacionadas à corrida nos últimos 12 meses. Vinte e dois dos 39 corredores com história de lesão relacionada à corrida relataram que a lesão se localizava na região da perna ou pé (História de Lesão Relacionada à Corrida localizada na região de Perna ou Pé - HLRC-PP). Portanto, dados de 62 corredores (22 com e 40 sem HLRC-PP) foram incluídos nesta investigação. As características descritivas desses corredores são apresentadas na TABELA 1. O Comitê de Ética em Pesquisa da universidade aprovou este estudo e todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido antes da participação (ETIC 0526.0.203.000-10).

TABELA 1. Dados descritivos de corredores de acordo com a ausência ou presença de histórico de lesão relacionada à corrida na perna ou tornozelo no último ano

Variáveis	Corredores sem histórico de	Corredores com histórico	Valor de p
	lesão em perna, tornozelo e pé no último ano (n = 40)	de lesão em perna, tornozelo e pé no último ano (n = 22)	
Idade (anos)	37,0 (19,0)	41,2 (21,6)	0,43
Altura (m)	1,71 (0,10)	1,68 (0,09)	0,36
Massa corporal (kg)	68,9 (11,1)	65,7 (9,7)	0,27
Sexo (feminino/masculino)	9/31	5/17	0,98
Experiência em corrida (anos)	7,2 (12,4)	6,5 (8,6)	0,80
Competições de corrida inscritas no último ano	13,3 (8,3)	13,3 (9,7)	0,98

Nota: Os dados são apresentados como média (desvio padrão) para todas as variáveis, exceto sexo, apresentados como frequência de corredores em cada categoria. Os valores de p foram calculados por meio do teste t independente para todas as variáveis, exceto sexo, em que o valor de p foi calculado por meio do qui-quadrado de Pearson.

2.3 Procedimentos

Inicialmente, a massa corporal e a altura dos participantes foram medidas. Por meio de entrevista, foram obtidas as seguintes informações: número de anos praticando corrida, número de provas de corrida registradas no último ano, presença ou ausência de lesão no último ano e localização anatômica da lesão³⁴. Posteriormente, foram realizados os testes bilateralmente na seguinte ordem: avaliação clínica da complacência do

tornozelo, alinhamento antepé-perna e avaliação isocinética dos flexores plantares do tornozelo (FIGURA 1).

Complacência do tornozelo

A avaliação da complacência dos tecidos do tornozelo foi realizada por meio de teste clínico, previamente descrito³⁵. Esse teste foi validado por meio de dinamômetro isocinético e seus resultados mostraram que esse método permite indexar a rigidez passiva do tornozelo: quanto maior a complacência, menor é a rigidez passiva do tornozelo³⁵. O teste foi realizado de acordo com o protocolo já descrito em outros estudos^{35,36}. A complacência do tornozelo foi medida com o participante em decúbito ventral, com o joelho fletido a 90°. Foram traçados marcadores na cabeça da fíbula e maléolo lateral, em seguida foi traçada uma linha com ajuda de uma régua unindo esses dois pontos, que, posteriormente, foi utilizada para alinhar o braço fixo do goniômetro. Cinco repetições de dorsiflexão do tornozelo foram conduzidas passivamente para permitir a acomodação viscoelástica do tecido. Uma caneleira de 2 kg foi colocada na face plantar do pé, à 8 cm do maléolo lateral, para gerar tensão nos flexores plantares. O uso da caneleira foi proposto pelo estudo que descreveu inicialmente o teste, uma vez que o torque produzido apenas pela massa do pé é insuficiente para aplicar tensão nos flexores plantares³⁵. Ou seja, a posição do pé poderia permanecer inalterada mesmo com a ação da gravidade favorecendo a dorsiflexão³⁵. A posição assumida pelo tornozelo imediatamente após a colocação do peso foi medida com o goniômetro. Foi solicitado ao participante que não resistisse ou ajudasse voluntariamente a movimentação do tornozelo e, caso o examinador percebesse alguma contração muscular (visualmente ou por palpação), o teste era repetido. Essa medida foi realizada por um único examinador treinado com excelente confiabilidade intraexaminador³⁷ (Coeficiente de Correlação Intraclasse – $CCI_{3,k} = 0,87$, IC 95% = 0,48-0,97), que foi baseada nos resultados de um estudo piloto com cinco participantes analisados em duas ocasiões separadas por uma semana.

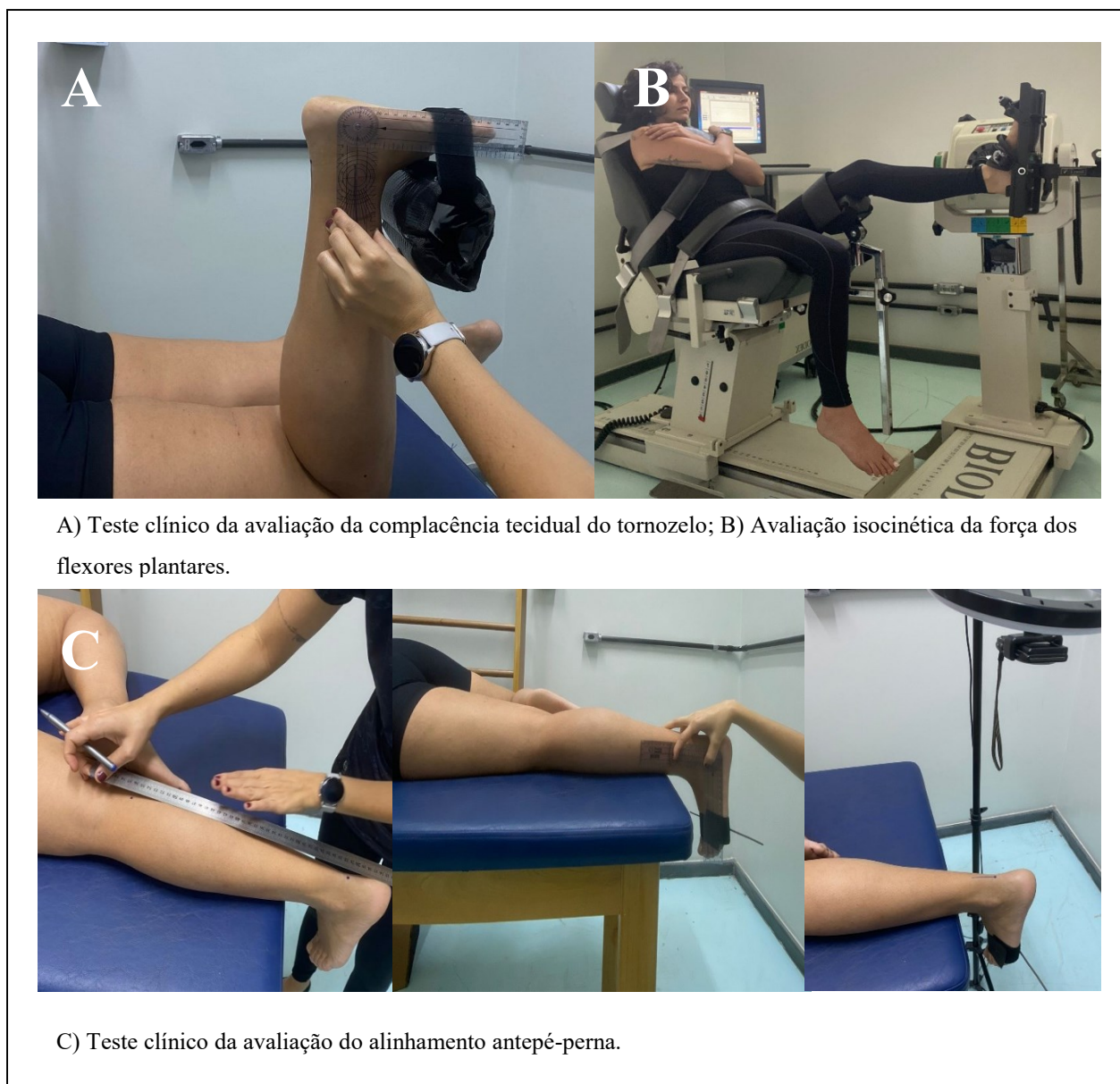


Figura 1) Avaliação da complacência do tornozelo, da força isocinética dos flexores plantares e do alinhamento

Alinhamento antepé-perna

O alinhamento antepé-perna foi medido de acordo com protocolo descrito em estudos anteriores³⁸⁻⁴⁰. O corredor foi posicionado em decúbito ventral com o quadril em posição neutra no plano frontal. O pé testado foi posicionado fora da maca (a face superior do maléolo medial alinhada com a borda inferior da maca) com o calcanhar voltado para cima. Uma linha foi desenhada para representar a bissecção da perna. Essa linha foi traçada a partir do ponto proximal definido como o ponto médio entre os côndilos tibiais medial e lateral até um ponto distal definido como o ponto médio entre os maléolos medial e lateral. Esses pontos médios foram obtidos com um paquímetro analógico. Uma haste de metal foi fixada na região da cabeça dos metatarsos com uma tira de velcro para

favorecer a visualização do alinhamento do antepé. O examinador alinhou uma câmera fotográfica estabilizada em um tripé de modo que a parte inferior da linha de bissecção da perna e a haste de metal no antepé fossem visíveis na tela dessa câmera. Um inclinômetro foi usado para nivelar a câmera horizontalmente e um goniômetro foi usado para alinhar a tela da câmera. Para realizar a medição, o avaliador posicionou o tornozelo do participante a 0° (ou seja, pé perpendicular à perna) com o auxílio de um goniômetro e, em seguida, solicitou ao corredor que mantivesse a posição até a foto ser tirada. Três medidas foram realizadas em cada membro inferior e a média foi usada. Essa medida foi realizada por um único examinador treinado que apresentou excelente confiabilidade intraexaminador³⁷ ($CCI_{3,k} = 0,95$, IC 95% = 0,81-0,98), com base em um estudo piloto com cinco participantes, que foram analisados em duas ocasiões separadas por uma semana.

