



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA
Laboratório de Avaliação e Intervenção em Ortopedia e Traumatologia
Área de Concentração: Fisioterapia e Desempenho Funcional

UFSCar

ELIANE DE MORAIS MACHADO

**ANÁLISE BIOMECÂNICA, DE FATORES DE TREINAMENTO, TESTES
CLÍNICOS E DESFECHOS AUTORRELATADOS NA DOR
PATELOFEMORAL: UMA INVESTIGAÇÃO EM DIFERENTES
POPULAÇÕES**

SÃO CARLOS

2025

**ANÁLISE BIOMECÂNICA, DE FATORES DE TREINAMENTO, TESTES
CLÍNICOS E DESFECHOS AUTORRELATADOS NA DOR
PATELOFEMORAL: UMA INVESTIGAÇÃO EM DIFERENTES
POPULAÇÕES**

ELIANE DE MORAIS MACHADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia (PPG-Ft) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Fisioterapia. Área de Concentração: Fisioterapia e Desempenho Funcional. Linha de Pesquisa: Fisioterapia em Ortopedia/Traumatologia, Esportes e Reumatologia
Orientador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão
Coorientadora: Profa. Dra. Luciana De Michelis Mendonça

Apoio Financeiro

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – **CAPES** (Código de Financiamento 001).

SÃO CARLOS

2025

FOLHA DE ROSTO

Este documento compõe a versão original da tese de Doutorado da aluna Eliane de Moraes Machado, intitulada “Análise biomecânica, de fatores de treinamento, testes clínicos e desfechos autorrelatados na dor patelofemoral: uma investigação em diferentes populações”.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Eliane de Moraes Machado, realizada em 20/02/2025.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão (UFSCar)

Profa. Dra. Paula Rezende Camargo (UFSCar)

Prof. Dr. Fábio Mícolis de Azevedo (UNESP)

Prof. Dr. Guilherme Silva Nunes (UFSM)

Prof. Dr. Rodrigo Scattone da Silva (UFRN)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia.

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese à minha família e, em especial, à minha irmã Ana Cláudia, que nunca deixou de acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Essa seção é uma homenagem e demonstração de carinho e admiração a todas as pessoas que me ajudaram a abrir o caminho para que eu chegasse até aqui.

Primeiramente, gostaria de agradecer aos **meus pais, Gaspar e Fátima**, por terem me dado a oportunidade de seguir o caminho que escolhi e por terem feito sacrifícios para que eu o fizesse.

A **minha irmã, Regiane**, que sempre foi uma inspiração de inteligência, esforço e competência. Obrigada por sempre me incentivar a ser melhor.

A minha **irmã, Aninha**, que foi, de longe, a melhor pessoa que já conheci, minha eterna gratidão. Obrigada por sempre ter me apoiado em todos os meus sonhos e sempre ter me incentivado a ser melhor e, ao mesmo tempo, aproveitar cada minuto da vida.

A **minha família**, pelo apoio e incentivo.

Aos **amigos de longa data**, principalmente **Gabriel, Bruna e Carla**, que fazem parte de mais essa conquista. Em especial a **Lizandra e Felipe**, que, embora não estejam mais comigo fisicamente, sempre me apoiaram e estão sempre em meus pensamentos, tenho certeza de que estão felizes por mim onde quer que estejam.

As amigas que a UFSCar me deu, e que se tornaram ainda mais importantes durante nosso intercâmbio na Austrália, **Larissa e Bruna**, meu muito obrigada. Muito obrigada pelas conversas, apoio e risadas, vocês tornaram essa experiência ainda mais especial. As amigas que fiz em São Carlos, e que sempre me apoiaram em todos os momentos, **Thaís e Letícia**, muito obrigada.

Agradeço imensamente meu **orientador, Fabinho**, por todo o apoio e orientação durante minha trajetória. Desde o dia em que nos conhecemos, sua inteligência, empatia e forma de ensinar me inspiraram. Obrigada por me apoiar e incentivar durante o meu crescimento acadêmico e por me dar oportunidades para seguir um caminho de realizações.

Agradeço à minha **coorientadora, Luciana**, por aceitar fazer parte de mais essa etapa da minha carreira. Obrigada por ser exemplo de dedicação e competência para todos.

Ao meu orientador no exterior, **Bill Vicenzino**, sou grata pela oportunidade de aprender com uma das pessoas mais influentes na área. Além de conhecimento técnico, me mostrou que é preciso aproveitar e apreciar ao máximo todas as chances, sempre com um bom café. Obrigada por todas as oportunidades.

As professoras **Paula Camargo e Paula Serrão**, por serem inspiração e por todo apoio durante essa caminhada.

A todos os colegas do laboratório LAIOT e do departamento de Fisioterapia que conheci ao longo desses anos, muito obrigada por toda ajuda e por terem tornado esse período mais leve. Em especial, agradeço: **Leonardo Secchi, Gustavo Viotto e Hygor Ferreira**.

Aos amigos que fiz durante o período de doutorado sanduíche na Austrália: **Stuart e Canner**. E aos brasileiros que conheci do outro lado do mundo e que tornaram essa experiência ainda mais incrível, especialmente **Nicole, Isabela e Marcos**.

Aos **professores que compõem a banca examinadora**, agradeço por aceitarem participar dessa minha etapa final, pela leitura e considerações. Muito obrigada pelas contribuições.

Agradeço a todos **os professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Fisioterapia** da UFSCar.

Por fim, agradeço a **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento dos estudos dessa tese.

“There is no substitute for time”.

RESUMO

O tema central dessa tese foi o estudo da dor patelofemoral (DPF), uma condição comum tanto em corredores quanto na população geral. A DPF é uma condição caracterizada pelo relato de dor na região anterior do joelho, que é agravada por atividades como subir e descer degraus, agachar-se, correr, ajoelhar-se ou permanecer sentado por longos períodos. A DPF apresenta um prognóstico desfavorável, persistindo por muitos anos e reduzindo a qualidade de vida em geral dos indivíduos acometidos por essa condição. A DPF é associada a fatores biomecânicos (do quadril, joelho, tornozelo e pé) que alteram a carga articular. Apesar das investigações, há inconsistências sobre o papel dessas variáveis. Nossa hipótese é de que um dos motivos dessa inconsistência seja o tipo de análises realizadas: análises lineares, que não consideram a interação entre múltiplos fatores e tampouco os acoplamentos entre as articulações do membro inferior e, dessa forma, podem não ser capazes de capturar a dimensão multifatorial dessa condição. O tratamento, seja em corredores ou na população geral, tem como um dos objetivos principais a melhora da funcionalidade. No ambiente clínico, função é usualmente avaliada por medidas autorrelatadas (como os questionários *Anterior Knee Pain Scale* (AKPS), o *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scale* (KOOS)) e medidas objetivas de desempenho funcional (testes clínicos de agachamento, subir e descer escadas, e de salto unilateral), oferecendo informações complementares. Embora os testes clínicos sejam amplamente utilizados, a relação entre o desempenho neles e os resultados dos questionários recomendados ainda não é bem estabelecida. Com base no exposto, a presente tese buscou explorar essas ideias em três estudos: o estudo 1 investigou como variáveis cinemáticas, características de treinamento e dados demográficos interagem na ocorrência de DPF em corredores; o estudo 2 comparou a coordenação e variabilidade de coordenação dos segmentos dos membros inferiores entre corredores do sexo masculino e feminino com e sem DPF e o estudo 3 investigou como mudanças nos testes clínicos de agachamento e subida e descida de degrau estão associadas a mudanças em medidas de desfecho autorrelatados pelo paciente (*Patient Reported Outcomes, PROMs*) em indivíduos com DPF após um tratamento. Os resultados do estudo 1 indicam que fatores de treinamento de corrida (distância semanal de corrida e velocidade de corrida autosselecionada) interagiram de maneiras distintas com variáveis cinemáticas dos membros inferiores (pico de abdução do joelho e pico de dorsiflexão do tornozelo) para diferenciar corredores com e sem DPF. No estudo 2, foram observadas diferenças nos

padrões de coordenação entre homens e mulheres sem DPF nos acoplamentos entre rotação medial/lateral do fêmur e eversão/inversão do pé, e abdução/adução do fêmur e a eversão/inversão do pé. Também foram encontradas diferenças entre homens com e sem DPF nos acoplamentos entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé, e flexão/extensão do fêmur e da tíbia. De forma geral, homens sem DPF exibiram padrões de coordenação que indicam uma coordenação proximal-distal mais eficiente em comparação com mulheres sem DPF e homens com a condição. Apenas no acoplamento entre flexão/extensão do fêmur e da tíbia foi detectada uma diferença na variabilidade de coordenação, com corredores do sexo masculino com DPF apresentando maior variabilidade do que aqueles sem dor. Esse achado contradiz a teoria de que menor variabilidade de coordenação está associada a estados patológicos durante a corrida. Por fim, o terceiro estudo demonstrou uma relação positiva entre as melhorias nos testes clínicos de subir e descer escadas e os resultados relatados pelos pacientes, sendo que o teste de subida de escada foi o que mais contribuiu para a variância explicada, enquanto o teste de agachamento não apresentou correlação significativa. Esses resultados ressaltam a relevância do uso combinado de medidas objetivas e desfechos autorrelatados. Os resultados gerais desta tese mostram que, independentemente da população, a avaliação clínica e o monitoramento da condição devem ser individualizados, respeitando as necessidades de cada paciente.

Palavras-chave: avaliação; dor anterior no joelho; desfechos autorrelatados; sistemas complexos

ABSTRACT

The central theme of this thesis was the study of patellofemoral pain (PFP), a common condition in both runners and the general population. PFP is characterized by self-reported pain in the anterior aspect of the knee, which is exacerbated by activities such as stair climbing, squatting, running, or prolonged kneeling. The prognosis of PFP is unfavorable, often persisting for many years and reducing the overall quality of life of those affected. It is associated with biomechanical factors (from the hip, knee, ankle, and foot) that alter joint loading. Despite investigations, there are inconsistencies regarding the role of these variables. Our hypothesis is that one of the reasons for this inconsistency is the type of analysis conducted: linear approaches, which do not account for the interaction between multiple factors nor the coupling between lower limb joints, and therefore may fail to capture the multifactorial nature of this condition. The treatment of PFP, whether in runners or the general population, primarily aims to improve functionality. In clinical settings, function is typically assessed using self-reported measures (such as *Anterior Knee Pain Scale* (AKPS), and *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scale* (KOOS)) and objective measures of functional performance (clinical tests such as squatting, stair ambulation and single leg hop tests), which provide complementary information. Although clinical tests are commonly used, the relationship between performance in these tests and the outcomes reported in recommended questionnaires remains unclear. Based on the above, the present thesis aimed to explore these ideas through three studies: Study 1 investigated how kinematic variables, training characteristics, and demographic data interact in the occurrence of PFP in runners; study 2 compared lower limb coordination and coordination variability between male and female runners with and without PFP; and study 3 explored how changes in clinical tests of squat and stair ascent/descent are associated with changes in patient-reported outcomes (PROMs) in individuals with PFP following treatment. The results of the first study indicate that running training factors (weekly running distance and self-selected running speed) interacted with lower limb kinematic variables (knee abduction peak and ankle dorsiflexion peak) in distinct ways to differentiate between runners with and without PFP. In the second study, differences in coordination patterns were observed between men and women without PFP in the couplings between femoral internal/external rotation and foot eversion/inversion, as well as femoral abduction/adduction and foot eversion/inversion. Differences were also found between men with and without PFP in the couplings between femoral abduction/adduction and foot eversion/inversion, and femoral and tibial

flexion/extension. Overall, men without PFP exhibited coordination patterns indicating a more efficient proximal-distal coordination compared to women without PFP and men with the condition. Only the coupling between femoral and tibial flexion/extension showed a difference in coordination variability, with male runners with PFP displaying greater variability than those without pain. This finding contradicts the theory that lower coordination variability is associated with pathological states during running. Finally, the third study demonstrated a positive relationship between improvements in clinical tests of stepping (up and down) and patient-reported outcomes, with the stair ascent test contributing most to the explained variance, while the squat test showed no significant correlation. These findings highlight the importance of combining objective measures with self-reported patient outcomes. The overall results of this thesis indicate that, regardless of the population, clinical assessment and condition monitoring should be individualized, addressing the specific needs of each patient.