Avaliação isocinética dos flexores plantares do tornozelo

O desempenho dos flexores plantares do tornozelo foi medido por meio de dinamômetro isocinético (Biodex System 3 Pro, Biodex Medical System Inc., Shirley, NY, EUA). Inicialmente, o participante aqueceu caminhando no chão a uma velocidade rápida auto-selecionada por cinco minutos. Em seguida, o participante foi posicionado sentado na cadeira do dinamômetro isocinético. Cintos para estabilização dos segmentos foram colocados sobre o tronco, pelve e coxa. O encosto do banco foi ajustado a 70° , e a coxa do participante apoiada sobre a almofada do dispositivo de suporte do membro de forma que o joelho permanecesse fletido entre 30° e 40° . Foi utilizado um goniômetro para garantir o alinhamento do joelho. O eixo do dinamômetro foi alinhado com o maléolo lateral e o pé foi fixado à placa de apoio do tornozelo do dispositivo para que a superfície plantar do pé ficasse totalmente apoiada na base. O protocolo consistia na avaliação concêntrica dos flexores plantares do tornozelo, na amplitude de 10° de dorsiflexão a 20° de flexão plantar, repetida cinco vezes a uma velocidade de $30^\circ/s$. Inicialmente, os participantes se familiarizaram com a avaliação realizando cinco repetições com contrações submáximas. O examinador forneceu estímulo verbal padronizado para garantir que os participantes gerassem força máxima⁴¹. A confiabilidade e a validade do dinamômetro isocinético já foram demonstradas na literatura⁴². Um examinador com experiência no uso do equipamento conduziu a avaliação. A confiabilidade teste-reteste da medida de pico de torque apresentou excelente confiabilidade³⁷ ($CCI_{3,1} = 0,94$, IC 95%

= 0,77-0,98) em um estudo piloto com cinco participantes, que foram avaliados em duas ocasiões separadas por uma semana.

2.4 Redução de Dados

Os corredores com HLRC-PP unilateral tiveram os dados do membro inferior lesionado considerados para análise posterior. Corredores com HRRI-PP bilateral e aqueles sem histórico de lesões relacionadas à corrida tiveram a média entre membros inferiores considerada para análise posterior. A complacência do tornozelo foi medida em graus com base na média dos três valores obtidos para cada lado. O alinhamento antepé-perna foi obtido usando um software de análise bidimensional (Simi Reality Motion Systems GmbH, Unterschleissheim, Alemanha) para extrair o ângulo entre a linha de bissecção da perna e a haste de metal do antepé em cada uma das três fotos⁴⁰. A média dos ângulos obtidos nessas três fotos foi calculada. O desempenho dos flexores plantares do tornozelo foi analisado por meio do pico de torque normalizado pelo peso corporal. Essa variável representa a maior produção de força muscular obtida na amplitude de movimento articular avaliada entre todas as repetições⁴³.

2.5 Análise Estatística

A análise da Árvore de Classificação e Regressão (CART) foi usada para determinar quais fatores investigados (i.e., alinhamento do antepé-perna, pico de torque dos flexores plantares a 30°/s, complacência do tornozelo, experiência em corrida e idade) predizem a presença de HLRC-PP nos últimos 12 meses. Essa análise é um modelo de classificação multivariado não paramétrico que desenvolve uma árvore de decisão por divisões binárias recursivas do conjunto de dados inicial até que outras divisões não sejam possíveis ou até que os critérios pré-estabelecidos para o crescimento da árvore sejam alcançados. Os critérios estabelecidos para a análise foram: limite de crescimento/profundidade máxima = 6, tamanho mínimo do nodo pai = 6, tamanho mínimo do nodo filho = 2⁴⁴. Para cada divisão, todos os possíveis preditores investigados e seus pontos de corte são considerados para estabelecer o preditor que melhor classifica os corredores nas categorias de resultado⁴⁴. A ordem de entrada dos preditores no modelo ilustra, hierarquicamente, a força de associação entre cada preditor e a variável de resultado (ou seja, lesão relacionada à corrida nos 12 meses anteriores), e as divisões subsequentes identificam possíveis interações entre os preditores⁴⁴. A CART é

considerada uma análise robusta que captura relações não lineares entre os preditores e produz resultados que podem ser aplicados à prática clínica^{45,46}.

Uma curva característica de operação do receptor (ROC) verificou a precisão do modelo^{45,46}. Uma probabilidade de erro tipo I de 0,05 foi estabelecida para verificar se a área sob essa curva diferia de 0,5, indicando se o modelo previu com precisão as categorias de resultados. Razões de prevalência foram calculadas para cada nó terminal do modelo CART para investigar a força das associações dos subgrupos gerados.

3 ARTIGO

A ser submetido ao periódico *JOURNAL OF ORTHOPAEDIC AND SPORTS PHYSICAL THERAPY*.

**INTERACTIONS AMONG LOCAL MUSCULOSKELETAL FACTORS,
AGE, AND TIME OF RUNNING PRACTICE IN RUNNERS WITH A HISTORY
OF LEG AND FOOT INJURY**

INTRODUCTION

Running is a growing activity due to its availability and low cost.¹ Despite the health benefits, running can lead to injuries and withdrawal from sports participation. Most injuries in runners are overuse and located at shank and foot.² For instance, medial tibial stress syndrome, Achilles tendinopathy, and tibial stress fracture are common running-related injuries.^{3,4} Understanding the factors associated with the injuries at the shank and foot is one of the steps to the road of prevention, which will allow runners to remain active.

Running-related injuries at the shank and foot may occur due to the imbalance between the available musculoskeletal system's capacity and the load imposed during running.^{5,6} Some factors contribute to this capacity. Ankle plantar flexors generate torque just after the forefoot ground contact to produce the mechanical work needed to propel the body forward.⁷ Also, the ankle compliance to dorsiflexion may impact the energy absorption before the propulsion period.^{8,9} Restricted dorsiflexion can hamper the elastic energy stored at the Achilles tendon and other soft tissues surrounding the joint.⁹ Also, foot malalignment is linked to excessive foot pronation.¹⁰⁻¹³ Greater forefoot varus alignment has been associated with greater foot eversion and shank internal rotation.¹¹ Finally, strength and compliance reduction of the plantar flexors and the poor alignment of the foot can contribute to the system's overloading and, consequently, make runners vulnerable to injuries.

Age and running experience may moderate how the musculoskeletal system handles running loading and the development of running-related injuries.¹⁴ Aging affects the runner's lean mass and capacity to generate torque.¹⁵ Conversely, running experience may regulate the musculoskeletal adaptations to the sports practice.¹⁶ Regardless of the theoretical background linking shank and foot factors, age, and running experience with running-related injuries, controversial results limit the use of these variables in clinical practice.^{2,17} To consider these variables, it is still necessary to understand how they interact in producing running-related injuries. Considering that runners with a history of injury are at higher risk of injury,¹⁷ this study aimed to identify subgroups of runners sharing common characteristics for the presence or absence of a history of shank-foot injury using the classification and regression tree (CART) decision method. The variables included in the decision model were musculoskeletal factors related to the foot and shank region (ankle compliance, forefoot-leg alignment, and peak torque of plantar flexors) and time-related factors (age and running experience).

METHODS

Participants

Seventy-nine runners were recruited in running associations, training venues, and competitions. The inclusion criteria were: (1) two age groups were selected for the study, the first aged between 18 and 30 years and the second aged 60 years and over.; (2) experience of running for at least one year; (3) running at least twice a week; (4) participation in at least one running competition in the past year; (5) absence of a history of lower limb surgery; (6) absence of symptoms of pain/musculoskeletal injuries on the day of data collection; (7) no reports of running-related injury in the last month. Running-related injury was defined as an event that affected the athlete's ability to train or race.^{18,19} The exclusion criterion was any complaint that prevented the participant from performing clinical tests and isokinetic evaluation. Only runners with a history of running-related injury in shank and foot (HRRI-SF) in the last year were selected, a period that has already been considered a manageable time to recall and produce a self-report accurately.^{18,19} Among the 79 runners initially recruited, 40 did not sustain an HRRI-SF during the last 12 months. Only 22 out of 39 previously injured runners reported HRRI-SF. Therefore, data from 62 runners were included in this investigation. The descriptive characteristics are presented in **TABLE 1**. The university's Research Ethics Committee approved this study, and all participants provided written informed consent before participation (ETIC 0526.0.203.000-10).

Insert Table 1

Procedures

Initially, the participant's body mass and height were measured. The following information was obtained through an interview: number of years practicing running, number of running competitions in the last year, presence or absence of injury in the previous year, and anatomical injury location.²⁰ The following tests were performed bilaterally: clinical assessment of ankle compliance, forefoot-shank alignment, and the isokinetic evaluation of the ankle plantar flexors (FIGURE 1).

Insert Figure 1

Ankle compliance

The assessment of ankle tissues compliance was performed employing a previously described clinical test,^{21,22} validated by means of an isokinetic dynamometer.

The results of this test were shown to index the passive ankle stiffness.²⁴ The higher is the compliance, the lower is the passive ankle stiffness.²¹ Briefly, ankle compliance was measured with the participant in prone with the knee flexed at 90°. Markers were drawn on the fibular head and lateral malleolus, and a line was traced joining these points, used to align the fixed arm of the goniometer. An ankle weight of 2 kg was placed 8 cm from the lateral malleolus to generate tension in the plantar flexors. The position taken by the ankle after placing the weight was measured by a goniometer in degrees. The participant was asked not to resist or voluntarily help the ankle motion and, if the examiner perceived any muscle contraction (visually or by palpation), the test was repeated. A trained examiner performed this measurement with excellent intra-rater reliability²³ (Intraclass Correlation Coefficient - $ICC_{3,k}=0.87$, 95%CI=0.48-0.97), based on the results of a pilot study with five participants analyzed on two occasions separated by one week.

Forefoot-shank alignment

The forefoot-shank alignment was measured according to a protocol described in previous studies^{24,25,26} Briefly, the runner was positioned prone with the hip in neutral abduction/adduction. The tested foot was placed off the stretcher with the heel facing up. A line connecting the midpoint between the medial and lateral tibial condyles and between the medial and lateral malleolus was drawn to represent the shank bisection. A metal rod was fixed to the metatarsal head region with a Velcro strap to visualize the forefoot alignment better. The camera was aligned and stabilized on a tripod so that the points needed for the measurement were visible on the camera screen. To perform the measurement, the evaluator positioned the participant's ankle at 0° with the aid of a goniometer and then asked the runner to maintain this position until the photo was taken. Three measurements were performed on each leg, and the average was used. This measurement was performed by a trained examiner who had excellent intra-examiner reliability²³ ($ICC_{3,k} = 0.95$, 95%CI = 0.81-0.98), based on a pilot study with five participants, who were analyzed on two occasions separated by one week.

Isokinetic assessment of the ankle plantar flexors

Ankle plantar flexors performance was measured using an isokinetic dynamometer (Biodex System 3 Pro, Biodex Medical System Inc., Shirley, NY, EUA). Initially, the participant walked at a self-selected fast speed for five minutes. Then, the participant sat in the isokinetic dynamometer chair, with belts over the trunk, pelvis, and

thigh for stabilization. The seatback was set at 70°, and the participant's thigh was supported so that the knee remained flexed between 30° and 40° (checked with a goniometer). The dynamometer's axis was aligned with the lateral malleolus. The foot was fully supported and strapped to the device's ankle support plate. The protocol consisted of a concentric evaluation of the ankle plantar flexors, within a range of 10° of dorsiflexion to 20° of plantar flexion, repeated five times at a speed of 30°/s. Five submaximal repetitions were performed for familiarization. Standardized verbal encouragement was given to ensure maximum strength generation.²⁷ One experienced examiner conducted the assessment. The peak torque measurement test-retest reliability showed excellent reliability²³ ($ICC_{3,1}=0.94$, $95\%CI=0.77-0.98$) in a pilot study with five participants evaluated on two occasions separated by one week.

Data Reduction

Runners with unilateral HRRI-SF had the data from the injured leg considered. Runners with bilateral HRRI-SF and those without HRRI-SF had the average of the legs considered. The ankle compliance was measured based on the average of the three values obtained for each side. The forefoot-shank alignment was obtained using two-dimensional analysis software (Simi Reality Motion Systems GmbH, Unterschleissheim, Germany) to extract the angle between the shank bisection line and the forefoot metal rod in each of the three photos.²⁶ The average was calculated among these three angles. The performance of the ankle plantar flexors was analyzed using the peak torque normalized by body weight.

Statistical Analysis

CART analysis was used to determine which investigated factors would predict the presence of HRRI-SF. This analysis is a multivariate nonparametric classification method. From the initial data set, binary recursive divisions are performed until pre-set criteria are met (maximum growth threshold depth = 6, size = 6, minimum child size = 2), or until new divisions are no longer possible.²⁸ All possible predictors investigated, and their respective cut-off points are considered for each division to better classify the runners in the result categories.²⁸ The decision tree is created hierarchically, that is, the order of entry of the predictors in the model represents the strength of association between that variable and the outcome variable, and the other divisions identify interactions between the predictors and the outcome.²⁸ CART is considered a robust

analysis that captures nonlinear relationships between predictors and produces results applied to clinical practice.^{29,30}

A receiver operating characteristic (ROC) curve verified the model's accuracy.^{29,30} A probability of type I error of 0.05 was established to confirm whether the area under this curve differed from 0.5, indicating that the model accurately predicted the outcome categories. Prevalence ratios (PR) were calculated for each terminal node of the CART model to investigate the strength of the associations of the interaction profiles. The Haldane-Anscombe correction was used to perform the PR calculation for terminal nodes without any participant with HRRI-SF.³¹

RESULTS

Runners with HRRI-SF had 1.8 ± 1.2 (1-6) injuries during the last year. The descriptive statistics of the investigated factors are presented in **TABLE 2**. The following factors were identified as predictors in the CART analysis: forefoot-shank alignment, age, ankle tissue compliance, and time of running practice. The variable peak torque of plantar flexors at 30°/s was not selected as a predictor. The tree model generated by the CART is shown in **FIGURE 2**. The subgroups with or without HRRI-SF and their respective interactions are illustrated in **FIGURE 3**. The tree had seven terminal nodes, subdividing runners into subgroups to explain the presence or absence of HRRI-SF:

Insert Table 2, Figure 2 and 3

- First subgroup (terminal Node 1): Runners with ankle tissue compliance equal or lower than 0.42°. This subgroup had the prevalence of HRRI-SF increased by 210.50% (PR = 3.105 [2.144, 4.497]).
- Second subgroup (terminal Node 6): Runners with ankle tissue compliance greater than 0.42° and age between 23.5 and 62.5 years. This subgroup had the prevalence of HRRI-SF reduced by 70.53% (PR = 0.2947 [0.141, 0.6161]).
- Third subgroup (terminal Node 9): Runners with ankle tissue compliance greater than 0.42°, age lower than 23.5 years, and forefoot varus alignment equal or lower than 14.6°. This subgroup had the prevalence of HRRI-SF reduced by 66.48% (PR = 0.3352 [0.02456, 4.576]).

- Fourth subgroup (terminal Node 10): This subgroup differs from the previous one only in the amount of forefoot-shank alignment. The runners in this subgroup had forefoot varus greater than 14.6°. This subgroup had a prevalence of HRRI-SF increased by 174.50% (PR = 2.745 [1.609, 4.683]).
- Fifth subgroup (terminal Node 7): Runners with ankle tissue compliance greater than 0.42°, age greater than 62.5 years, and forefoot varus equal or lower to 19.7°. This subgroup had a prevalence of HRRI-SF increased by 222.00% (PR = 3.222 [2.196, 4.729]).
- Sixth subgroup (terminal Node 11): Runners with ankle tissue compliance greater than 0.42°, age greater than 62.5 years, forefoot varus greater than 19.7°, and running experience less than 84 months. This subgroup had a prevalence of HRRI-SF increased by 210.50% (PR = 3.105 [2.144, 4.497]).
- Seventh subgroup (terminal Node 12): This subgroup differs from the previous one only in the running experience. The runners in this subgroup had a running experience greater than 84 weeks. This subgroup had the prevalence of HRRI-SF reduced by 76.45% (PR = 0.2355 [0.01643, 3.377]).

The CART model correctly predicted 15 out of 22 runners with HIRR-SF (sensitivity of 68.2%) and 39 out of 40 runners without a HIRR-SF (specificity of 97.5%). The total prediction of the model was 87.1%, and the area under the ROC curve (**FIGURE 3**) was 0.86 (95% confidence interval: 0.76, 0.96; standard error of 0.05, $P < .001$), indicating that the classification model was not due to chance.

Insert Figure 4

DISCUSSION

This study aimed to identify subgroups of runners with similar characteristics who did or did not have HRRI-SF. Two investigated foot and shank musculoskeletal system factors (ankle tissue compliance and forefoot-shank alignment) and two time-related factors (age and time of running practice) were identified as predictors by the CART. Only peak torque of plantar flexors was not selected as a predictor of injury history. The analysis revealed seven subgroups in the sample. Overall, the model correctly classified 87.1% of the sample. Variables not included in the study are likely responsible for explaining injury history in the additional 12.9% of runners. The interactions revealed by

the model corroborate the multifactorial nature of injuries and show the importance of evaluating several factors in the rehabilitation process.