Keywords: assessment, anterior knee pain, patient reported outcomes, complex systems

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. CONTEXTUALIZAÇÃO | 14 |
| 1.1 Inserção na linha de pesquisa do orientador e do Programa | 14 |
| 1.2 Parcerias nacionais e internacionais | 14 |
| 1.3 Estágio internacional..... | 14 |
| 1.4 Originalidade | 16 |
| 1.5 Contribuição dos resultados da pesquisa para o avanço científico | 17 |
| 1.6 Relevância social | 17 |
| 1.7 Atividades desenvolvidas no doutorado | 18 |
| 1.7.1 Lista de artigos publicados | 18 |
| 1.7.2 Lista de artigos submetidos ou em fase de submissão | 18 |
| 1.7.3 Manuscritos em preparação | 19 |
| 1.7.4 Participação/colaboração em pesquisas..... | 19 |
| 1.7.5 Trabalhos apresentados em congresso dos quais a aluna é coautora ... | 20 |
| 1.7.6 Coorientação de iniciação científica | 21 |
| 1.7.7 Participação em bancas de trabalho de conclusão de curso..... | 21 |
| 1.7.8 Participação em eventos científicos..... | 21 |
| 1.7.9 Capacitação Docente..... | 22 |
| 1.8 Link do currículo Lattes e ORCID ID da aluna | 22 |
| 1.9 Descrição da tese para o público leigo | 22 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 23 |
| 2.1 Dor patelofemoral: definição e diagnóstico | 23 |
| 2.2 Epidemiologia | 23 |
| 2.3. Etiologia/Fatores de risco | 23 |
| 2.4 Análise não-paramétrica e multivariável | 26 |
| 2.5 Coordenação e variabilidade de coordenação entre os segmentos do membro inferior | 27 |
| 2.6. Prognóstico da DPF | 28 |
| 2.7 Tratamentos da DPF | 28 |
| 2.8 Importância dos PROMs e testes clínicos | 29 |
| 3. OBJETIVOS GERAIS DA PESQUISA | 31 |
| 4. ARTIGOS CIENTÍFICOS | 32 |
| 4.1 Artigo 1 | 32 |
| 4.2 Artigo 2 | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3 Artigo 3 | 65 |
| 5. CONCLUSÃO DA TESE | 80 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 81 |
| 7. REFERÊNCIAS..... | 82 |
| 8. APÊNDICE | 98 |
| 8.1 Comprovante de submissão Artigo 1 | 98 |
| 8.2 Comprovante de submissão Artigo 2 | 99 |

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Inserção na linha de pesquisa do orientador e do Programa

A presente tese é apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutora em Fisioterapia, pelo Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia (PPGFt) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), SP – Brasil. Está alinhada com a área de concentração “Fisioterapia e Desempenho Funcional” e com a linha de pesquisa do PPGFt “Fisioterapia em Ortopedia/Traumatologia, Esportes e Reumatologia”. O projeto de pesquisa de doutorado foi desenvolvido no Laboratório de Avaliação e Intervenção em Ortopedia e Traumatologia (LAIOT), sob a orientação do Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão, docente do Departamento de Fisioterapia (Dfisio) UFSCar e, sob a coorientação da Profa. Dra. Luciana De Michelis Mendonça, docente da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

1.2 Parcerias nacionais e internacionais

Esta tese foi desenvolvida no LAIOT e contou com a colaboração nacional da Profa. Dra. Natália Duarte Pereira – UFSCar. Além disso, um dos estudos da tese foi desenvolvido no exterior, sob a orientação do Prof. Dr. Bill Vicenzino, durante o período de 12 meses de doutorado sanduíche realizado na *University of Queensland (UQ)*.

1.3 Estágio internacional

Com a aprovação da bolsa CAPES PrInt (Programa Institucional de Internacionalização, processo 88887.717128/2022-00), entre março de 2023 e fevereiro de 2024, tive a oportunidade de realizar 12 meses de doutorado sanduíche na *University of Queensland (UQ)*, Austrália, sob orientação do Prof. Dr. Bill Vicenzino. Durante esse período, como parte de minhas atividades no exterior, realizei a análise do terceiro artigo que compõe essa tese. Esse estudo foi desenvolvido a partir de dados previamente coletados em Brisbane (Austrália) e Aalborg (Dinamarca), oriundos de uma colaboração entre os professores Bill Vicenzino e Prof. Dr. Michael Skovdal Rathleff (*Aalborg University*).

Durante meu período na UQ, paralelamente ao desenvolvimento da proposta inicial, realizei uma revisão de escopo, intitulada “*Scoping out persistent patellofemoral pain with a view to developing management solutions: a scoping review and logic model of the problem.*” O objetivo da revisão foi identificar e mapear o problema da DPF persistente em seus múltiplos domínios, incluindo epidemiologia, etiologia, prognóstico, eficácia do tratamento e impacto econômico – do ponto de vista de pesquisadores, profissionais de saúde e pacientes. A partir das conclusões da revisão de escopo, será desenvolvido um modelo lógico do problema (uma explicação hipotética da série de causas e efeitos que levam a um resultado desejado). O manuscrito encontra-se em produção e futuramente será submetido a um periódico de bom impacto. Este projeto serviu como uma excelente oportunidade para criar uma rede de contato com pesquisadores renomados na área.

Durante o doutorado sanduíche, também colaborei na coleta de dados de uma pesquisa liderada pela Dra. Natalie Collins (UQ), que investigou o uso de palmilhas em indivíduos com osteoartrite patelofemoral, com análise cinética e cinemática. Este estudo ainda continua em fase de coleta de dados, e continuo em contato para a futura escrita do manuscrito.

Além disso, tive oportunidade de colaborar em outra revisão de escopo, cujo tema principal é identificar *core domains* (domínios centrais) relacionados à DPF. Contribuí realizando a extração e o gerenciamento de dados dos estudos incluídos na revisão, intitulada “*Outcome Measures as Indicators of Health-related Domains measured in People with Patellofemoral Pain: Scoping Review*”. Esse trabalho está em fase de atualização de busca e escrita do manuscrito. Ainda relacionado a ele, fui coautora de um resumo apresentado no *7th International Patellofemoral Research Retreat*, em Bolonha, na Itália. Além disso, essa revisão de escopo também serviu de base para outra produção científica em andamento, um *concept mapping study*, com a participação de pesquisadores e pacientes com DPF de vários países.

Atualmente, estou participando do processo de análise de resultados de outra revisão de escopo relacionada a tendinopatia de membros inferiores. Minha participação começou ainda quando estava na Austrália, realizando a seleção dos estudos e extração de dados. Este é um projeto de doutorado de um colega (MSc Brent Sahota), supervisionado pelo orientador no exterior, Bill Vicenzino. Além disso, mantenho contato

com os pesquisadores e continuarei com a colaboração no exterior, participando de outra revisão sistemática dos mesmos colegas nessa temática, nas quais serei uma das autoras em ambas.

Por fim, colaborei em outra revisão sistemática relacionada ao prognóstico da DPF. Nessa revisão, que está em fase de análise de resultados e escrita do manuscrito, minha contribuição foi com a extração e gerenciamento dos dados para análise, com o plano de ser submetida ao periódico *British Journal of Sports Medicine*. Continuando minha colaboração com os contatos feitos no exterior, recentemente fui convidada a participar de outra revisão de escopo, intitulada “*How is physical workload measured in children and adolescents?*”, com alguns dos mesmos pesquisadores com os quais colaborei anteriormente, da Austrália, Dinamarca, Chile e Estados Unidos.

1.4 Originalidade

Esta tese traz contribuições significativas para o campo de investigação relacionado à DPF em corredores. Parte da originalidade está na utilização de análises estatísticas mais robustas, que permitem uma abordagem abrangente para investigar as interações entre os fatores potencialmente associados ao surgimento da dor, bem como o acoplamento entre os seguimentos do membro inferior durante a análise cinemática da corrida. Considerando que a DPF é uma condição multifatorial, compreender como fatores biomecânicos, características de treinamento e dados demográficos interagem para diferenciar entre corredores com e sem dor pode ser relevante. Dessa forma, esse tipo de análise tem o potencial de fornecer informações mais detalhadas, auxiliando no manejo dessa condição

Adicionalmente, esta tese explora a relação entre testes clínicos e questionários autorrelatados amplamente utilizados na prática clínica. Apesar de sua relevância, poucos estudos investigam essa relação. Considerando que o monitoramento e adequação de tratamentos são partes essenciais para o sucesso terapêutico, esse entendimento poderia auxiliar os clínicos. Dessa forma, os resultados desse estudo podem ajudar os fisioterapeutas na avaliação, ajuste de tratamento, e acompanhamento do progresso de pacientes com DPF, promovendo a integração entre testes clínicos e desfechos autorrelatados.

1.5 Contribuição dos resultados da pesquisa para o avanço científico

Os achados dessa tese trazem importantes contribuições a respeito da avaliação de fatores relacionados à DPF em corredores, bem como uma exploração de testes clínicos comumente utilizados na clínica geral.

Nossos resultados mostram que a combinação de determinadas variáveis biomecânicas e de treinamento de corrida é capaz de identificar corredores com DPF. Além disso, a análise de coordenação e variabilidade de coordenação demonstra ser uma forma mais abrangente de avaliar aspectos relacionados ao movimento desses indivíduos, fornecendo informações relevantes para o manejo da condição. Uma vez que essa é uma condição que pode persistir por muitos anos e trazer consequências negativas, identificar essas variáveis modificáveis pode ajudar no processo de avaliação e até mesmo em estratégias de intervenção para a condição. Além disso, reforça a ideia de que, por ser uma condição multifatorial, as variáveis devem ser consideradas de forma conjunta, de acordo com a especificidade de cada indivíduo.

O desfecho de interesse no tratamento dessa condição deve ser centrado no paciente. Dessa forma, entender melhor como os testes clínicos comumente utilizados na clínica se relacionam com o desfecho autorrelatado por pacientes em questionários recomendados pode ajudar a melhor gerenciar e entender o progresso do tratamento para essa condição. Idealmente, deve-se buscar a integração de testes clínicos e questionários autorrelatados no manejo dessa condição.

1.6 Relevância social

A relevância social desta tese está no esforço de traduzir os achados de maneira simples e acessível, mesmo utilizando análises estatísticas mais complexas. Além disso, ao investigar testes clínicos e questionários de baixo custo e de fácil aplicação, buscamos oferecer ferramentas úteis para os clínicos no dia a dia. De forma geral, a relevância se concentra em facilitar a aplicação dos resultados na prática clínica. Dois estudos desta tese foram conduzidos em corredores. Considerando que a prática dessa modalidade de exercício – que é muito comum e tende a crescer – apresenta diversos benefícios relacionados à saúde e bem-estar, este trabalho pode contribuir significativamente. Esse estudo pode ajudar no processo de avaliação dessa população, manejo da dor (quando presente), e dar base para o desenvolvimento de estratégias futuras de prevenção de

lesões, promovendo melhorias tanto na prática esportiva quanto na qualidade de vida dos praticantes.

1.7 Atividades desenvolvidas no doutorado

A seguir seguem algumas atividades desenvolvidas durante o doutorado.

1.7.1 Lista de artigos publicados

- Souto, L. R; Serrão, P; Pisani, G. K; Tessarin, B. M; Silva, H. F; **Machado, E. M**; Sato, T. O; Serrão, F. V. *Comparison of the immediate effects of hip strap and foot orthosis on self-reported measures and lower limb kinematics during functional tasks in people with patellofemoral osteoarthritis: protocol for a randomized crossover clinical trial.* **Trials.** 2022.

1.7.2 Lista de artigos submetidos ou em fase de submissão

- **Machado, E.M.**, Mendonça, L.D.M., Santos, A.F., Luz, B.C., Serrão, F.V. *Runners' lower limb kinematics and training characteristics interactions associated with the occurrence of patellofemoral pain.* Artigo submetido (*Journal of Biomechanics*).
- **Machado, E.M.**, Pereira, N.D., Santos, A.F., Luz, B.C., Mendonça, L.D.M., Serrão, F.V. *Lower limb coordination and coordination variability in male and female runners with and without patellofemoral pain.* Artigo submetido (*Journal of Sports Sciences*).
- Silva, H.F., **Machado, E.M.**, Silva, C. I., Pereira, N.D., Serrão, F.V. *Foot orthoses alter kinematics in runners with patellofemoral pain: a statistical parametric mapping analysis.* Artigo em fase de submissão (*Physical Therapy in Sport*).

1.7.3 Manuscritos em preparação

- **Machado, E.M.**; Matthews, M.; Rathleff, M.S.; Serrão, F.V., Vicenzino, B. *Changes in the clinical test of stepping up in patients with patellofemoral pain is related to changes in common patient-reported outcomes over 3-months.*
- **Machado, E.M.**; Matthews, M.; Brushoj, C., Brunn, M., Chang, A., Christensen, R., Djurtoft, C., Hansen, R., Henriksen, M., Smith, B., Souto, L.R., Rathleff, M.S.; Serrão, F.V., Vicenzino, B. *Scoping out persistent patellofemoral pain with a view to developing management solutions: a scoping review and logic model of the problem.*
- Besomi, M., Lyng, K.D., **Machado, E.M.**, Holden, S., Blumenfeld, M.B., Andreucci, A., Crossley, K., Middelkoop, M., Rathleff, M.S., Silva, D.O., Pazzinatto, M.F., Glaviano, N., Maclachlan, L., Matthews, M., Mazzella, N., Tan, J., Leeuwen, G., Wyndow, N., Kayll, S.A., Paterson, K.L., Souto, L.R., Collins, N., Vicenzino, B. *Outcome Measures as Indicators of Health-related Domains measured in People with Patellofemoral Pain: Scoping Review.*
- Lyng, K.D., Holden, S, Blumenfeld, M.B., Gürühan, S., **Machado, E.M.**, Andreucci, A., Sørensen, L.B., Pourbordbari, N., Guldhammer, C., Straszek, C.L.N., Johansen, S.K., Rathleff, M.S. *Long-term prognosis of Patellofemoral Pain (PFP) in adolescents and adults: A systematic review with meta-analysis and meta-regression.*
- Sahota, B., **Machado, E.M.**, Vuvan, V., Vicenzino, B., Smith, M. *A scoping review of return to sport from patellar tendinopathy: definitions and criteria.*

1.7.4 Participação/colaboração em pesquisas

Colaboração no desenvolvimento de revisões sistemáticas/de escopo em andamento:

- Sahota, B., **Machado, E.M.**, Vuvan, V., Vicenzino, B., Smith, M. *Epidemiology of lower extremity tendinopathies in sport: A systematic review and meta-analysis*. Situação: em andamento.
- Besomi, M.B., Rossi-Serrano, R., Smith, M., Mielke, G.I., Mills, K., Lawrenson, P., Wainer, M., Satudillo, D., Fogg, E., Zillmann, C., **Machado, E.M.**, Walter, L., Bonacci, J., Rathleff, M.S., Gabbett, T., Collins, N.J. *How is physical workload measured in children and adolescents?*” Situação: em andamento.
- Demarchi, S.J., Souto, L.R., **Machado, E.M.**, Padovez, R.F.C.M., Sato, T.O., Serrão, F.V. *Predictors of poor prognosis in people with patellofemoral pain: a systematic review*. Situação: Concluído.

1.7.5 *Trabalhos apresentados em congresso dos quais a aluna é coautora*

- **7th International Patellofemoral Research Retreat. Outcome Measures as Indicators of Health-related Domains measured in People with Patellofemoral Pain: A Preliminary Report of a Scoping review.** **Autores:** Besomi, M., Lyng K.M., Andreucci, A., Collins, N., Crossley, K., Middelkoop, M., Rathleff, M.S., Silva, D.O., Pazzinatto, M.F., Glaviano, N., Holden, S., Maclachlan, L., Matthews, M., Mazzella, N., Tan, J., Leeuwen, G., Wyndow, N., Kayll, S.A., Paterson, K.L., Souto, L.R., **Machado, E.M.**, Blumenfeld, M.B., Vicenzino, B.
- **I Fórum Discente da Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação - Fisioterapia (ABRAPG-Ft).** *Coordenação e variabilidade de coordenação do membro inferior em corredores do sexo masculino e feminino com e sem dor patelofemoral.* **Machado, E.M.**, Pereira, N.D., Santos, A.F., Luz, B.C., Mendonça, L.D.M., Serrão F.V.
- **Sports Medicine Australia Conference - SMA.** *Lower limb coordination and coordination variability in runners with and without patellofemoral pain.* **Machado, E.M.**, Pereira, N.D., Santos, A.F., Luz, B.C., Mendonça, L.D.M., Serrão, F.V.

1.7.6 Coorientação de iniciação científica

Aluna: Rebeca Ferreira

Título: Avaliação de características psicológicas em corredores com e sem dor patelofemoral.

Instituição: Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Orientador: Prof. Dra. Fábio Viadanna Serrão.

Ano: 2023 - 2024.

Financiadores: Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

1.7.7 Participação em bancas de trabalho de conclusão de curso

Aluna: Rafaela Campos

Título: Comparação da amplitude de movimento, torque isométrico máximo, endurance muscular entre tendões de Aquiles com e sem alterações ultrassonográficas em bailarinos assintomáticos: um estudo transversal.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão

Coorientadora: Bruna Mariana Tessarin

Ano: 2023

1.7.8 Participação em eventos científicos

- ***Running injuries Symposium.*** 14 e 15 de abril de 2023. *La Trobe University*, Melbourne, Austrália. Ouvinte.
- ***I Fórum Discente da Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação - Fisioterapia (ABRAPG-Ft).*** Online, 19-21 maio de 2023. Apresentação de e-poster eletrônico: Coordenação e variabilidade de coordenação do membro inferior em corredores do sexo masculino e feminino com e sem dor patelofemoral.
- ***Musculoskeletal Physiotherapy Master's Conference 2023.*** Online, 26 de maio de 2023. Ouvinte.
- ***Sports Medicine Australia Conference - SMA.*** 11 a 14 de outubro de 2023. Sunshine Coast, Austrália. Apresentação oral. Título:

*Lower limb coordination and coordination variability
in runners with and without patellofemoral pain.*

1.7.9 Capacitação Docente

- **Estágio em docência na disciplina Fisioterapia em Reumatologia.**

Professores responsáveis: Profa. Dra. Paula Regina Mendes da Silva Serrão e Prof. Dr. Luiz Fernando Approbato Selistre.

Atividade: Auxílio na condução de aulas teóricas e atividades didáticas. Preparação e apresentação de uma aula expositiva.

- **Estágio em docência na disciplina Estágio Profissional em Fisioterapia.**

Professores responsáveis: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão, Prof. Dra. Paula Rezende Camargo e Prof. Dra. Stela Márcia Matiello.

Atividade: Auxílio na montagem e organização do ambiente online, auxílio na condução das atividades didáticas, acompanhamento de atendimentos remoto, participação das discussões de casos clínicos.

1.8 Link do currículo Lattes e ORCID ID da aluna

Link do currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0465548682974569>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1259-1701>

1.9 Descrição da tese para o público leigo

Investigamos como fatores pessoais, de movimento e treino de corrida se associam à dor na região anterior (da frente) do joelho em corredores. Também analisamos a relação entre a melhora em testes clínicos, como subir e descer degraus, e a percepção do paciente sobre sua capacidade. Os resultados destacam fatores a serem avaliados e indicam que explorar a conexão entre testes físicos e a capacidade percebida pela própria pessoa pode melhorar o manejo clínico dessa condição.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Dor patelofemoral: definição e diagnóstico

A dor patelofemoral (DPF) é uma condição musculoesquelética caracterizada pelo relato de dor difusa e de início gradual na região retropatelar e/ou peripatelar do joelho, de origem insidiosa, agravada durante atividades como agachar, correr, subir e descer escadas e/ou pular/saltar.^{32,146}

O diagnóstico é essencialmente clínico e fundamenta-se na combinação do relato do paciente e exame clínico, já que nenhum teste isolado é considerado definitivo. A presença de dor durante o teste de agachamento, por exemplo, é capaz de identificar a DPF em cerca de 80% dos casos com resultado positivo.^{32,105} Além disso, a exclusão de outras condições que também causam dor na região anterior do joelho, como tendinopatia patelar, luxação patelar, doença de Sinding-Larsen-Johansson e doença de Osgood-Schlatter, é essencial para assegurar um diagnóstico preciso.^{32,146}

2.2 Epidemiologia

A DPF é uma condição frequentemente encontrada na prática clínica,³² afetando tanto adolescentes quanto adultos.¹²⁵ A prevalência anual é de 22,7% em adultos jovens e de 28,9% em adolescentes.¹²⁵ Além disso, a literatura indica que mulheres tem duas vezes mais chance de desenvolver DPF em comparação aos homens.^{11,125} Para além disso, é a condição mais comum entre corredores, com uma prevalência reportada de até 16,7% nessa população.⁶⁷

2.3. Etiologia/Fatores de risco

A etiologia da DPF é considerada multifatorial, e diversos fatores têm sido amplamente investigados na literatura. Entre as características demográficos, o peso, índice de massa corporal (IMC),^{100,107} sexo,¹¹ e idade⁸⁸ são investigados. Fatores psicológicos, como ansiedade, depressão, catastrofização e medo do movimento,⁸⁰ além de comportamentais e sociais, como mudanças de hábito e tomada de decisão⁶⁶ também têm sido investigados como potenciais influenciadores no desenvolvimento ou progressão da DPF.¹¹³ Além disso, fatores musculoesqueléticos locais, como força e

flexibilidade da musculatura ao redor do joelho, alinhamento articular do joelho^{107,135}, e aspectos estruturais da articulação patelofemoral,⁴¹também são frequentemente analisados. Além dos fatores locais, estudos têm explorado o papel de variáveis biomecânicas e de força muscular em articulações proximais (quadril) e distais (tornozelo e pé) ao joelho.^{70,100,114}

A biomecânica tem sido amplamente estudada no contexto da DPF e, segundo o modelo patomecânico proposto, a condição está associada a uma carga anormal na articulação patelofemoral, resultando em estresse articular elevado.¹¹³ Diversos fatores biomecânicos têm sido frequentemente analisados para explicar o aumento do estresse articular. Por exemplo, proximamente ao joelho, a adução excessiva do quadril aumenta o ângulo do quadríceps (ângulo Q), intensificando a força resultante lateral que atua sobre a patela e elevando o estresse na região lateral da articulação patelofemoral. Além disso, uma rotação medial excessiva do quadril diminui a área de contato patelofemoral, gerando maior estresse articular.^{73,119} Um estudo demonstrou que apenas 5° de rotação medial do fêmur podem elevar o estresse na cartilagem patelar em 26%, evidenciando a sensibilidade dessa articulação aos movimentos no plano transversal.⁷³ Localmente no joelho, a abdução excessiva do joelho também aumenta o ângulo Q, contribuindo para o aumento do estresse patelofemoral lateral.¹¹² O ângulo de flexão do joelho, por sua vez, também influencia as cargas impostas na articulação patelofemoral devido às alterações na área de contato articular.^{73,113} Distalmente ao joelho, uma teoria proposta por Tiberio (1987),¹³⁴ sugere que uma pronação subtalar, comumente mensurada pela eversão do retropé, excessiva ou prolongada durante a fase de apoio da marcha poderia resultar em maior rotação medial da tíbia.¹¹⁷ Para alcançar a extensão completa do joelho durante o apoio médio, o fêmur deveria rodar medialmente para permitir o mecanismo de aparafusar (*screw home mechanism*) do joelho. No entanto, essa rotação medial do fêmur que ocorre é excessiva e, assim, poderia contribuir para o aumento do estresse patelofemoral.^{117,134}

Apesar da plausibilidade biológica explorada por essas teorias, a literatura mostra resultados inconsistentes em relação à real contribuição dessas variáveis cinemáticas para a DPF.¹¹³ No contexto específico de corredores, uma revisão sistemática¹⁹ recente concluiu que, dentre diversas variáveis cinemáticas analisadas, apenas o maior pico de adução do quadril foi associado com o desenvolvimento da DPF em corredoras, embora com evidência limitada. Por outro lado, outra revisão sistemática com meta-análise,⁹⁸

baseada em estudos retrospectivos, encontrou evidência moderada de que corredores com DPF apresentaram maior pico de adução e rotação medial do quadril em comparação a corredores saudáveis. Contudo, encontrou forte evidência de ausência de associação entre a DPF e o maior pico de eversão do calcâneo.¹⁹

Além disso, especificamente no caso de corredores, por ser um tipo de lesão por *overuse*, a DPF pode estar associada a uma maior ocorrência devido à interação entre fatores de risco extrínsecos, como aspectos relacionados ao treinamento e ao ambiente, e fatores intrínsecos. Fatores relacionados ao treinamento de corrida desempenham um papel importante, pois podem estar relacionados ao risco de lesão.¹²⁹ Corredores iniciantes, por serem menos experientes na prática de corrida, podem não reconhecer os primeiros sinais de uma lesão e persistir na prática sem o devido tratamento, o que pode agravar o quadro. Por outro lado, é plausível que corredores experientes também possam estar mais suscetíveis a lesões devido ao alto volume de corrida. Treinos de alta quilometragem, intensidade elevada ou mudanças abruptas no regime de treinamento podem não permitir que o corpo tenha tempo suficiente para se adaptar às novas demandas, tornando esses indivíduos mais suscetíveis a lesões por *overuse*, como a DPF.^{6,51,53,129}

No entanto, é importante considerar algumas limitações dos estudos e revisões sistemáticas mencionadas anteriormente e que podem estar sendo responsáveis pelas inconsistências encontradas na literatura. A maioria das análises realizadas baseou-se em métodos estatísticos paramétricos clássicos, não levando em consideração as interações entre diversos fatores que podem estar associados ao desenvolvimento de uma lesão. Exemplos dessas interações incluem a relação entre fatores biomecânicos, características demográficas e aspectos relacionados ao treinamento em corredores. Além disso, grande parte dos estudos que investigaram a análise cinemática da corrida em indivíduos com DPF analisou variáveis pontuais - tais como o ângulo no contato inicial ou o ângulo máximo (pico) - em articulações isoladas, sem considerar o acoplamento entre as articulações/segmentos do membro inferior. É importante ressaltar que, embora variáveis discretas, como o pico, sejam importantes por sua relação com a carga total aplicada na articulação, explorações adicionais são desejáveis. Dessa forma, acreditamos que o uso de análises mais robustas, capazes de considerar a interação entre diferentes fatores e o

acoplamento entre os segmentos do membro inferior, poderia fornecer uma compreensão mais abrangente dessa condição. Algumas dessas abordagens são apresentadas a seguir.

2.4 Análise não-paramétrica e multivariável

A análise comumente utilizada, que investiga variáveis de forma isolada e linear, pode não ser sensível o suficiente para capturar possíveis relações entre diversos fatores (sejam fatores relacionados a biomecânica do membro inferior, características de treinamento, demográficas e/ou outros) que possam estar associados à lesões esportivas complexas como a DPF.⁹ De acordo com a teoria dos sistemas complexos, uma lesão pode emergir de uma interação entre múltiplos fatores, apresentando uma relação não linear com o desfecho.⁹ Uma análise que permite avaliar essa relação não linear entre fatores é a chamada Árvore de Classificação e Regressão (*CART, Classification and Regression Tree*), uma análise amplamente utilizada na pesquisa em saúde.^{10,47,72,86} A *CART* é uma análise robusta e não-paramétrica capaz de identificar subgrupos dentro de uma determinada população que compartilham de características comuns, com base na força de associação entre variáveis preditoras selecionadas – dentre as variáveis analisadas – e o desfecho de interesse.⁷² O resultado da *CART* é um modelo em formato de fluxograma que explora um desfecho principal, analisando as variáveis independentes de forma combinada, ou seja, de maneira não linear. Para chegar ao resultado, a análise se inicia com a amostra inteira agrupada no nó 0 (nó parental). Em seguida, o modelo identifica a variável mais fortemente associada ao desfecho principal de interesse e determina um ponto de corte que melhor divide a amostra em dois subgrupos (nós filhos). Os nós filhos, desta forma, são o mais homogêneo possível dentre si e o mais heterogêneo possível entre si. Essas partições binárias continuam recursivamente, até que os critérios pré-estabelecidos não sejam mais atendidos e uma nova divisão não seja possível, gerando então o nó terminal.⁷²

De acordo com o nosso conhecimento, não há estudos que tenham avaliado as interações e relações não lineares de variáveis cinemáticas proximais, locais e distais que identifiquem a DPF em corredores.