The first subgroup identified by CART was composed of runners with lower ankle compliance. This variable was a predictor of HRRI-SF, with a cutoff point less than or equal to 0.42° . This result is consistent with other studies showing that increased plantar flexor passive stiffness can hinder ankle dorsiflexion,³² and thus, the required amplitude during the stance phase. Excessive ankle stiffness has been associated with compensatory movements, such as excessive pronation and reduced dorsiflexion.^{17,33} In addition, proper dorsiflexion and pronation are movements involved in the energy absorption and dissipation mechanism during running. Their impairment can generate greater stress on the musculoskeletal structures, making them more susceptible to injuries.³⁴ On the other hand, when the ankle tissue compliance is very high, the musculoskeletal system may also be overloaded due to the required greater muscle force production.³⁵ The results of this study show that a compliance value greater than 0.42° was a predictor of HRRI-SF only when associated with other variables. A possible explanation for this finding is that runners with lower passive ankle stiffness still had proper stiffness for the task since they could allow more dissipation of the impact forces. Alternatively, lower passive stiffness may be less problematic for the musculoskeletal system than higher stiffness. It is important to emphasize that the cutoff values of this study do not serve as reference values for ankle compliance and that more studies are needed to understand which values are appropriate for this population.

Age was the second predictor identified by CART. Most of the 38 runners aged between 23.5 and 62.5 years did not have an HRRI-SF, while only seven (18.4%) had injuries. The terminal node six could not be further split, suggesting that these runners with HRRI-SF probably had factors linked with the injury, which were not investigated in this study. The remaining runners were divided into two other age groups, young (≤ 23.5 years) and older (> 62.5 years), which showed different characteristics concerning the forefoot-shank alignment. A higher percentage of HRRI-SF was found among the younger runners with higher forefoot-shank alignment values and older runners with lower forefoot-shank alignment values. Forefoot-shank alignment is a clinical measure related to foot pronation.¹¹ The higher the alignment angle, the greater the tendency to excessive pronation^{11,36} and, consequently, the greater the susceptibility to injuries.^{37,38} This relationship between foot pronation and injury is supported by the findings in the younger runners but not, the older ones. Older runners have particular characteristics that

can influence the relationship between foot alignment and injuries. Aging leads to an increase in passive joint stiffness³⁹⁻⁴². Thus, higher values of forefoot-shank alignment may be responsible for maintaining mobility in the ankle-foot complex, preserving the force dissipation mechanisms, and reducing the risk of HRRI-SF. It is important to note how the interaction between HRRI-SF predictor variables differs among different age groups. Therefore, rehabilitation and injury prevention programs must consider such particularities.

Running experience was the fourth predictor variable selected by CART. Running experience interacted with runners with greater ankle compliance, age greater than 62.5 years, and forefoot-shank alignment values greater than 19.7°. There is controversy about the influence of running experience in injury occurrence.¹⁷ While some studies report that experience does not reduce the risk of injury incidence,⁴³ other studies indicate that experienced runners have a lower incidence of injuries.^{14,44} In the present study, greater running experience appears to be a protective factor, and runners with more than 84 months of experience did not have HRRI-SF. More experienced runners may have better techniques to deal with loads imposed by running than less experienced runners and, thus, can adopt running patterns that help prevent injuries.¹⁶ This result agrees with other studies showing that experienced runners have a shorter recovery time of running speed when suffering interference⁴³, less medial-lateral variation in foot balance¹⁶ during initial contact and impulsion, and can adapt the load distribution of the foot when compared to runners less experienced.¹⁶ Another possible interpretation would be that runners that often sustain injuries tend to withdraw from sports practice or change the sport modality. In this perspective, runners with greater experience tend to sustain fewer injuries during sports practice. It is noteworthy that, despite being less experienced, HRRI-SF runners were not necessarily novice runners. Therefore, regardless of the experience time in running, it seems essential for these athletes to be supervised by sports professionals to develop appropriate training and intervention techniques to prevent injury.

The peak torque of plantar flexors at 30°/s was not selected as a predictor of HRRI-SF. Although muscle strength is commonly related to injury, it is possible that another variable selected in the model is associated with strength (e.g., ankle compliance), therefore, strength it was not included as a predictor. Also, it should be noted that the values obtained may not correspond to the actual strength requirements during a race. The strength test captures the maximum force that the muscle group can perform, which may not correspond to the force performed during the race. Notably, the absence of plantar

flexor strength in the model generated by CART does not mean that muscle strength is not essential for runners. Previous studies have shown an association between muscle weakness and risk of injury.^{45,46} Therefore, strength may still be a factor that should be considered when assessing runners.

This study showed different interactions between the predictor variables that characterize the subgroups with or without injury history. The CART prediction model meets the premise that injuries are multifactorial. Investigating how these interactions occur in runners with and without a history of injury is essential for clinicians and should be considered in future studies.

CONCLUSION

The CART analysis generated seven subgroups of runners with and without HRRI-SF. Reduced ankle compliance may be harmful because it is associated with a higher risk of having HRRI-SF. The CART also showed that young and old runners have different profiles regarding the role of forefoot-shank alignment. The younger group, with greater varus alignment and greater ankle compliance, had a greater chance of presenting HRRI-SF. Conversely, older runners with greater running expertise seem to benefit from the increased ankle compliance even when associated with the greater varus alignment since this group did not have HRRI-SF. The distinct profiles of each age group concerning the contribution of forefoot-shank alignment in HRRI-SF presence should be considered by clinicians during the runner assessment.

Limitations

Even though this study identified factors related to HRRI-SF in asymptomatic runners, the variables were collected after the injury. Therefore, they may result from pre-existing or post-injury characteristics following an incomplete rehabilitation process. Furthermore, the injury history was collected through a self-report survey, allowing possible memory bias. Thus, future studies should consider reducing this bias using samples with periodic injury follow-up.

Acknowledgment

The authors are grateful for the support of the *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais* (FAPEMIG), the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES—Finance Code 001), of the *Conselho Nacional de*

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). We also thank the Universidade Federal de Minas Gerais for the intellectual and instrumental support needed for the study.

REFERENCES

1. Hespanhol Junior LC, Costa LOP, Carvalho ACA, Lopes AD. A description of training characteristics and its association with previous musculoskeletal injuries in recreational runners: a cross-sectional study. *Rev Bras Fisioter.* 2012;16(ahead):0-0. doi:10.1590/s1413-35552012005000005
2. Van Middelkoop M, Kolkman J, Van Ochten J, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Risk factors for lower extremity injuries among male marathon runners. *Scand J Med Sci Sport.* 2008;18(6):691-697. doi:10.1111/j.1600-0838.2007.00768.x
3. J E Taunton, M B Ryan, D B Clement, D C McKenzie, D R Lloyd-Smith BDZ. D 4173. *Sport Med.* Published online 2002:95-102.
4. Gallo RA, Plakke M, Silvis ML. Common Leg Injuries of Long-Distance Runners: Anatomical and Biomechanical Approach. *Sports Health.* 2012;4(6):485-495. doi:10.1177/1941738112445871
5. Hollander K, Baumann A, Zech A, Verhagen E. Prospective monitoring of health problems among recreational runners preparing for a half marathon. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2018;4(1):1-8. doi:10.1136/bmjsem-2017-000308
6. Walther M, Reuter I, Leonhard T, Engelhardt M. Verletzungen und überlastungsreaktionen im laufsport. *Orthopade.* 2005;34(5):399-404. doi:10.1007/s00132-005-0790-0
7. Hamner SR, Seth A, Delp SL. Muscle contributions to propulsion and support during running. *J Biomech.* 2010;43(14):2709-2716. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.06.025
8. Tom F. Novacheck. The biomechanics of running. *Gait Posture.* 1998;7:77-95. doi:10.3233/BMR-1995-5404
9. Alexander RM. Energy-saving mechanisms in walking and running. *J Exp Biol.* 1991;160:55-69.
10. Perry J. Análise de Marcha, Volume 2; Marcha Patológica. *Manole.* 2005;2:1-205.
11. Araújo VL, Santos TRT, Khuu A, et al. The effects of small and large varus alignment of the foot-ankle complex on lower limb kinematics and kinetics during walking: A cross-sectional study. *Musculoskelet Sci Pract.* 2020;47:102149. doi:10.1016/j.msksp.2020.102149