2.5 Coordenação e variabilidade de coordenação entre os segmentos do membro inferior

A maioria dos estudos sobre análise cinemática concentra-se na avaliação de variáveis pontuais, como o ângulo no contato inicial ou o ângulo máximo (pico), em articulações isoladas, sem considerar o acoplamento entre as articulações ou segmentos do membro inferior.⁶⁰ Essa abordagem segmentada tem limitações, pois a literatura sugere que essa abordagem não é capaz de capturar a complexidade dos movimentos do corpo humano, que ocorrem de forma coordenada.⁴ A teoria dos sistemas dinâmicos propõe que a coordenação entre segmentos e articulações permite uma medida mais sensível da mecânica articular.⁶⁰ A coordenação entre os segmentos reflete a organização dos graus de liberdade disponíveis para a execução de uma determinada tarefa.¹²² Em um estado saudável, há múltiplos graus de liberdade individuais que podem ser combinados ou coordenados de diferentes formas para realizar a mesma ação.⁶¹ Dessa forma, ângulos articulares semelhantes podem ser alcançados por diferentes padrões de movimento e posições segmentares.¹²² Portanto, a análise da coordenação e de sua variabilidade entre os segmentos ou articulações do membro inferior proporciona uma compreensão mais abrangente e precisa do movimento.

A literatura sugere que a redução da variabilidade pode indicar uma menor capacidade do corpo em se adaptar a diferentes situações,^{60,61} o que poderia acarretar no aumento do estresse articular no membro inferior e contribuir para o desenvolvimento ou progressão da DPF.^{60,61,63,122} No entanto, ainda não há consenso na literatura sobre se a redução da variabilidade é, de fato, a única variável associada às lesões, uma vez que um aumento excessivo na variabilidade também pode estar relacionado à ocorrência de lesões no membro inferior.^{3,34,61} Estudos^{34,60,63} que investigaram especificamente a variabilidade de coordenação em indivíduos com e sem DPF durante a corrida apresentam resultados contraditórios. Cunningham et al.,³⁴ ao compararem corredoras amadoras com e sem DPF, observaram maior variabilidade do ângulo acoplado entre joelho e tornozelo em corredoras sintomáticas. Em contrapartida, Heiderscheit et al.,⁶³ constataram que mulheres com DPF apresentaram menor variabilidade de coordenação no contato do calcanhar para o acoplamento de coxa e perna em comparação com aquelas sem a condição. Hamill et al.,⁶⁰ também reportaram que indivíduos com DPF exibiram menor variabilidade na fase relativa contínua dos acoplamentos do membro inferior

(flexão/extensão da coxa e rotação da tíbia, abdução/adução da coxa e rotação da tíbia, rotação da tíbia e eversão/inversão do pé, e rotação do fêmur e tíbia), quando comparados a sujeitos saudáveis.

Esses achados conflitantes sugerem que a relação entre a coordenação e variabilidade de coordenação e a DPF ainda não está completamente compreendida. Portanto, são necessárias mais pesquisas para determinar se alterações na coordenação e variabilidade desempenham um papel nessa condição.

2.6. Prognóstico da DPF

A literatura aponta para a natureza crônica da DPF, com relato de sintomas persistentes por até 20 anos.^{102,115} Mais de 50% dos indivíduos continuam apresentando dor persistente por mais de 5 anos após o diagnóstico inicial⁷¹ e uma parcela considerável dessa população apresenta prognóstico desfavorável, mesmo após tratamento.^{22,71,75,99} Dada a tendência à cronicidade associada à DPF, a presença dos sintomas pode impactar as atividades de vida diária, a prática de exercícios e a qualidade de vida em geral dessa população, o que, por sua vez, pode ter implicações importantes para a prevenção e manejo de outras condições, como doenças cardiovasculares, diabetes e osteoporose.²⁴ Além disso, acredita-se que a DPF possa ser precursora da osteoartrite patelofemoral.^{28,133} Dessa forma, considerando a alta incidência e a considerável parcela de indivíduos com prognóstico desfavorável, há a necessidade de um melhor entendimento da condição, bem como o desenvolvimento e promoção de tratamentos que sejam efetivos.

2.7 Tratamentos da DPF

As diretrizes clínicas e consensos sobre a DPF sugerem que o tratamento não cirúrgico, individualizado e multimodal, baseado na avaliação clínica, é a melhor abordagem para o manejo dessa condição.^{23,99,143} O exercício terapêutico é considerado o principal componente do tratamento, podendo ser combinado com outras intervenções coadjuvantes.^{5,99,126} De maneira resumida, o mais recente guia de prática clínica, elaborado com a colaboração de especialistas no tratamento da DPF e pacientes com a

condição, recomendou a utilização de 6 estratégias de tratamento.⁹⁹ As estratégias de tratamento recomendadas foram: exercícios focados no joelho, com ou sem direcionamento adicional para o quadril, acompanhados de educação; além de intervenções adicionais, conforme as preferências e necessidades dos pacientes, como o uso de órteses pré-fabricadas para os pés, terapia manual, reeducação de movimento/corrida ou aplicação de *taping*.⁹⁹

No entanto, é importante ressaltar que, conforme demonstrado por outra recente revisão sistemática,⁹⁶ os tratamentos mostraram-se eficazes apenas no curto período (3 meses) para pessoas com dor persistente. Nenhuma das intervenções demonstrou eficácia para além do curto período de *follow-up*⁹⁶, e, em muitos casos, as pesquisas de intervenção foram conduzidas ou reportadas de forma inadequada, o que impediu uma avaliação apropriada.^{96,126} Além disso, os autores também destacam que há uma grande variedade de desfechos sendo investigados, o que pode comprometer a síntese de evidência.⁹⁶ A diversidade nos métodos de avaliação de desfechos reforça a necessidade de se utilizar medidas de desfechos apropriadas, que reflitam a melhora e que sejam relevantes para os pacientes após um determinado tratamento.

2.8 Importância dos PROMs e testes clínicos

Indivíduos com DPF apresentam redução na qualidade de vida,²¹ no bem-estar psicológico^{39,139,148} e na funcionalidade.¹⁴ Dessa forma, diversos estudos utilizam a funcionalidade como desfecho principal em pesquisas de intervenção.⁹⁶ As medidas de funcionalidade são de grande relevância na DPF, pois são determinantes para a monitorização da evolução da condição e seu prognóstico.^{71,143}

O guia mais recente, elaborado por especialistas, sobre recomendações de medidas de desfecho e forma de reportar pesquisa clínica em estudos sobre dor patelofemoral (REPORT-PFP),⁷ apresentou resultados importantes para aprimorar a síntese da literatura e a aplicação dos achados na prática clínica. Entre as recomendações de uso, destacam-se o uso de itens de medidas de desfecho (tais como sintomas autorrelatados pelos pacientes específicos da condição e severidade da dor), catastrofização, qualidade de vida relacionada à saúde, GROC (*Global Rating of Change*), autoeficácia, entre outros.⁷ O

REPORT-PFP recomenda o uso de uma medida para a severidade da dor e um desfecho específico autorrelatado pelo paciente – sugerindo a Escala de Dor Anterior no Joelho (*Anterior Knee Pain Scale (AKPS)/Kujala Patellofemoral Scale*) e a *Knee Injury and Osteoarthritis Score Patellofemoral subscale (KOOS-PF)* para este último.⁷

As atividades desencadeadoras de dor mais comumente reportadas por indivíduos com DPF incluem o agachamento, subir e descer degraus, e permanecer por longos períodos sentado ou ajoelhado.^{32,143} Dessa forma, os clínicos frequentemente utilizam esses testes ou atividades dolorosas tanto na avaliação clínica quanto no acompanhamento desses indivíduos ao longo do tratamento. No ambiente clínico, a função pode ser avaliada tanto por medidas autorrelatadas quanto por medidas objetivas de desempenho funcional.^{14,116} As medidas autorrelatadas, avaliadas por meio de questionários, como a AKPS e o KOOS, refletem a percepção do indivíduo sobre suas limitações funcionais no contexto da condição.¹⁴ Já as medidas de desempenho funcional avaliam as limitações de forma objetiva, frequentemente utilizando testes clínicos, como os de agachamento, subida e descida de escada, e salto unilateral.¹⁴

No entanto, apesar do uso desses testes clínicos ser comum, o REPORT-PFP não os incluiu entre as atividades que caracterizam a condição em suas recomendações. As medidas baseadas no desempenho funcional podem complementar as informações autorrelatadas ao quantificar objetivamente as deficiências funcionais por meio desses testes clínicos, que são acessíveis, de baixo custo e eficientes em termos de tempo.^{14,116} Assim, ambas as abordagens fornecem informações clinicamente relevantes e complementares, que podem auxiliar no manejo dessa condição. Dessa forma, compreender como os resultados de testes clínicos comumente utilizados, como os de subir e descer degraus e agachamento, se correlacionam com as medidas de desfecho autorrelatadas pode ajudar os clínicos a compreender melhor a evolução dessa condição durante um tratamento e a fazer ajustes quando necessário.

3. OBJETIVOS GERAIS DA PESQUISA

Diante do exposto, os objetivos gerais desta tese foram: 1) investigar interações entre variáveis cinemáticas, características de treinamento de corrida e dados demográficos com a ocorrência de DPF em corredores, utilizando a análise *CART*; 2) investigar diferenças na coordenação e na variabilidade de coordenação entre os segmentos do membro inferior entre corredores do sexo masculino e feminino com e sem DPF; e 3) investigar como mudanças no desempenho/pontuação dos testes clínicos de agachamento e subida/descida de degraus se relacionam com mudanças nas medidas de desfecho autorrelatados por pacientes com DPF após um tratamento.

4. ARTIGOS CIENTÍFICOS

4.1 Artigo 1

Cinemática do membro inferior e características de treinamento de corredores associadas à ocorrência de dor patelofemoral

Eliane de Moraes Machado¹, Luciana De Michelis Mendonça², Ana Flávia dos Santos³,
Bruna Calazans Luz¹, Fábio Viadanna Serrão¹

¹ Departamento de Fisioterapia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil.

² Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Centro Universitário UNA Pouso Alegre, Pouso Alegre, MG, Brasil.

Artigo submetido ao periódico *Journal of Biomechanics*. Fator de impacto 2.4 (Apêndice 1).

RESUMO

Objetivo: Investigar as interações entre variáveis cinemáticas, características de treinamento e dados demográficos com a ocorrência de DPF em corredores.

Desenho: Análise secundária de dados de um estudo transversal.

Métodos: O estudo incluiu 83 corredores, 42 com DFP e 41 sem DPF. Variáveis cinemáticas tridimensionais (pico de adução do quadril, pico de rotação medial do quadril, pico de abdução do joelho, pico de flexão do joelho, pico de dorsiflexão do tornozelo e pico de eversão do pé) avaliadas durante a corrida, cadência, velocidade de corrida autosseleccionada, anos de experiência em corrida, distância semanal de corrida, idade e sexo foram analisadas por meio da *Classification Analysis and Regression Tree* (CART).

Resultados: A CART identificou 3 subgrupos de corredores com DPF, que apresentaram: 1) distância semanal de corrida ≤ 29 km, pico de abdução do joelho $\leq 8,09^\circ$ e pico de dorsiflexão do tornozelo $\leq 23,14^\circ$; 2) distância semanal de corrida ≤ 29 km, pico de abdução do joelho $\leq 8,09^\circ$ e pico de dorsiflexão do tornozelo $> 23,14^\circ$ e distância semanal de corrida $\leq 18,5$ km/semana; 3) distância semanal de corrida > 29 km/semana, velocidade de corrida autosseleccionada $< 8,25$ km/h. Três subgrupos sem DPF também foram identificados, apresentando: 1) distância semanal de corrida > 29 km e velocidade de corrida autosseleccionada $> 8,25$ km/h; 2) distância semanal de corrida ≤ 29 km e pico de abdução do joelho $> 8,09^\circ$; 3) distância semanal de corrida ≤ 29 km, pico de abdução do joelho $< 8,09^\circ$, pico de dorsiflexão do tornozelo $> 23,14^\circ$ e distância semanal de corrida $> 18,5$ km.

Conclusão: Características de treinamento de corrida (distância semanal de corrida e velocidade de corrida autosseleccionada) interagiram com variáveis cinemáticas dos membros inferiores (pico de abdução do joelho e pico de dorsiflexão do tornozelo) de maneiras distintas para caracterizar grupos com e sem DPF. As interações identificadas nesse estudo podem ser usadas na tomada de decisões clínicas visando personalizar recomendações durante o treinamento e tratamento de corredores com DPF.

Palavras-chave: biomecânica, dor femoropatelar, joelho, lesão relacionada a corrida, treinamento

INTRODUÇÃO

A corrida é uma atividade física cada vez mais popular⁴⁸ que oferece diversos benefícios para a saúde física, cardiovascular⁶⁴ e mental.⁵⁴ No entanto, a corrida também está associada a uma incidência anual de lesões nos membros inferiores que varia de 19,4% a 79,3%.⁵³ A articulação do membro inferior mais afetada é o joelho, e a dor patelofemoral (DPF) é uma das lesões mais comuns em corredores, com uma prevalência relatada de até 16,7%.⁶⁷

A DPF é uma condição caracterizada pela presença de dor peri- e/ou retro-patelar durante a realização de atividades que exercem carga na articulação do joelho quando flexionado, tais como caminhar e correr.³² A DPF impacta negativamente tanto a participação em atividades físicas quanto a qualidade de vida desses indivíduos.^{21,55} Por ser uma lesão relacionada à corrida, a literatura sugere que ela possa emergir da interação entre variáveis relacionadas à prática de corrida (como, por exemplo, distância percorrida, frequência de treino e velocidade de corrida) e fatores predisponentes.⁸ Dessa forma, é possível que fatores biomecânicos e de treinamento estejam relacionados ao aumento do estresse na articulação patelofemoral e, conseqüentemente, atuem como mediadores na ocorrência de lesões. O papel da biomecânica na ocorrência de DPF continua sendo debatido na literatura,¹³⁸ mas sugere-se que alguns fatores possam contribuir para o desenvolvimento e a persistência dessa condição.^{19,113} Os fatores biomecânicos mais frequentemente investigados incluem: adução e rotação medial excessivas do quadril,^{73,119} abdução excessiva do joelho,¹¹² o ângulo de flexão do joelho,⁷³ e a pronação subtalar excessiva ou prolongada (comumente avaliada pela eversão do retropé).^{117,134}

Na abordagem da DPF, é fundamental considerar como variáveis cinemáticas interagem com outros fatores, como as cargas de treinamento e fatores não mecânicos, tais como a capacidade de recuperação do corpo.⁴³ Dye⁴² propôs um modelo relacionado à homeostase tecidual, sugerindo que, para preservar a saúde articular, a articulação patelofemoral deve se submeter a cargas que estão dentro de uma faixa funcional compatível com a capacidade do corpo de suportar e recuperar-se dessas cargas. De acordo com esse modelo, exceder esse limite de carga – seja em termos de magnitude, frequência ou ambos – resulta em sobrecarga, perturbando a homeostase tecidual e potencialmente contribuindo para o surgimento de sintomas.⁴² Embora o modelo tenha

plausibilidade clínica, a evidência que valida sua relevância para a fisiopatologia da DPF ainda é limitada.⁴³

Em corredores, mudanças abruptas no treinamento, como aumento na distância, velocidade ou prática de corrida em superfícies em declive, são associadas a lesões relacionadas à corrida quando excedem o nível de adaptação dos tecidos corporais.³⁵ No entanto, apenas um estudo¹⁰¹ encontrou que corredores novatos que aumentaram seu volume semanal de corrida em mais de 30% apresentaram maior susceptibilidade a lesões relacionadas a corrida, incluindo a DPF, em comparação com aqueles que aumentaram sua distância semanal de corrida em menos de 10%. Além das características de treinamento, fatores como idade e experiência na corrida também podem influenciar como o sistema musculoesquelético responde às cargas aplicadas a ele.¹⁶ Declínios na função musculoesquelética associados ao envelhecimento, bem como diferenças em variáveis cinemáticas e cinéticas entre indivíduos jovens e mais velhos, têm sido apontados como fatores relevantes a serem considerados.^{16,74,122} Adicionalmente, diferenças entre os sexos na cinemática dos membros inferiores, na coordenação e na variabilidade de coordenação durante a corrida também foram observadas na literatura.^{1,46,128}

A base teórica que relaciona cinemática, características de treinamento e variáveis demográficas à DPF é frequentemente limitada por análises estatísticas lineares clássicas, que não conseguem capturar as possíveis interações entre esses fatores. Essa limitação resulta em achados inconsistentes que limitam o uso dessas variáveis no ambiente clínico.^{53,89} Dessa forma, para que possam ser empregadas na prevenção e/ou manejo de lesões, é fundamental aprofundar a compreensão sobre as possíveis interações entre elas. Portanto, o objetivo desse estudo foi investigar as interações entre variáveis cinemáticas (pico de adução do quadril, pico de rotação medial do quadril, pico de abdução do joelho, pico de flexão do joelho, pico de dorsiflexão do tornozelo, pico de eversão do pé), características de treinamento de corrida (cadência, velocidade de corrida autosseleccionada, anos de experiência em corrida, distância semanal de corrida) e dados demográficos (idade e sexo) com a ocorrência de DPF em corredores, utilizando a análise *Classification Analysis and Regression Tree (CART)*.

MÉTODOS

Desenho do estudo

Esta foi uma análise secundária de dados transversais provenientes de um artigo previamente publicado.⁷⁸ Os métodos descritos nessa seção são um resumo dos critérios utilizados e previamente detalhados.⁷⁸ O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (Número do Relatório de Aprovação 3.089.896) e os participantes assinaram o termo de consentimento livre esclarecido antes do início das coletas.

Participantes

Corredores de ambos os sexos foram recrutados por meio de divulgação em grupos e clubes de corrida, competições de corrida, redes sociais e panfletos afixados na universidade. Para participar, os indivíduos deveriam atender aos critérios de inclusão descritos no estudo previamente publicado⁷⁸: idade entre 18 e 35 anos; ter corrido pelo menos 15 km por semana nos últimos três meses; ter experiência prévia em corrida em esteira ergométrica; apresentar padrão de aterrissagem com o retro-pé, confirmado de forma qualitativa em tempo real por uma câmera (120 Hz) posicionada a um metro lateralmente ao pé no momento da coleta de dados.⁷⁸

O grupo sintomático, composto por corredores com DPF, foi definido pelos seguintes os critérios: dor peri ou retro-patelar reproduzível durante pelo menos duas atividades funcionais (como subir ou descer escadas, ajoelhar-se, agachar-se, permanecer sentado por períodos prolongados ou contração isométrica do quadríceps), além da corrida; sintomas de início insidioso (sem relação com qualquer evento traumático); relato de presença de sintomas durante ou após o treino de corrida nos últimos três meses; apresentassem uma pontuação ≥ 3 na Escala Visual Analógica (EVA) de 10 cm para a pior dor no joelho experimentada na semana anterior (onde “0” indica ausência de dor e “10” indica a pior dor possível/extremamente intensa). O grupo assintomático foi composto por corredores sem histórico ou presença atual de DPF.⁷⁸

Para ambos os grupos, não foram incluídos corredores que apresentassem: histórico de cirurgia no joelho; lesão ou dor na coluna, quadril ou tornozelo; instabilidade

patelar; sinais ou sintomas indicativos de lesões envolvendo meniscos ou ligamentos do joelho; condições neurológicas que impactassem o movimento.⁷⁸

Procedimentos

Todos os potenciais participantes foram avaliados por uma fisioterapeuta e triados de acordo com os critérios de elegibilidade descritos acima. Para caracterização da amostra, foram coletadas informações demográficas e sobre o treinamento, incluindo distância semanal de corrida e anos de prática. Os corredores também preencheram o questionário *Anterior Knee Pain Scale (AKPS)*,³³ que avalia a gravidade dos sintomas e limitações funcionais, com pontuação de 0 (pior condição) a 100 (ausência de sintomas ou restrições funcionais). Além disso, os corredores relataram a intensidade da pior dor na última semana utilizando a escala EVA de 10 cm.²⁹ Durante a coleta de dados da corrida, foram registradas a velocidade autosselecionada e a cadência de cada corredor.

Análise Cinemática

Foi realizada uma análise cinemática tridimensional das articulações do quadril, joelho, tornozelo e pé durante a corrida em uma esteira ergométrica (modelo LX 160 GIII, *Movement*), registrada a 240 Hz com o sistema de captura de movimento de 7 câmeras (*Qualisys Motion-Capture System, Qualisys Medical-AB*, Suécia). O avaliador forneceu o tênis de corrida neutro (*Asics Gel-Equation 5, ASICS*, Kobe, Japão) para os corredores, que usaram camiseta ou top (para mulheres) e shorts durante a avaliação.⁷⁸ Dezesesseis marcadores anatômicos refletivos, com 14 mm de diâmetro, foram colocados em pontos específicos no corpo de cada participante, seguindo um modelo modificado de Helen-Hayes,¹²⁰ conforme descrito anteriormente.⁷⁸ Os marcadores foram colocados nos seguintes pontos anatômicos: ponto mais alto das cristas ilíacas bilateralmente, espinhas ilíacas anterossuperiores e póstero-superiores, base do sacro, trocânter maior do fêmur bilateralmente, epicôndilos medial e lateral do fêmur, maléolos medial e lateral, cabeças do 1º e 5º metatarsos, e base do 2º metatarso. Três marcadores de rastreamento (*clusters*) foram fixados na região posterior da coxa, da perna e na região posterior do calçado (aspecto posterior do calcâneo). Os dados cinemáticos foram coletados do membro afetado em participantes com sintomas unilaterais ou do membro mais afetado (maior dor autorrelatada) no caso de sintomas bilaterais.⁹⁵ Para os corredores assintomáticos, foi avaliado o membro inferior dominante, o qual foi determinado ao perguntar qual perna eles usariam para chutar uma bola o mais longe possível.¹⁴⁴

Uma coleta estática foi realizada com o participante em pé na posição neutra, para alinhá-lo com o sistema de coordenadas global (laboratório) e determinar a referência para a análise cinemática subsequente. Para a coleta de dados, os participantes realizaram um aquecimento na esteira a uma velocidade constante de 4,5 km/h durante cinco minutos. Em seguida, foi realizado um período de familiarização de cinco minutos, no qual os corredores correram na sua velocidade preferida (autosselecionada). A velocidade de corrida autosselecionada foi determinada com base no nível de conforto de cada participante. Eles foram orientados a escolher um *pace* (minutos por quilômetro) que selecionariam para uma corrida fácil de 20 minutos. Essa velocidade poderia ser ajustada durante o período de 5 minutos, conforme solicitado pelo participante. Em seguida, foi realizado o teste de corrida, já na velocidade autosselecionada, durante dois minutos, registrando pelo menos 30 passos consecutivos do membro inferior afetado/avaliado.⁷⁸

Redução de Dados

Foram analisados dez passos consecutivos para avaliar as variáveis cinemáticas de interesse, utilizando o *software Visual 3D* (C-Motion Inc., Rockville, EUA) para calcular o sistema de coordenadas articulares anatômicas. Os dados cinemáticos foram filtrados com um filtro *Butterworth* passa-baixa de 4ª ordem, *zero-lag*, a 12 Hz.⁷⁸ Os ângulos de Cardan foram calculados em relação à medida estática em pé, empregando as definições do sistema de coordenadas das articulações recomendadas pela Sociedade Internacional de Biomecânica.^{56,149} Os centros das articulações do tornozelo e do joelho foram definidos como o ponto médio entre os maléolos medial e lateral e entre os epicôndilos medial e lateral, respectivamente. O centro da articulação do quadril foi estimado como um ponto tridimensional no sistema de coordenadas anatômica da pelve, localizado a ¼ da distância ao longo de uma linha que une os marcadores dos trocânteres maiores do fêmur ipsilateral e contralateral, durante um ensaio estático em pé.^{46,93,142}

Os dados cinemáticos foram analisados durante a fase de apoio da corrida. Um algoritmo personalizado no *Matlab* (*Mathworks, Natick, MA*) foi utilizado para determinar as variáveis cinemáticas de interesse e identificar o contato inicial e a *toe-off* durante a corrida. O contato inicial foi identificado como o ponto no tempo no qual o marcador do calcâneo mudou de velocidade positiva para negativa na direção anteroposterior,¹⁵² e o *toe-off* foi determinado pelo segundo pico de extensão do joelho.⁴⁵

A fase de apoio foi considerada do contato inicial até o *toe-off*. As variáveis cinemáticas (extraídas da média dos 10 passos consecutivos) de interesse foram: pico de adução e rotação medial do quadril, pico de abdução e flexão do joelho, pico de dorsiflexão do tornozelo e pico de eversão do pé.

Análise Estatística

As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o pacote estatístico SPSS®, versão 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Estatísticas descritivas foram realizadas para caracterizar as variáveis demográficas e de treinamento. A análise *Classification and Regression Tree* (CART) foi usada para determinar quais fatores (variáveis cinemáticas, características de treinamento e demográficas) e interações entre eles melhor classificariam os participantes em um dos grupos: presença ou ausência de DPF.

A CART é um método de análise estatística não paramétrica, capaz de identificar subgrupos distintos dentro de uma população que possuem características similares impactando a variável dependente investigada. O processo envolve uma análise de todas as variáveis de divisão possíveis e seleciona aquela que melhor divide a população em dois grupos binários. Começando com um nó inicial (nó parental) que representa toda a população, o método então divide a amostra em dois subgrupos (nós filhos) com base na variável mais forte associada ao desfecho principal e seu respectivo ponto de corte, que melhor diferenciam os indivíduos em cada categoria de desfecho (para o presente estudo, presença ou ausência de DPF).⁷² No presente estudo, as seguintes variáveis foram inseridas inicialmente no modelo: pico de adução do quadril, pico de rotação medial do quadril, pico de abdução do joelho, pico de flexão do joelho, pico de dorsiflexão do tornozelo, pico de eversão do pé, cadência, velocidade de corrida autosselecionada, anos de experiência em corrida, distância semanal de corrida, idade e sexo. Os seguintes critérios foram usados para produzir as divisões de cada nó: um mínimo de 6 participantes em cada nó parental para fazer uma divisão e um mínimo de 3 participantes em cada nó filho; um índice de Gini de 0,0001 foi usado para aumentar a homogeneidade do nó.⁷² O índice de Gini é uma métrica que indica a pureza dentro de um nó e serve como critério para divisão, permitindo o surgimento de novos nós mais homogêneos em relação ao seus nós pais.⁷² O método de poda (*pruning*) foi selecionado para minimizar o *overfitting*, e utilizamos a classificação de custo igual para realizar as divisões. A curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) foi calculada para verificar a precisão do modelo, com um

nível de significância alfa de 0,05 para avaliar se a área sob a curva ROC era diferente de 0,5, indicando que o modelo era preciso na previsão das categorias de desfecho.^{47,86} Por fim, os tamanhos de efeito para cada nó terminal foram estimados calculando as razões de prevalência (RP) e os 95% IC por meio de tabelas de contingência com o *OpenEpi* (www.OpenEpi.com). No nodo 9, a correção de *Haldane-Anscombe* foi usada para calcular a RP pois em um dos grupos o n foi = 0, adicionando 0,5 a todas as células antes do cálculo da RP.¹¹⁸

RESULTADOS

Foram incluídos 83 corredores, sendo 42 com DPF (20 mulheres) e 41 sem DPF (20 mulheres). A **Tabela 1** mostra as características demográficas, clínicas e de treinamento dos participantes.