12. De Castro Cruz A, Fonseca ST, Araújo VL, et al. Pelvic drop changes due to proximal muscle strengthening depend on foot-ankle varus alignment. *Appl Bionics Biomech.* 2019;2019. doi:10.1155/2019/2018059
13. Souza TR, Mancini MC, Araújo VL, et al. Clinical measures of hip and foot-ankle mechanics as predictors of rearfoot motion and posture. *Man Ther.* 2014;19(5):379-385. doi:10.1016/j.math.2013.10.003
14. Buist I, Bredeweg SW, Bessem B, Van Mechelen W, Lemmink KAPM, Diercks RL. Incidence and risk factors of running-related injuries during preparation for a 4-mile recreational running event. *Br J Sports Med.* 2010;44(8):598-604. doi:10.1136/bjism.2007.044677
15. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjær M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: Strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sport.* 2010;20(1):49-64. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01084.x
16. Gao Z, Mei Q, Xiang L, Gu Y. Difference of walking plantar loadings in experienced and novice long-distance runners. *Acta Bioeng Biomech.* 2020;22(3):1-21. doi:10.37190/ABB-01627-2020-02
17. Van Gent RN, Siem D, Van Middelkoop M, Van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: A systematic review. *Br J Sports Med.* 2007;41(8):469-480. doi:10.1136/bjism.2006.033548
18. McKean KA, Manson NA, Stanish WD. Musculoskeletal injury in the masters runners. *Clin J Sport Med.* 2006;16(2):149-154. doi:10.1097/00042752-200603000-00011
19. Quirino J, Santos TRT, Okai-Nóbrega LA, et al. Runners with a history of injury have greater lower limb movement regularity than runners without a history of injury. *Sport Biomech.* Published online 2021:14763141. doi:10.1080/14763141.2021.1929435
20. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, et al. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scand J Med Sci Sport.* 2006;16(2):83-92. doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00528.x
21. Araújo VL, Carvalhais VOC, Souza TR, Ocarino JM, Gonçalves GGP, Fonseca ST. Validity and reliability of clinical tests for assessing passive ankle stiffness. *Rev Bras Fisioter.* 2011;15(2):166-173. doi:10.1590/s1413-35552011000200013

22. Borges PRT, Santos TRT, Procópio PRS, Chelidonopoulos JHD, Zambelli R, Ocarino JM. Passive stiffness of the ankle and plantar flexor muscle performance after Achilles tendon repair: a cross-sectional study. *Brazilian J Phys Ther.* 2017;21(1):51-57. doi:10.1016/j.bjpt.2016.12.004
23. Fleiss L. *The Design and Analysis of Clinical Experiments* . by Joseph L . Fleiss
Review by : Richard G . Cornell Published by : American Statistical Association
Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2289417> . 2014;82(400).
24. Gross KD, Niu J, Yu QZ, et al. Varus foot alignment and hip conditions in older adults. *Arthritis Rheum.* 2007;56(9):2993-2998. doi:10.1002/art.22850
25. De Michelis Mendonça, Luciana; Macedo, Luciana; Silva, Anderson; Fonseca S. Comparação Do Alinhamento Anatômico De Membros Inferiores Entre Indivíduos Saudáveis E Indivíduos Com Tendinose Patelar. *Rev Bras Fisioter.* 2005;9(0493).
26. Mendonça LDM, Bittencourt N lia FN, Amaral GM, Diniz LS, Souza TR, da Fonseca ST. A quick and reliable procedure for assessing foot alignment in athletes. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2013;103(5):405-410. doi:10.7547/1030405
27. McNair PJ. Verbal encouragement: Effects on maximum effort voluntary muscle action. *Br J Sports Med.* 1996;30(3):243-245. doi:10.1136/bjism.30.3.243
28. Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ. *Classification and Regression Trees*. Chapman and Hall/CRC; 1984.
29. Mendonça LD, Ocarino JM, Bittencourt NFN, Macedo LG, Fonseca ST. Association of Hip and Foot Factors With Patellar Tendinopathy (Jumper's Knee) in Athletes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2018;48(9):676-684. doi:10.2519/jospt.2018.7426
30. Bittencourt NFN, Ocarino JM, Mendonça LD, Hewe TE, Fonseca ST. Foot and hip contributions to high frontal plane knee projection angle in athletes: A classification and regression tree approach. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(12):996-1004. doi:10.2519/jospt.2012.4041
31. Ruxton GD, Neuhäuser M. Review of alternative approaches to calculation of a confidence interval for the odds ratio of a 2×2 contingency table. *Methods Ecol Evol.* 2013;4(1):9-13. doi:10.1111/j.2041-210x.2012.00250.x
32. Subotnick SI. Equinus deformity as it affects the forefoot. *J Am Podiatry Assoc.* 1971;61(11):423-427. doi:10.7547/87507315-61-11-423
33. Hughes LY. Biomechanical analysis of the foot and ankle for predisposition to

- developing stress fractures. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1985;7(3):96-101. doi:10.2519/jospt.1985.7.3.96
34. Stefanyshyn DJ, Nigg BM. Dynamic angular stiffness of the ankle joint during running and sprinting. *J Appl Biomech.* 1998;14(3):292-299. doi:10.1123/jab.14.3.292
 35. Fukunaga T, Kubo K, Kawakami Y, Fukashiro S, Kanehisa H, Maganaris CN. In vivo behaviour of human muscle tendon during walking. *Proc R Soc B Biol Sci.* 2001;268(1464):229-233. doi:10.1098/rspb.2000.1361
 36. Monaghan GM, Hsu WH, Lewis CL, Saltzman E, Hamill J, Holt KG. Forefoot angle at initial contact determines the amplitude of forefoot and rearfoot eversion during running. *Clin Biomech.* 2014;29(8):936-942. doi:10.1016/j.clinbiomech.2014.06.011
 37. Bandholm T, Boysen L, Haugaard S, Zebis MK, Bencke J. Foot Medial Longitudinal-Arch Deformation During Quiet Standing and Gait in Subjects with Medial Tibial Stress Syndrome. *J Foot Ankle Surg.* 2008;47(2):89-95. doi:10.1053/j.jfas.2007.10.015
 38. Bennett JE, Reinking MF, Rauh MJ. The relationship between isotonic plantar flexor endurance, navicular drop, and exercise-related leg pain in a cohort of collegiate cross-country runners. *Int J Sports Phys Ther.* 2012;7(3):267-278. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22666641><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3362985>
 39. Gajdosik RL. Relationship between passive properties of the calf muscles and plantarflexion concentric isokinetic torque characteristics. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87(3):220-227. doi:10.1007/s00421-002-0624-2
 40. Gajdosik RL, Linden DWV, Williams AK. Concentric isokinetic torque characteristics of the calf muscles of active women aged 20 to 84 years. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999;29(3):181-190. doi:10.2519/jospt.1999.29.3.181
 41. James 1989 lower limb flexibility age sex.pdf.
 42. Vandervoort AA, Chesworth BM, Cunningham DA, Paterson DH, Rechnitzer PA, Koval JJ. Age and sex effects on mobility of the human ankle. *Journals Gerontol.* 1992;47(1). doi:10.1093/geronj/47.1.M17
 43. Agresta CE, Peacock J, Housner J, Zernicke RF, Zandler JD. Experience does not influence injury-related joint kinematics and kinetics in distance runners. *Gait Posture.* 2018;61(April 2017):13-18. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.12.020

44. Kemler E, Blokland D, Backx F, Huisstede B. Differences in injury risk and characteristics of injuries between novice and experienced runners over a 4-year period. *Phys Sportsmed.* 2018;46(4):485-491. doi:10.1080/00913847.2018.1507410
45. Mahieu NN, Witvrouw E, Stevens V, Van Tiggelen D, Roget P. Intrinsic risk factors for the development of Achilles tendon overuse injury: A prospective study. *Am J Sports Med.* 2006;34(2):226-235. doi:10.1177/0363546505279918
46. Leetun DT, Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT, Davis IMC. Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):926-934. doi:10.1249/01.MSS.0000128145.75199.C3
47. Routledge RD. Practicing safe statistics with the mid-p. *Canadian Journal of Statistics*, 1994; 22(1), 103–110. doi:10.2307/3315826

TABLE1. Descriptive demographic of runners separated by those without reported injury and with injury reported at shank or ankle in the last year

Variable	Runners without reported	Runners with injury	<i>p-value</i>
	injury in the last year (<i>n</i> = 40)	reported at shank or foot in the last year (<i>n</i> = 22)	
Age (<i>years</i>)	37.0 (19.0)	41.2 (21.6)	0.43
Height (<i>m</i>)	1.71 (0.10)	1.68 (0.09)	0.36
Body mass (<i>kg</i>)	68.9 (11.1)	65.7 (9.7)	0.27
Sex (female/male)	9/31	5/17	0.98
Running experience (<i>years</i>)	7.2 (12.4)	6.5 (8.6)	0.80
Running competitions enrolled in the last year	13.3 (8.3)	13.3 (9.7)	0.98

Note: Data are presented as mean (standard deviation) for all variables, except sex, presented as the frequency of runners in each category. The *p* values were calculated using the independent t-test for all variables, except sex, in which the *p*-value was calculated using Pearson chi-square.