Tabela 1. Características demográficas, clínicas e de treinamento dos participantes.

| | Corredores com DPF (n = 42) | Corredores sem DPF (n = 41) |
|---|--|--|
| Sexo, n | Feminino = 20, Masculino = 22 | Feminino = 20, Masculino = 21 |
| Idade, anos | 27,9 (4,0) | 27,9 (5,5) |
| Massa corporal, kg | 71,0 (13,5) | 70,1 (14,5) |
| Altura, m | 1,7 (0,1) | 1,7 (0,1) |
| IMC, kg/m² | 23,8 (2,9) | 23,6 (2,7) |
| Experiência em corrida, anos | 2,1 (2,1) | 4,6 (4,2) |
| Distância semanal, Km | 21,4 (7,2) | 34,4 (18,1) |
| Velocidade de corrida autosselecionada, Km/h | 8,9 (1,3) | 9,6 (1,3) |
| Cadência | 162,9 (8,2) | 168,0 (7,8) |
| Duração dos sintomas, meses | 14,5 (16,6) | N/A |
| AKPS | 78,8 (8,4) | N/A |
| EVA | 4,6 (1,3) | N/A |

Os dados estão apresentados em média (DP), salvo quando indicado de outra forma. Abreviações: DPF: dor patelofemoral; n: número absoluto; kg: quilogramas; m: metro; IMC: índice de massa corporal; Kg/m²: quilogramas por metro quadrado; Km: quilômetros; km/h: quilômetros por hora; AKPS: *Anterior Knee Pain Scale*; EVA: Escala Visual Analógica; N/A: não avaliado.

Entre as variáveis incluídas, o modelo CART identificou a distância semanal de corrida, o pico de abdução do joelho, o pico de dorsiflexão do tornozelo e a velocidade de corrida autosseleccionada como fatores hierárquicos e inter-relacionados associados à presença ou ausência de DPF (**Figura 1**). O modelo classificou corretamente 88,1% dos indivíduos com DPF e 85,4% dos indivíduos sem DPF, resultando em uma porcentagem de classificação geral de 86,7%. A área sob a curva ROC foi de 0,88 (IC95%: 0,80 – 0,85; $p < 0,0001$).

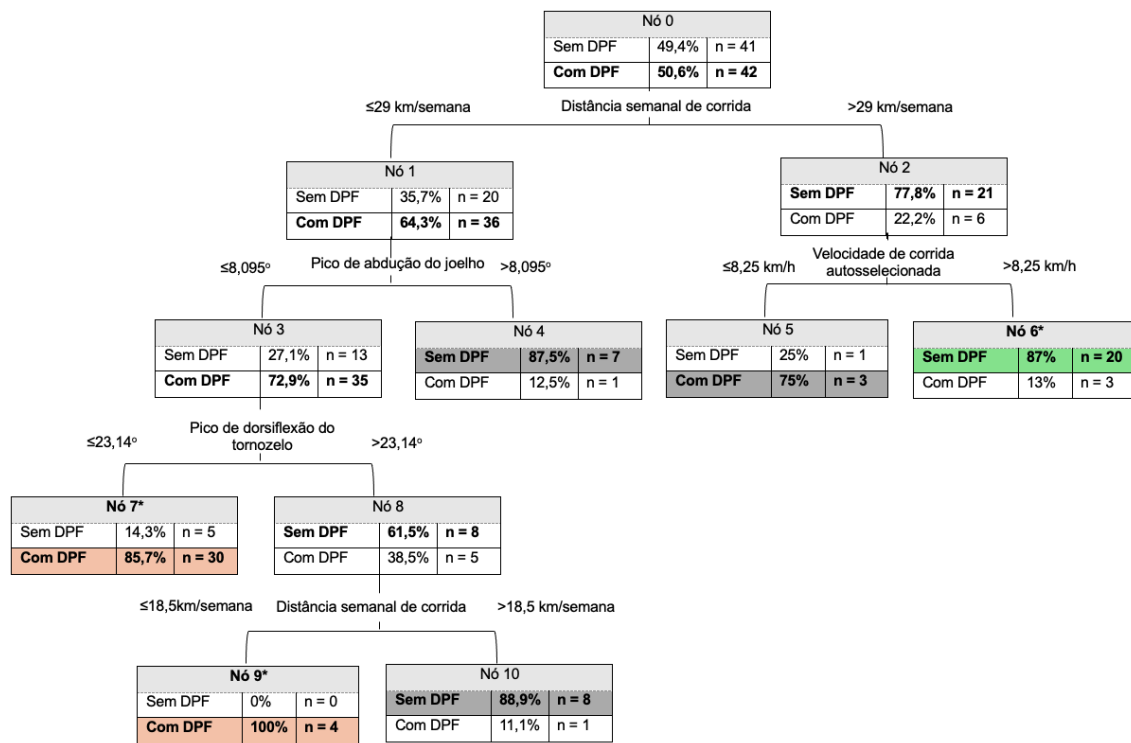


Figura 1.: Modelo de árvore de classificação e regressão para DPF. O texto em negrito em cada nó (com ou sem DPF) corresponde à categoria prevista. A cor verde simboliza o nó estatisticamente significativo para categoria corredores sem DPF, e a cor laranja corresponde a categoria corredores com DPF, a cor cinza representa os nós que não foram estatisticamente significativos. Abreviações: km: quilômetro; h: hora.

O modelo identificou três regras de classificação indicando subgrupos de corredores com DPF (perfis de risco). O modelo que melhor previu a presença de DPF foi a interação entre distância semanal de corrida ≤ 29 km, pico de abdução do joelho $\leq 8,09^\circ$ e pico de dorsiflexão do tornozelo $\leq 23,14^\circ$ [nó 7; n = 30; RP (IC95%) = 3,429 (2,062 – 5,7)]. Além disso, o nó 9 sugeriu que a distância semanal de corrida ≤ 29 km, o pico de abdução do joelho $\leq 8,09^\circ$ e o pico de dorsiflexão do tornozelo $> 23,14^\circ$, quando combinados novamente com uma distância semanal de corrida abaixo do ponto de corte

de 18,5 km/semana, estavam associados a DPF [nó 9; n = 4; RP (IC95%) = 1,836 (1,233 – 2,735)]. No nó 5, distância semanal de corrida >29 km/semana, quando combinada com uma velocidade de corrida autosseleccionada <8,25 km/h foi associado com a DPF, porém esse resultado não foi estatisticamente significativo [nó 5; n = 3; RP (IC95%) = 1,519 (0,8269 – 2,791)].

O modelo também identificou 3 regras de classificação indicando subgrupos de corredores sem DPF (fatores de proteção). A interação entre distância semanal de corrida >29 km e velocidade de corrida durante a avaliação >8,25 km/h identificou corredores sem DPF [nó 6; n = 20; RP (IC95%) = 0,2007 (0,06874 – 0,5858)]. Curiosamente, o nó 4 mostrou que a distância semanal de corrida \leq 29 km, combinada com pico de abdução do joelho >8,09° identificou indivíduos sem DPF, embora o resultado não tenha sido estatisticamente significativo (n = 7; RP (IC95%) = 0,2287 (0,03614 – 1,447)]. Finalmente, com a interação entre distância semanal de corrida \leq 29 km, pico de abdução do joelho <8,09°, pico de dorsiflexão do tornozelo >23,14°, e um ponto de corte de distância semanal de corrida >18,5 km, o modelo identificou indivíduos sem DPF, porém essa interação não foi estatisticamente significativa [nó 10; n = 8; RP (IC95%) = 0,2005 (0,03125 – 1,287)].

DISCUSSÃO

O modelo CART revelou interações entre as variáveis de treinamento de corrida e cinemática dos membros inferiores dos corredores associadas à presença ou ausência de DPF. Especificamente, o modelo identificou interações entre a distância semanal de corrida, pico de abdução do joelho, pico de dorsiflexão do tornozelo e a velocidade de corrida autosseleccionada. O modelo classificou corretamente 88,1% dos indivíduos com DPF e 85,4% dos indivíduos sem DPF, com uma classificação geral de 86,7%. Os clínicos devem considerar essas interações na tomada de decisões clínicas, visando monitorar as cargas de treinamento, realizar avaliações biomecânicas, personalizar recomendações de treinamento e educar os corredores sobre o gerenciamento desses fatores.

A primeira variável selecionada pelo modelo CART como um fator associado à DPF foi a distância semanal de corrida, com um ponto de corte de 29 km por semana. O

modelo que melhor identificou indivíduos com DPF foi o nó 7, com a interação entre a distância semanal de corrida ≤ 29 km/semana, pico de abdução do joelho $\leq 8,09^\circ$ e pico de dorsiflexão do tornozelo $\leq 23,14^\circ$. Essa interação sugere que, mesmo indivíduos com um ângulo de abdução do joelho "típico" – que poderia sugerir um alinhamento adequado, considerando o vínculo proposto entre o valgo do joelho e a DPF¹⁵⁰ – e uma distância semanal de corrida mais baixa, o que impõe menores demandas sobre segmentos dos membros inferiores, ainda podem apresentar DPF se tiverem redução da dorsiflexão do tornozelo. Isso destaca a influência significativa do movimento de dorsiflexão do tornozelo na absorção de choque durante atividades como aterrissagem.^{49,130} A dorsiflexão limitada do tornozelo pode comprometer a capacidade de absorção de choque, levando ao aumento das forças de reação do solo, movimentos exagerados dos membros inferiores no plano frontal e aumento da sobrecarga.^{81,82,130} Pesquisas anteriores associaram a limitada dorsiflexão do tornozelo à DPF em corredores.⁷⁷ Além disso, a influência de um segmento distal na DPF enfatiza a importância de se investigar outros segmentos do membro inferior além do quadril e joelho, que tradicionalmente são o foco principal de avaliação nessa condição.¹³⁰

O modelo identificou outra interação significativa para corredores com DPF no nó 9, envolvendo a interação entre a distância semanal de corrida ≤ 29 km/semana, pico de abdução do joelho $\leq 8,09^\circ$, pico de dorsiflexão do tornozelo $> 23,14^\circ$ e um ponto de corte mais baixo (18,5 km/semana) para a distância semanal de corrida como o nível final. Nesse nó, os corredores com dor foram classificados abaixo do ponto de corte de 18,5 km/semana. Uma possível explicação para a interação entre o pico de abdução do joelho abaixo do ponto de corte e o pico de dorsiflexão do tornozelo acima do ponto de corte envolve a cadeia cinética. Um estudo anterior¹³⁰ encontrou que um maior pico de dorsiflexão do tornozelo durante a aterrissagem previu um menor pico de abdução do joelho. Considerando os valores apropriados de ângulos de dorsiflexão do tornozelo e abdução do joelho, juntamente com uma distância semanal de corrida inferior a 18,5 km para corredores com dor, reforça a nossa hipótese de que a distância semanal de corrida interage com outros fatores de treinamento e cinemáticos para estar associada à lesão.⁸⁷ Esses valores de corte podem sugerir que pode haver uma “faixa ideal de corrida”, que é influenciada por outras variáveis. Uma “faixa ideal de corrida” poderia representar uma quantidade de quilômetros corridos que está dentro da capacidade do sistema musculoesquelético em lidar e se adaptar a essa carga. Esses resultados também

incentivam futuras pesquisas a explorar fatores adicionais de treinamento, como mudanças abruptas no volume ou distância de corrida, ou a superfície do treinamento, que possam estar excedendo os limites de adaptação tecidual.^{35,40,101}

O nó 6 ilustra o modelo que melhor identificou indivíduos sem DPF, revelando a interação entre distância semanal de corrida >29 km/semana e velocidade de corrida autosselecionada > 8,25 km/h. Essa interação pode ser explicada com base em um estudo anterior que investigou o pico de estresse e o estresse cumulativo na articulação patelofemoral durante a corrida em diferentes velocidades.⁴⁰ Esse estudo⁴⁰ encontrou que a força e o estresse cumulativos na articulação patelofemoral diminuíram entre 9,3% e 33,6% em velocidades de corrida mais rápidas (11,16–15,12 km/h) quando comparado com velocidades mais lentas (9 km/h), enquanto o pico da força e estresse na articulação patelofemoral aumentaram significativamente com velocidades mais altas.⁴⁰ Assim, correr em velocidades mais rápidas resulta em menor força cumulativa durante uma distância definida, quando comparado com velocidades mais lentas, provavelmente devido a um número reduzido de passos acumulados por quilômetro.^{40,101} Isso sugere que velocidades de corrida mais rápidas podem, potencialmente, compensar a demanda aumentada colocada nas estruturas dos membros inferiores ao percorrer maiores distâncias. No entanto, é importante ressaltar que não medimos diretamente o estresse na articulação patelofemoral no presente estudo, e, portanto, essa possível relação deve ser considerada com cautela. Contudo, como estudos anteriores correlacionam o estresse articular cumulativo à DPF,^{110,143} a interação entre essas variáveis pode ser relevante e deveria ser melhor investigada em estudos futuros.