TABLE2. Mean and standard deviation of local musculoskeletal factors and time-related variables are separated by runners without reported injury and with injury reported at shank or foot in the last year

Variable	Runners without	Runners with injury
	reported injury in the last year (<i>n</i> = 40)	reported at shank or foot in the last year (<i>n</i> = 22)
<i>Time-related variables</i>		
Age (<i>years</i>)	37.0 (19.0)	41.2 (21.6)
Running experience (<i>years</i>)	7.2 (12.4)	6.5 (8.6)
<i>Ankle variables</i>		
Ankle tissue compliance (°)	10.1 (5.5)	8.8 (6.7)
Forefoot-shank alignment (°)	20.6 (5.7)	19.8 (6.4)
Peak torque of ankle plantar flexors/body weight (%)	134.3 (31.0)	131.1 (25.0)

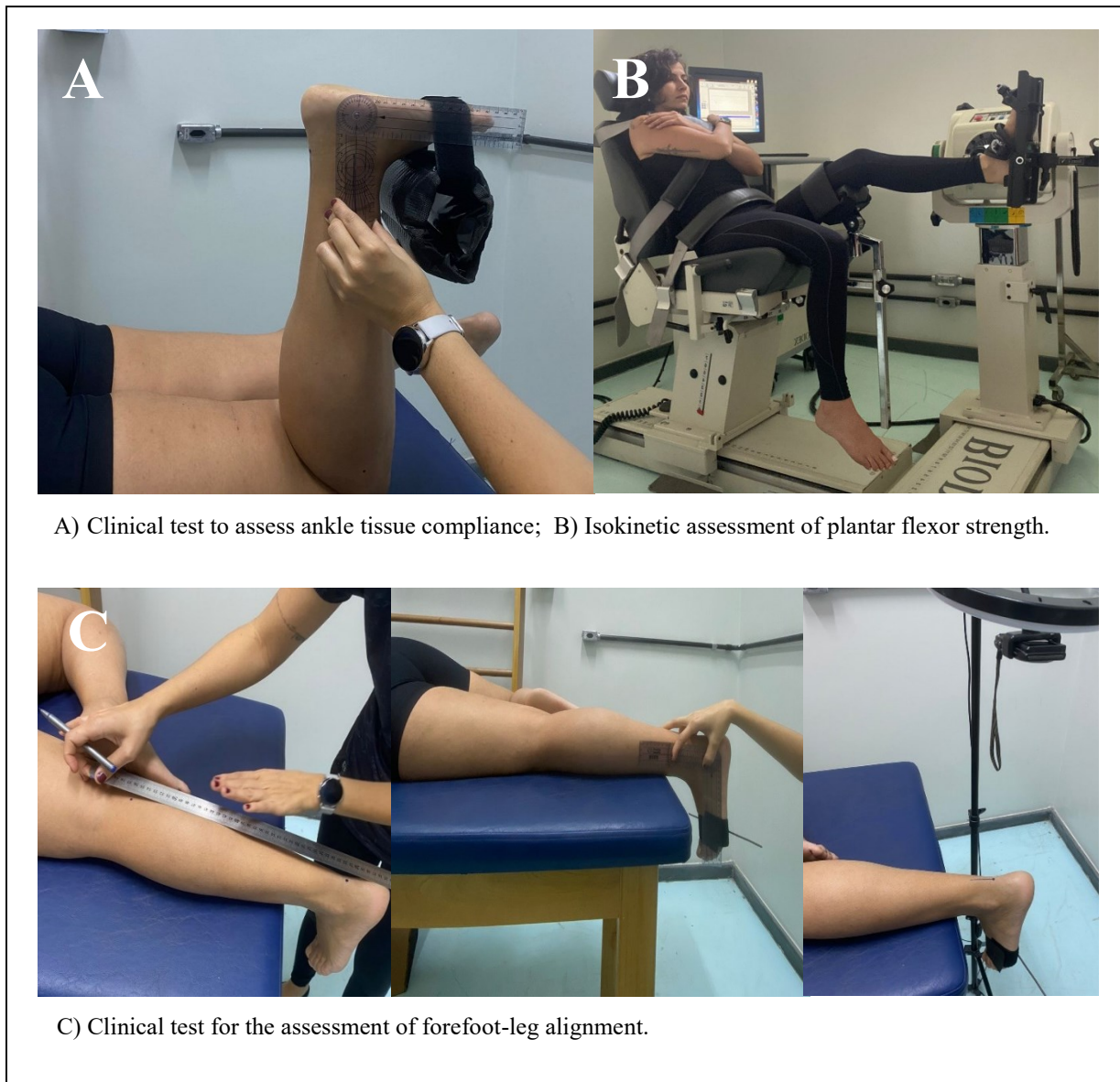


FIGURE 1: Assessment of ankle compliance, isokinetic strength of the plantar flexors and forefoot-leg

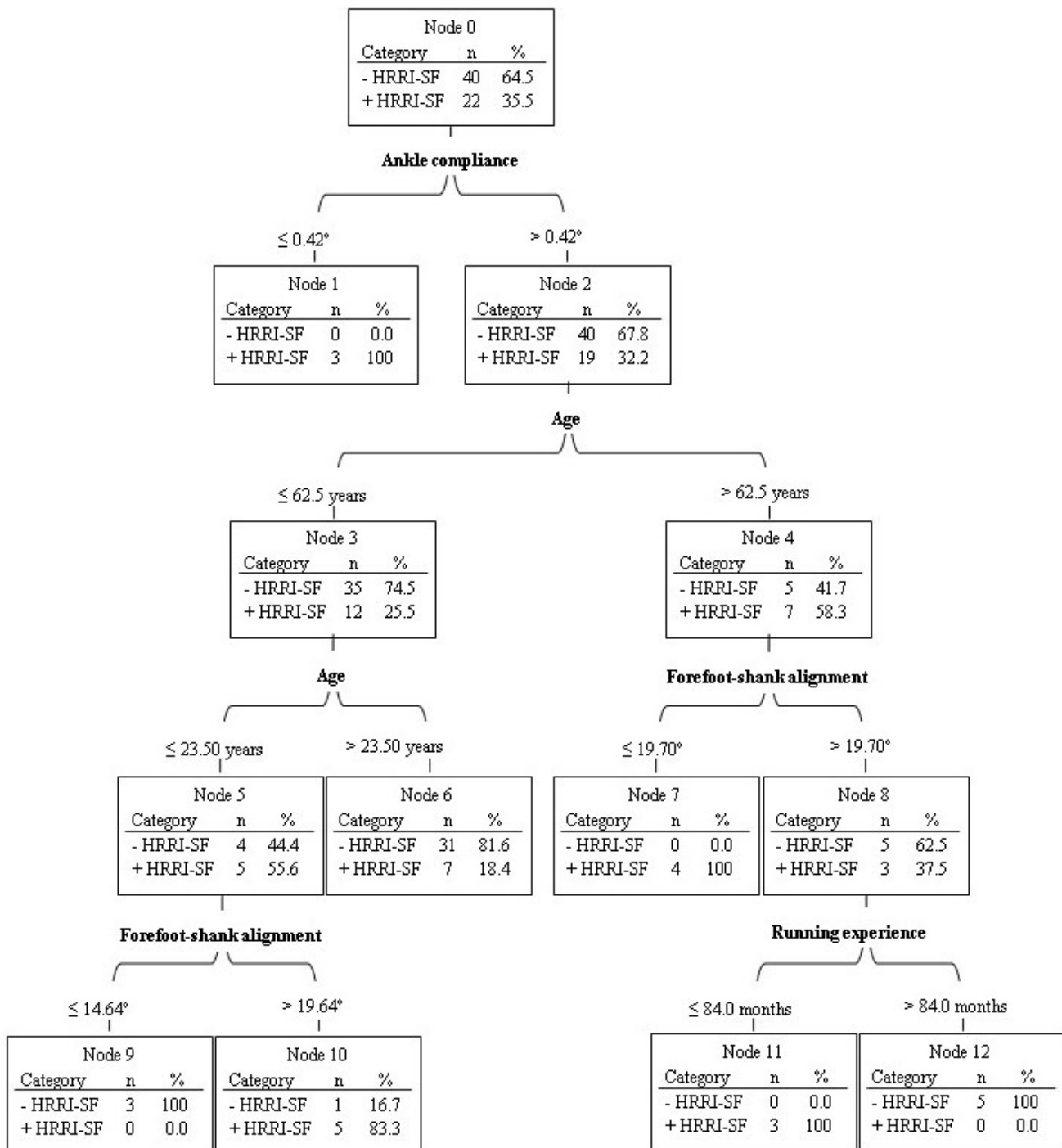


FIGURE 2: Classification and regression tree model for without history of running-related injury or history of shank and foot running-related injury (HRR-SF). The bold text identifies a variable that separates the subgroups, and just below, the cutoff values are presented. Terminal nodes are those that do not have any subsequent subdivision. These nodes represent a subgroup that have common characteristics that identify the presence or absence of HRR-SF. Terminal nodes are node 1, 6, 7, 9, 10, 11, and 12. The number of runners in each subgroup is represented by n, - HRR-SF and +HRR-SF are the runners who do not have and who have a history of injury, respectively.