A análise CART também identificou outras interações, embora não estatisticamente significativas. No nó 5, correr mais de 29 km/semana em uma velocidade mais baixa (<8,25 km/h) foi associado à presença de DPF. Especulamos que isso possa ser atribuído às diferentes forças e estresse experimentados durante a corrida em diferentes velocidades (mais rápidas e mais lentas), conforme descrito acima.^{40,101} No nó 10, a combinação de distância semanal de corrida ≤ 29 km, pico de abdução do joelho $\leq 8,09^\circ$, pico de dorsiflexão $> 23,14^\circ$, e distância semanal de corrida $> 18,5$ km/semana identificou corredores sem dor. Esses achados sugerem que explorar diferenças no volume de corrida poderia ajudar a distinguir entre corredores com e sem DPF. Isso também está alinhado com nossas características da avaliação inicial (*baseline*), que

indicam que corredores sem dor tendem a correr maiores distâncias do que aqueles com dor. No entanto, devido à natureza transversal deste estudo, não podemos determinar se a menor distância semanal de corrida é um fator que contribui para o desenvolvimento de DPF, uma consequência disso (onde corredores sintomáticos não são capazes de correr uma maior distância devido à dor), ou ainda uma estratégia adotada pelos corredores para minimizar as demandas de corrida.

A análise CART revelou outra interação não significativa envolvendo distância semanal de corrida ≤ 29 km por semana e pico de abdução do joelho $> 8,09^\circ$, no nó 4, identificando corredores sem dor. Embora inesperado, os valores mais altos de pico de abdução do joelho podem ser explicados pelo fato de que 6 dos 7 corredores identificados nesse nó eram mulheres. A literatura sugere que as mulheres frequentemente exibem maior ângulo de abdução do joelho durante a corrida, mesmo na ausência de DPF.⁴⁶ Além disso, uma revisão sistemática recente não estabeleceu uma associação significativa entre essa variável cinemática e a DPF,⁹⁸ indicando a necessidade de explorar outras variáveis relevantes, tal como a influência de variáveis de treinamento. Ainda, uma análise minuciosa das médias dos grupos individuais dentro desse nó revelou que indivíduos com DPF corriam em média 15 km/semana, enquanto corredores sem dor corriam em média 21,85 km/semana. Esse achado está alinhado com a observação anterior de que indivíduos sem DPF tendem a correr distâncias maiores em comparação com aqueles com dor.

Nosso estudo apresenta algumas limitações que devem ser reconhecidas. Em primeiro lugar, devido ao seu desenho transversal, não podemos afirmar uma inferência causal entre as associações encontradas. O tempo de experiência em corrida foi documentado por meio de informações autorrelatadas sobre a quantidade de anos de prática de corrida, o que pode introduzir viés de memória. Além disso, essa medida não considerou a frequência de corrida (número de dias por semana) ou a duração da sessão de treinamento (minutos por sessão). Pesquisas futuras devem buscar minimizar o viés de autorrelato por meio de acompanhamentos periódicos e registros sistemáticos da exposição à corrida, já que essas variáveis podem oferecer informações valiosas para o gerenciamento de carga. Além disso, são necessários estudos prospectivos para investigar o impacto dessas interações no desenvolvimento da DPF. Essas descobertas poderão informar o desenvolvimento de intervenções direcionadas e específicas, adaptadas aos

preditores individuais identificados em cada subgrupo de corredores identificados pelo modelo CART.

CONCLUSÃO

O modelo CART revelou interações entre variáveis de treinamento e cinemática dos membros inferiores associadas à ocorrência de DPF em corredores. A primeira variável associada à DPF foi a distância semanal de corrida, com um ponto de corte de 29 km/semana. Outras variáveis que diferenciaram corredores com e sem DPF foram o pico de abdução do joelho, pico de dorsiflexão do tornozelo e a velocidade autosselecionada de corrida. Esses achados reforçam a importância de uma abordagem abrangente na prática clínica, considerando não apenas variáveis isoladas, mas também suas interações. Compreender as características de treinamento dos corredores e sua interação com os fatores biomecânicos é importante, pois podem influenciar a carga imposta aos atletas e na saúde em geral.

Pontos principais

- Variáveis cinemáticas e fatores de treinamento interagiram para identificar corredores com e sem DPF.
- Compreender essas interações ajuda a identificar perfis distintos de corredores.
- Esse entendimento orientará ações direcionadas e personalizadas para cada grupo identificado.

4.2 Artigo 2

Coordenação e variabilidade de coordenação do membro inferior em corredores do sexo masculino e feminino com e sem dor Patelofemoral

Eliane de Moraes Machado¹, Natalia Duarte Pereira¹, Ana Flávia dos Santos², Bruna Calazans Luz¹, Luciana De Michelis Mendonça³, Fábio Viadanna Serrão¹

¹ Departamento de Fisioterapia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil.

² Centro Universitário UNA Pouso Alegre, Pouso Alegre, MG, Brasil.

³ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Artigo submetido ao periódico *Journal of Sports Sciences*, fator de impacto 2.3 (Apêndice 2).

RESUMO

Esta análise secundária incluiu dados de 43 corredores do sexo masculino (22 com DPF) e 40 corredores do sexo feminino (20 com DPF). Dados cinemáticos tridimensionais foram coletados durante a corrida na esteira para analisar a coordenação e a variabilidade de coordenação dos acoplamentos entre os segmentos fêmur-tíbia-pé utilizando o *Vector Coding*. Diferenças foram investigadas por meio de ANCOVA 2x2, com sexo (masculino e feminino) e condição (com e sem DPF) como fatores, controlado pelas covariáveis velocidade de corrida autosselecionada e a experiência de corrida ($\alpha < 0,05$). Diferenças significativas nos padrões de coordenação foram observadas entre homens e mulheres sem DPF para os acoplamentos de rotação medial/lateral do fêmur e eversão/inversão do pé, e para abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé. Além disso, diferenças foram encontradas entre homens com e sem DPF para os acoplamentos de abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé, e flexão/extensão do fêmur e tíbia. A única diferença na variabilidade de coordenação encontrada foi para o acoplamento entre flexão/extensão do fêmur e da tíbia, onde os homens com DPF demonstraram maior variabilidade de coordenação do que os homens sem dor. No geral, os homens sem DPF exibiram padrões de coordenação indicativos de uma coordenação proximal-distal mais eficaz em comparação com as mulheres sem DPF e os homens com DPF. Os corredores do sexo masculino com DPF apresentaram maior variabilidade de coordenação no acoplamento de flexão/extensão do fêmur e tíbia, desafiando a teoria de que a variabilidade de coordenação reduzida está sempre associada à presença de patologia na corrida.

Palavras-chave: biomecânica, lesão, extremidade inferior, joelho, esporte

INTRODUÇÃO

A prática da corrida oferece diversos benefícios para a saúde, incluindo o aumento da vitalidade, melhora da resistência cardiovascular, controle de peso corporal⁸⁵ e melhora da saúde mental.⁵⁴ No entanto, a incidência de lesões musculoesqueléticas em corredores é considerável,^{53,125} e a dor patelofemoral (DPF) uma das condições mais comuns, com prevalência reportada de até 16,7%.⁶⁷ A DPF é caracterizada por dor difusa ao redor ou atrás da patela, que é agravada por atividades que exercem carga na articulação patelofemoral em um joelho flexionado, como agachar, subir e descer escadas, correr e saltar.³² Estudos recentes indicam que a DPF pode persistir por muitos anos,^{24,71,115} impactando negativamente a realização de atividades de vida diária, a qualidade de vida e, muitas vezes, resultando na interrupção da prática esportiva.¹¹⁵

Do ponto de vista biomecânico, diversos fatores têm sido associados à DPF, como adução e rotação medial excessiva do quadril, e abdução do joelho.¹¹³ Esses fatores são considerados potenciais contribuintes para o aumento do estresse na articulação patelofemoral, potencialmente contribuindo para a persistência da DPF.¹¹³ Embora haja um volume substancial de pesquisas investigando a associação entre esses fatores com a DPF, em diferentes populações, os estudos que exploram diferenças cinemáticas entre corredores com e sem DPF têm apresentado resultados inconsistentes e, por vezes, contraditórios.^{19,98,132} Em grupos de sexo misto, alguns estudos demonstraram que corredores com DPF exibem maior adução^{50,97} e rotação medial do quadril,⁵⁰ e maior amplitude de movimento (ADM) de abdução do joelho⁵⁰ quando comparados a controles saudáveis. No entanto, outros estudos apontaram que corredores com DPF exibiram menor³⁸ ou nenhuma diferença significativa⁴⁴ na adução e rotação medial do quadril, quando comparados a indivíduos saudáveis.

É possível que a inconsistência nos resultados mencionada possa ser explicada pelo fato de que a maioria dos estudos prévios investigando a cinemática da corrida em indivíduos com DPF se concentrou na análise de variáveis discretas (como o ângulo no contato inicial ou pico angular), sem considerar o acoplamento entre articulações/segmentos do membro inferior.⁶⁰ Esse tipo de análise segmentada não reflete a complexidade dos movimentos corporais, que ocorrem de maneira coordenada.⁴ Segundo a teoria dos sistemas dinâmicos, a coordenação entre segmentos/articulações oferece uma medida mais sensível da mecânica articular.⁶⁰ A coordenação intersegmento

refere-se à organização ou seleção de movimentos a partir dos graus de liberdade disponíveis para realizar uma tarefa específica.¹²² Em um estado saudável, há múltiplos graus de liberdade individuais disponíveis, permitindo diferentes combinações e padrões de coordenação para realizar uma mesma tarefa.⁶¹ Assim, analisar a coordenação e a variabilidade da coordenação entre os segmentos do membro inferior possibilita uma análise mais abrangente da mecânica do movimento.

A literatura sugere que uma diminuição na variabilidade de coordenação pode refletir uma menor flexibilidade do corpo de se adaptar a diferentes situações ou tarefas,^{60,61} o que pode aumentar o estresse nas articulações do membro inferior, potencialmente contribuindo para o desenvolvimento ou progressão da DPF.^{60,61,63,122} No entanto, não há consenso na literatura sobre se apenas a redução da variabilidade está relacionada a lesões,³ visto que aumentos excessivos na variabilidade também parecem estar associados à ocorrência de lesões no membro inferior.^{3,34,61} Estudos que investigaram a variabilidade da coordenação em indivíduos com e sem DPF durante a corrida têm apresentado resultados contraditórios.^{34,60,63} Além disso, estudos também sugerem haver diferenças entre os sexos em variáveis cinemática dos membros inferiores, coordenação e variabilidade de coordenação durante a corrida.^{1,62,128} Diante disso, comparar a coordenação e variabilidade da coordenação de homens e mulheres com e sem DPF pode ser uma abordagem útil para identificar marcadores específicos associados à dor e promover uma compreensão mais abrangente dessa condição.

Portanto, considerando a importância do acoplamento entre os segmentos do membro inferior, é provável que perturbações nesse sistema possam desempenhar um papel importante no desenvolvimento de lesões no membro inferior, que talvez não tenham sido esclarecidas por meio de investigações e análises tradicionais. Assim, propomos a aplicação de uma abordagem baseada na teoria dos sistemas dinâmicos para comparar a coordenação e a variabilidade de coordenação dos segmentos do membro inferior entre corredores do sexo masculino e feminino com e sem DPF.

MÉTODOS

Desenho do Estudo

Trata-se de uma análise secundária de um estudo transversal previamente publicado⁷⁸ e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (Número do Relatório de Aprovação 3.089.896).

Todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre esclarecido antes do início das coletas. As descrições metodológicas neste artigo secundário são baseadas naquelas empregadas pelo estudo original⁷⁸ que forneceu os dados.