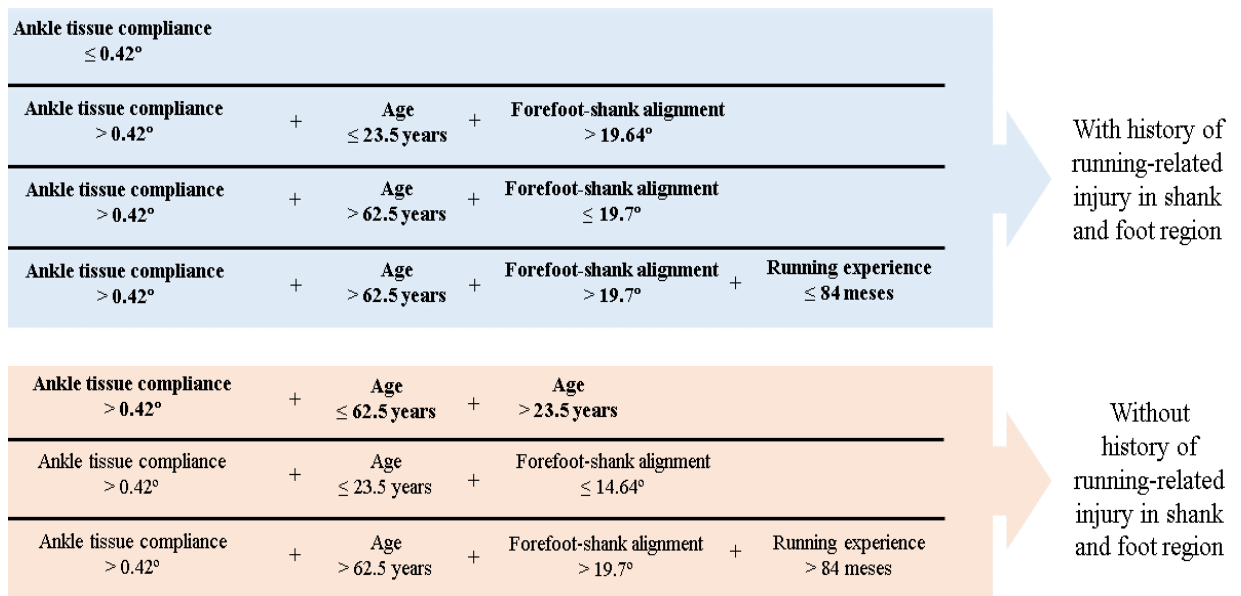
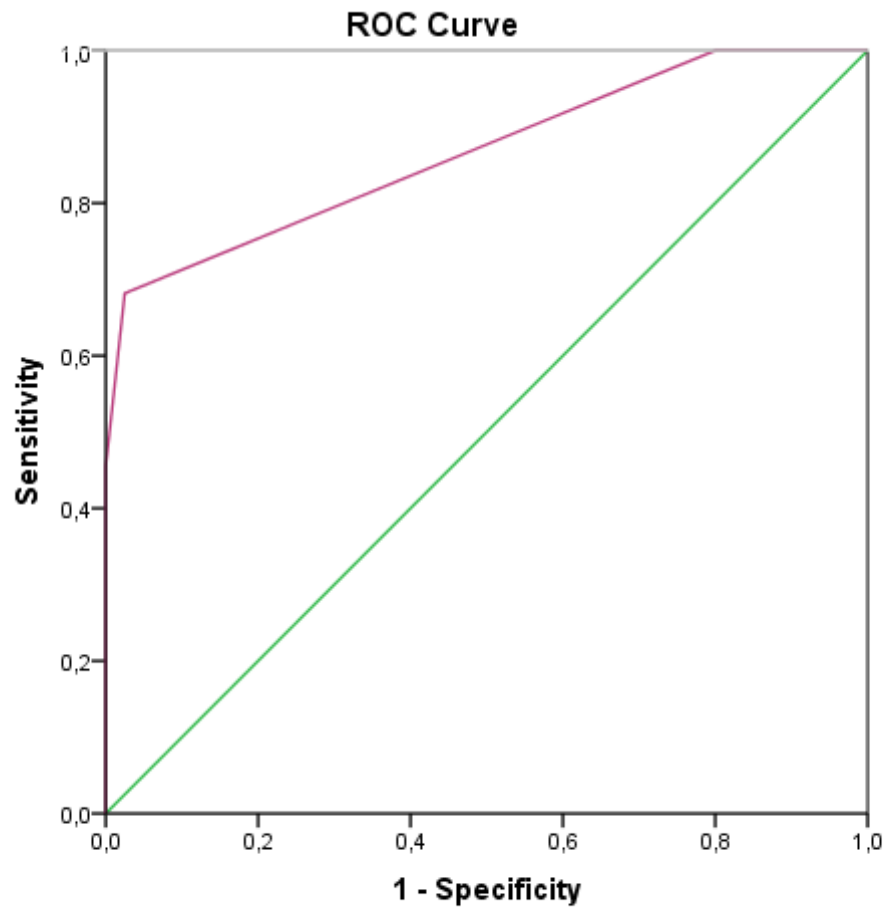


FIGURE 3: Interactions in the subgroups of runners with and without history of running-related injury or history of shank and foot running-related injury (HRRI-SF) identified by Classification and regression tree (CART). The terminal nodes were analyzed in the 2x2 table and the lines in bold represent the nodes that had statistically significant interactions for the presence or absence of HRRI-SF ($p \leq 0.05$) according to the Exact Mid-P.⁴⁷



Diagonal segments are produced by ties.

FIGURE 4: Receiver Operating Characteristic Curve (ROC) for the correct history of running-related injury or history of shank and foot running-related injury (HRRI-SF) classification. The area under the curve was 0.86 ($p < 0.001$).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo apontam que a baixa complacência tecidual do tornozelo está relacionada ao histórico de lesão relacionada à corrida em perna e pé. Corredores com complacência menor que $0,42^\circ$ apresentaram esse histórico sem que essa variável fosse associada a outras, apontando que ela de forma isolada foi capaz de predizer esse subgrupo. Nos corredores com maior complacência do tornozelo, outras variáveis foram necessárias para predizer ou não o histórico de lesão. Entretanto, um subgrupo foi gerado apenas com base na maior complacência e na idade entre 23,5 e 62,5 anos. Nesse subgrupo não foi possível estabelecer quais seriam os fatores associados aos 18,4% dos corredores com histórico de lesão incluídos. Os demais subgrupos apresentaram em comum apenas a maior complacência do tornozelo, sendo subdivididos logo em seguida pela idade. O subgrupo mais jovem parece sofrer mais com o aumento do ângulo de alinhamento antepé-perna, sendo esse um preditor de lesão nessa população. Entre os corredores mais velhos, o alinhamento semelhante aos dos corredores jovens não foi associado ao histórico de lesão. Entretanto, quando esse ângulo era ainda maior, os corredores menos experiência eram alocados no subgrupo com histórico de lesão. É interessante notar que uma mesma variável tem comportamentos distintos de acordo com a idade do corredor. É possível que esse alinhamento maior gere sobrecarga nos corredores jovens, entretanto, corredores mais experientes podem ter desenvolvido técnicas de corrida que compense quaisquer sobrecargas advindas desse fator.

REFERÊNCIAS

1. Hespanhol Junior LC, Costa LOP, Carvalho ACA, Lopes AD. A description of training characteristics and its association with previous musculoskeletal injuries in recreational runners: a cross-sectional study. *Rev Bras Fisioter.* 2012;16(ahead):0-0. doi:10.1590/s1413-35552012005000005
2. 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. *Sport Med.* 2015;45(10):1455-1468. doi:10.1007/s40279-015-0359-y
3. Pedisic Z, Shrestha N, Kovalchik S, et al. Is running associated with a lower risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and is the more the better? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2020;54(15):898-905. doi:10.1136/bjsports-2018-100493
4. Van Middelkoop M, Kolkman J, Van Ochten J, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Risk factors for lower extremity injuries among male marathon runners. *Scand J Med Sci Sport.* 2008;18(6):691-697. doi:10.1111/j.1600-0838.2007.00768.x
5. Van Gent RN, Siem D, Van Middelkoop M, Van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: A systematic review. *Br J Sports Med.* 2007;41(8):469-480. doi:10.1136/bjism.2006.033548
6. Van Der Worp MP, Ten Haaf DSM, Van Cingel R, De Wijer A, Nijhuis-Van Der Sanden MWG, Bart Staal J. Injuries in runners; a systematic review on risk factors and sex differences. *PLoS One.* 2015;10(2):1-18. doi:10.1371/journal.pone.0114937
7. Schmikli L S, Backx, G.J F, Helena KJ, Mechelen van willwm. National survey on sports injuries in the netherlands: target populations for sports injury prevention programs. *Clin J Sport Med.* 2009;19(2):101-106. http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L354967988;%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1097/JSM.0b013e31819b9ca3;%5Cnhttp://sfx.ub.rug.nl:9003/sfx_local?sid=EMBASE&issn=1050642X&id=doi:10.1097/JSM.0b013e31819b9ca3&atitle=National+sur
8. Costa MEF, Fonseca JB, de Oliveira AIS, Cabral KD de A, de Araújo MDGR, Ferreira AP de L. Prevalence and factors associated with injuries in recreational runners: A cross-sectional study. *Rev Bras Med do Esporte.* 2020;26(3):215-219. doi:10.1590/1517-869220202603190923