Participantes

Esse estudo incluiu 83 corredores, sendo 43 do sexo masculino (22 com DPF e 21 sem DPF) e 40 do sexo feminino (20 com DPF e 20 sem DPF). Neste estudo, o tamanho da amostra foi o mesmo utilizado no estudo original que forneceu os dados para a presente análise.⁷⁸

Os critérios de inclusão, como descrito previamente,⁷⁸ foram: corredores de ambos os sexos, com idades entre 18 e 35 anos, que corriam pelo menos 15 km por semana nos últimos três meses, tinham experiência prévia com o uso de esteira e apresentavam um padrão natural de pisada com o retropé (RFS). O padrão de RFS foi confirmado por uma câmera qualitativa em tempo real (120 Hz) posicionada a um metro lateralmente ao pé.⁷⁸

Para os grupos com DPF, os corredores precisavam: (1) relatar dor peripatelar ou retropatelar reprodutível durante pelo menos duas das seguintes atividades, além da corrida: subir ou descer escadas, ajoelhar, agachar, permanecer sentado por tempo prolongado ou contrair o quadríceps de forma isométrica; (2) apresentar início insidioso dos sintomas; (3) relatar sintomas de DPF durante ou após o treinamento de corrida nos últimos três meses; e (4) ter a pior dor no joelho na semana anterior classificada como "3" ou superior na Escala Analógica Visual (VAS) de 10 cm, onde "0" representa nenhuma dor e "10" representa a dor mais intensa.⁷⁸

Para ambos os grupos, não foram incluídos corredores que apresentassem: (1) histórico de cirurgia no joelho; (2) lesão/dor atual na coluna, quadril ou tornozelo; (3) instabilidade patelar; (4) sinais ou sintomas de envolvimento de meniscos ou ligamentos do joelho; (5) qualquer condição neurológica que pudesse afetar o movimento.⁷⁸

Procedimentos

Todos os potenciais participantes passaram por uma avaliação feita por uma fisioterapeuta para determinar sua elegibilidade com base em critérios pré-definidos. Após a confirmação da elegibilidade, os participantes assinaram o termo de

consentimento livre esclarecido. Antes da avaliação cinemática, foram coletadas informações demográficas para caracterizar a amostra. Os corredores preencheram a Escala de Dor Anterior no Joelho (AKPS)³³ para avaliar a gravidade dos sintomas e limitações funcionais (com pontuações que variam de 0, indicando a pior condição, a 100, indicando ausência de sintomas ou restrições funcionais). Também foi registrada a pior intensidade da dor relatada na última semana, utilizando a escala VAS de 10 cm.²⁹

Análise Cinemática

A análise cinemática tridimensional dos segmentos fêmur, tíbia e pé durante a corrida em uma esteira ergométrica (modelo LX 160 GIII, *Movement*) foi registrada a 240 Hz (utilizando o sistema de captura de movimento *Qualisys, Qualisys Medical-AB*, Suécia, com 7 câmeras). O pesquisador forneceu um tênis de corrida neutro (*Asics Gel-Equation 5, ASICS, Kobe*, Japão) para todos os participantes, que usaram camiseta ou top (para mulheres) e shorts durante a coleta de dados. Dezesesseis marcadores anatômicos passivos refletivos, com diâmetro de 14 mm, foram colocados em pontos específicos de cada participante, seguindo um modelo modificado de Helen-Hayes,¹²⁰ conforme descrito anteriormente.⁷⁸ A coleta de dados foi realizada no membro inferior afetado, em caso de sintomas unilaterais, ou no membro mais afetado (com maior dor autorrelatada), em caso de sintomas bilaterais.⁹⁵ Para os corredores assintomáticos, foi avaliado o membro inferior dominante, determinado pela resposta à pergunta sobre qual perna eles usariam para chutar uma bola o mais longe possível.¹⁴⁴

Uma coleta estática, com o participante em pé na posição neutra, foi realizada a fim de alinhá-lo com o sistema de coordenadas global (laboratório) e determinar a referência para a análise cinemática a ser realizada. Para a coleta de dados, os participantes realizaram um aquecimento na esteira a uma velocidade constante de 4,5 km/h durante cinco minutos. Após o aquecimento, foi feito um período de familiarização de 5 minutos, no qual os participantes correram na velocidade autosselecionada (determinada com base no nível de conforto de cada participante, que foi orientado a escolher um *pace* (minutos por quilômetro) adequado para uma corrida fácil de 20 minutos). Essa velocidade poderia ser ajustada a pedido do participante durante o período de 5 minutos. Em seguida, foi realizado o teste de corrida, na velocidade preferida, durante dois minutos, e foram registrados pelo menos 30 passos consecutivos do membro inferior afetado/avaliado.⁷⁸

Redução de Dados

Dez passos consecutivos para cada participante foram usados para avaliar as diferenças de coordenação e variabilidade de coordenação entre os grupos. O *Visual 3D software* (C-Motion Inc., Rockville, EUA) foi utilizado para calcular o sistema de coordenadas articulares anatômicas. Os dados cinemáticos foram filtrados usando um filtro *Butterworth* passa-baixa de 4ª ordem, *zero-lag*, a 12 Hz. Os ângulos de Cardan foram calculados em relação ao teste estático em pé, empregando as definições do sistema de coordenadas das articulações recomendadas pela Sociedade Internacional de Biomecânica.^{56,149} Os centros das articulações do tornozelo e do joelho foram determinados como o ponto médio entre os maléolos medial e lateral e entre os epicôndilos medial e lateral, respectivamente. O centro da articulação do quadril foi estimado como um ponto tridimensional no sistema de coordenadas anatômica da pelve, localizado a ¼ da distância ao longo de uma linha que une os marcadores dos trocânteres maiores do fêmur ipsilateral e contralateral, durante um ensaio estático em pé.^{46,93,142} Os movimentos do fêmur, tibia e pé foram calculados em relação ao sistema de coordenadas global (baseado no laboratório).

Os dados cinemáticos foram analisados durante as fases de apoio e balanço da corrida. A análise para determinar as variáveis cinemáticas de interesse e identificar o contato inicial e o *toe-off* foi realizada usando um programa personalizado no *Matlab* (*Mathworks, Natick, MA*). O contato inicial foi identificado como o ponto no qual o marcador do calcâneo se moveu da velocidade positiva para negativa na direção anteroposterior,¹⁵² e o *toe-off* foi determinado pelo segundo pico de extensão do joelho.⁴⁵

As análises de coordenação e variabilidade de coordenação para os segmentos fêmur-tíbia-pé foram realizadas usando o modelo matemático *Vector Coding* para quantificar o acoplamento entre os segmentos para cada participante durante todo o ciclo de movimento.^{57,60,61,91,123} Essa técnica transforma o movimento de cada segmento relativo a outro em uma sequência de vetores, representando a relação angular ao longo de toda a série temporal.¹³¹ Usando essa abordagem, a relação entre os segmentos é descrita por meio de um ângulo de acoplamento, que captura a interação entre os segmentos ao longo do ciclo de movimento.^{123,131} Além disso, a variabilidade global da coordenação em todos os ciclos é expressa pelo Coeficiente Médio de Correspondência (ACC, *average coefficient of correspondence*).¹³¹ O ACC quantifica a variação geral na

relação ângulo-ângulo ao longo do ciclo. Valores altos de ACC, mais próximos de 1, indicam forte convergência angular entre os segmentos, sinalizando movimento sincronizado ou coordenado. Em contrapartida, valores baixos de ACC, mais próximos de 0, sugerem menor convergência, destacando uma relação mais dessincronizada entre os segmentos durante o movimento. Para avaliar a consistência nos padrões de coordenação entre os ciclos, foi calculado o parâmetro r , conforme descrito por Celestino et al.¹⁸ Essa métrica avalia a similaridade dos padrões de coordenação entre os ciclos, fornecendo uma medida da variabilidade inter-ciclos. Valores de r mais próximos de 1 indicam alta consistência nos padrões de coordenação, com a mesma estratégia de movimento sendo repetida entre os ciclos. Em contraste, valores mais próximos de 0 sugerem maior variabilidade entre os ciclos, refletindo mudanças na estratégia de coordenação ou interações de segmentos menos previsíveis. No estudo de Celestino et al.,¹⁸ o valor de r foi utilizado para analisar a variabilidade da coordenação ao longo de múltiplos ciclos, revelando informações sobre a estabilidade ou adaptabilidade dos padrões de coordenação. Especificamente, valores mais altos de r demonstraram que os participantes mantiveram padrões consistentes de coordenação, enquanto valores mais baixos indicaram maior variabilidade, o que pode sugerir adaptações à tarefa ou demandas ambientais. Em resumo, a combinação de ACC e r oferece uma compreensão abrangente tanto da sincronização geral entre os segmentos quanto da consistência desses padrões ao longo dos ciclos de movimento. Altos valores para ambos os parâmetros refletem uma coordenação forte e estável, enquanto valores mais baixos indicam movimento mais variável ou menos coordenado.

As variáveis cinemáticas de acoplamento de interesse foram: (I) rotação medial/lateral do fêmur e eversão/inversão do pé, (II) abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé, e (III) flexão/extensão do fêmur e flexão/extensão da tíbia. Esses acoplamentos foram determinados com base em estudos publicados anteriormente na área.^{13,34,60,63}

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software SPSS versão 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, EUA). Foram conduzidas seis análises de ANCOVA 2x2 para as variáveis coordenação (ACC) e variabilidade de coordenação (r), com o sexo (masculino e feminino) e condição (com e sem DPF) como fatores, controlando as covariáveis

velocidade de corrida autosseleccionada e experiência em corrida (uma vez que essas variáveis podem influenciar a variável dependente). Análises post-hoc de Bonferroni foram realizadas quando necessário, e a significância foi ajustada para múltiplas comparações, com o nível de significância estabelecido em $\alpha < 0,05$. O tamanho de efeito reportado é o eta-quadrado parcial (η^2p).

Além disso, realizamos análises qualitativa dos gráficos ângulo-ângulo para a coordenação entre os segmentos analisados.

RESULTADOS

As características demográficas e clínicas dos 83 corredores incluídos no estudo estão apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Características demográficas e clínicas dos participantes (média (DP))

| | Homens com DPF (n = 22) | Homens sem DPF (n = 21) | Mulheres com DPF (n = 20) | Mulheres sem DPF (n = 20) |
|---|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Idade (anos) | 28,3 (4,5) | 28,5 (4,8) | 27,4 (3,4) | 27,2 (6,3) |
| Massa corporal (kg) | 80,1 (11,4) | 79,2 (11,5) | 61,1 (7,3) | 60,6 (10,8) |
| Altura (m) | 1,8 (0,1) | 1,7 (0,1) | 1,7 (0,04) | 1,6 (0,1) |
| IMC (kg/m²) | 25,3 (2,5) | 24,5 (2,6) | 22,1 (2,3) | 22,6 (2,5) |
| Experiência em corrida (anos) | 2,5 (2,3) ^a | 4,7 (3,2) ^a | 1,6 (1,7) ^b | 4,4 (5,1) ^b |
| Distância semanal de corrida (Km) | 22,5 (5,8) ^a | 39,7 (20,8) ^a | 20,1 (8,4) ^b | 28,5 (12,7) ^b |
| Velocidade de corrida autosseleccionada (Km/h) | 9,6 (1,3) | 10,1 (1,5) | 8,1 (0,8) ^b | 9,1 (0,9) ^b |
| Duração dos sintomas (meses) | 14,3 (15,9) | N/A | 14,5 (17,6) | N/A |
| AKPS (0 – 100) | 78,4 (8,0) | N/A | 79,3 (9,1) | N/A |
| EVA | 4,4 (1,2) | N/A | 4,8 (1,5) | N/A |

Abreviações: DPF, dor patelofemoral; n, número absoluto; kg, quilogramas; m, metro; IMC, índice de massa corporal; Kg/m², quilogramas por metro quadrado; Km, quilômetros; km/h, quilômetros por hora; AKPS, Escala de Dor Anterior no Joelho, EVA, escala visual analógica; N/A, não avaliado. ^a denota diferença estatística entre homens com e sem DPF; ^b denota diferença estatística entre mulheres com e sem DPF.

A **Tabela 2** apresenta as estatísticas descritivas para os valores médios de coordenação e variabilidade de coordenação para cada grupo.

Tabela 2. Resultados do ACC (*Average Coefficient of Correspondence*, a coordenação) e r (variabilidade de coordenação) para todos os grupos e acoplamentos.

| ACC (coordenação) | | | | |
|--|----------------|----------------|------------------|------------------|
| | Homens com DPF | Homens sem DPF | Mulheres com DPF | Mulheres sem DPF |
| RM/RL do fêmur e eversão/inversão do pé | ,848 (,042) | ,817 (,050) | ,832(,038) | ,852 (,053) |
| Abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé | ,832(,040) | ,786(,046) | ,816 (,039) | ,818 (,063) |
| Flexão/extensão do fêmur e tibia | ,994(,004) | ,990(,005) | ,991(,006) | ,992 (,005) |
| r (variabilidade de coordenação) | | | | |
| | Homens com DPF | Homens sem DPF | Mulheres com DPF | Mulheres sem DPF |
| RM/RL do fêmur e eversão/inversão do pé | ,130 (,122) | ,159 (,099) | ,140 (,137) | ,138 (,068) |
| Abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé | ,110 (,124) | ,134 (,061) | ,139 (,193) | ,116 (,067) |
| Flexão/extensão do fêmur e tibia | ,071 (,078) | ,111 (,059) | ,078 (,052) | ,089 (,052) |

Abreviações: DPF, dor patelofemoral; RM, rotação medial; RL, rotação lateral

Coordenação

Os resultados da ANCOVA mostraram uma interação significativa entre sexo e condição na coordenação para o acoplamento entre rotação medial/lateral do fêmur e eversão/inversão do pé ($F(1, 77) = 6,668$, $p = 0,012$, η^2 parcial = 0,080). A análise *post hoc* indicou diferença significativa entre homens e mulheres sem DPF, com as mulheres apresentando valores de ACC mais altos do que os homens ($p = 0,018$; IC95% para a diferença = 0,006; 0,065). Isso mostra que as mulheres sem dor apresentaram movimentos mais coordenados do que os homens sem dor. A **Figura 1** apresenta o gráfico ângulo-ângulo para esse acoplamento. As principais diferenças são observadas durante o contato inicial até a fase de resposta à carga e do balanço médio até o contato subsequente do pé. No contato inicial do pé, as mulheres exibem maior RM do fêmur e maior contribuição do fêmur (segmento proximal) em comparação aos homens. Isso é acompanhado pela inversão do pé em ambos os grupos, com valores semelhantes. Embora nenhum dos grupos alcance níveis altos de eversão do pé, ambos tendem a se mover nessa direção. No entanto, os homens tendem a fazer esse movimento mais rapidamente do que as mulheres,

mostrando que seu padrão é guiado principalmente pelo pé (segmento distal), com mínima participação femoral. Na fase de resposta à carga até o balanço médio, os homens demonstram maior contribuição femoral em comparação às mulheres, e ambos subsequentemente retornam a excursão para a inversão do pé à medida que o membro se prepara para o próximo contato. Contudo, as mulheres apresentam um retorno à inversão mais lento em relação aos homens.