9. Francis P, Whatman C, Sheerin K, Hume P, Johnson MI. The proportion of lower limb running injuries by gender, anatomical location and specific pathology: A systematic review. *J Sport Sci Med*. 2019;18(1):21-31.
10. Gallo RA, Plakke M, Silvis ML. Common Leg Injuries of Long-Distance Runners. *Sport Heal A Multidiscip Approach*. 2012;4(6):485-495. doi:10.1177/1941738112445871
11. Hreljac A. Impact and Overuse Injuries in Runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(5):845-849. doi:10.1249/01.MSS.0000126803.66636.DD
12. Dugan SA, Bhat KP. Biomechanics and analysis of running gait. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2005;16(3):603-621. doi:10.1016/j.pmr.2005.02.007
13. Giddings VL, Beaupré GS, Whalen RT, Carter DR. Calcaneal loading during walking and running. *Med Sci Sport Exerc*. Published online 2000:143-150. doi:10.1007/978-0-387-76416-0_15
14. Mann RA, Baxter DE, Lutter LD. Running Symposium. *Foot Ankle*. Published online 1981:190-224. doi:10.1177/107110078100100402
15. Geyer H, Seyfarth A, Blickhan R. Compliant leg behaviour explains basic dynamics of walking and running. *Proc R Soc B Biol Sci*. 2006;273(1603):2861-2867. doi:10.1098/rspb.2006.3637
16. Wang HK, Lin KH, Su SC, Shih TTF, Huang YC. Effects of tendon viscoelasticity in Achilles tendinosis on explosive performance and clinical severity in athletes. *Scand J Med Sci Sport*. 2012;22(6):147-155. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01511.x
17. Zatsiorsky M, Latash M. Joint stiffness : Myth or reality ? Joint stiffness : Myth or reality ? *Hum Mov Sci*. 1993;12(November):653-692.
18. Mahieu NN, Witvrouw E, Stevens V, Van Tiggelen D, Roget P. Intrinsic risk factors for the development of Achilles tendon overuse injury: A prospective study. *Am J Sports Med*. 2006;34(2):226-235. doi:10.1177/0363546505279918
19. Heil B. Lower Limb Biomechanics Related to Running Injuries. *Physiother (United Kingdom)*. 1992;78(6):400-406. doi:10.1016/S0031-9406(10)61524-6
20. Farahpour N, Jafarnejhad AA, Damavandi M, Bakhtiari A, Allard P. Gait ground reaction force characteristics of low back pain patients with pronated foot and able-bodied individuals with and without foot pronation. *J Biomech*. 2016;49(9):1705-1710. doi:10.1016/j.jbiomech.2016.03.056
21. Araújo VL, Santos TRT, Khuu A, et al. The effects of small and large varus

- alignment of the foot-ankle complex on lower limb kinematics and kinetics during walking: A cross-sectional study. *Musculoskelet Sci Pract.* 2020;47:102149. doi:10.1016/j.msksp.2020.102149
22. Chuter VH, Janse de Jonge XAK. Proximal and distal contributions to lower extremity injury: A review of the literature. *Gait Posture.* 2012;36(1):7-15. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.02.001
 23. WB K, C G, TJ C. Functional biomechanical deficits in running athletes with plantar fasciitis. *Clin J Sport Med.* 1991;1(3):213. doi:10.1097/00042752-199107000-00021
 24. Niemuth PE, Johnson RJ, Myers MJ, Thieman TJ. Hip Muscle Weakness and Overuse Injuries in Recreational Run... : Clinical Journal of Sport Medicine. *Clin J Sport Med.* 2005;15(1):14-21. http://journals.lww.com/cjsportsmed/Abstract/2005/01000/Hip_Muscle_Weakness_and_Overuse_Injuries_in.4.aspx
 25. Kemler E, Blokland D, Backx F, Huisstede B. Differences in injury risk and characteristics of injuries between novice and experienced runners over a 4-year period. *Phys Sportsmed.* 2018;46(4):485-491. doi:10.1080/00913847.2018.1507410
 26. Buist I, Bredeweg SW, Bessem B, Van Mechelen W, Lemmink KAPM, Diercks RL. Incidence and risk factors of running-related injuries during preparation for a 4-mile recreational running event. *Br J Sports Med.* 2010;44(8):598-604. doi:10.1136/bjism.2007.044677
 27. McKean KA, Manson NA, Stanish WD. Musculoskeletal injury in the masters runners. *Clin J Sport Med.* 2006;16(2):149-154. doi:10.1097/00042752-200603000-00011
 28. MATHESON GO, MACINTYRE JG, TAUTON JE, CLEMENT DB, LLOYD-SMITH R. Musculoskeletal injuries associated with physical activity in older adults.
 29. DeVita P, Fellin RE, Seay JF, Ip E, Stavro N, Messier SP. The relationships between age and running biomechanics. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(1):98-106. doi:10.1249/MSS.0000000000000744
 30. Harrison K, Kwon YU, Sima A, et al. Inter-joint coordination patterns differ between younger and older runners. *Hum Mov Sci.* 2019;64(February):164-170. doi:10.1016/j.humov.2019.01.014

31. WH M. Meeuwisse_1994_Assessing causation in sport injury A multifactorial model. *Clin J Sport Med*. 1994;4(3):166-170.
32. FONSECA ST, SOUZA TR, VERHAGEN E, et al. Sports injury forecasting: a synergetic approach for complex systems. *Sport Med*. 2020;(50):1757–1770.
33. Quirino J, Santos TRT, Okai-Nóbrega LA, et al. Runners with a history of injury have greater lower limb movement regularity than runners without a history of injury. *Sport Biomech*. Published online 2021:14763141. doi:10.1080/14763141.2021.1929435
34. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, et al. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scand J Med Sci Sport*. 2006;16(2):83-92. doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00528.x
35. Araújo VL, Carvalhais VOC, Souza TR, Ocarino JM, Gonçalves GGP, Fonseca ST. Validity and reliability of clinical tests for assessing passive ankle stiffness. *Rev Bras Fisioter*. 2011;15(2):166-173. doi:10.1590/s1413-35552011000200013
36. Borges PRT, Santos TRT, Procópio PRS, Chelidonopoulos JHD, Zambelli R, Ocarino JM. Passive stiffness of the ankle and plantar flexor muscle performance after Achilles tendon repair: a cross-sectional study. *Brazilian J Phys Ther*. 2017;21(1):51-57. doi:10.1016/j.bjpt.2016.12.004
37. Fleiss JL. Reliability of Measurement. In: *The Design and Analysis of Clinical Experiments*. John Wiley & Sons, Inc.; 1986:1-32. doi:10.1002/9781118032923.ch1
38. Gross KD, Niu J, Yu QZ, et al. Varus foot alignment and hip conditions in older adults. *Arthritis Rheum*. 2007;56(9):2993-2998. doi:10.1002/art.22850
39. De Michelis Mendonça, Luciana; Macedo, Luciana; Silva, Anderson; Fonseca S. COMPARAÇÃO DO ALINHAMENTO ANATÔMICO DE MEMBROS INFERIORES ENTRE INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS E INDIVÍDUOS COM TENDINOSE PATELAR. *Rev Bras Fisioter*. 2005;9(0493).
40. Mendonça LDM, Bittencourt N lia FN, Amaral GM, Diniz LS, Souza TR, da Fonseca ST. A quick and reliable procedure for assessing foot alignment in athletes. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2013;103(5):405-410. doi:10.7547/1030405
41. McNair PJ, Depledge J, Brett Kelly M, Stanley SN. Verbal encouragement: effects on maximum effort voluntary muscle action. *Br J Sports Med*. 1996;30(3):243-245. doi:10.1136/bjism.30.3.243
42. Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH.

- Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(1):22-29. doi:10.1007/s00421-003-0933-0
43. Perrin DH. *Isokinetic Exercise and Assessment.* Human Kinetics; 1993.
 44. Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ. *Classification and Regression Trees.* Chapman and Hall/CRC; 1984.
 45. Mendonça LD, Ocarino JM, Bittencourt NFN, Macedo LG, Fonseca ST. Association of Hip and Foot Factors With Patellar Tendinopathy (Jumper's Knee) in Athletes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2018;48(9):676-684. doi:10.2519/jospt.2018.7426
 46. Bittencourt NFN, Ocarino JM, Mendonça LD, Hewe TE, Fonseca ST. Foot and hip contributions to high frontal plane knee projection angle in athletes: A classification and regression tree approach. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(12):996-1004. doi:10.2519/jospt.2012.4041

ANEXO 1 – Aprovação do Comitê de Ética

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP**

Parecer nº. ETIC 0526.0.203.000-10

**Interessado(a): Prof. João Marcos Domingues Dias
Departamento de Fisioterapia
EEFFTO - UFMG**

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 21 de janeiro de 2011, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado "**Análise cinemática da corrida e do desempenho muscular de corredores idosos e adultos jovens**" bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Maria Teresa Marques Amaral', is written over a faint circular stamp.

**Profa. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG**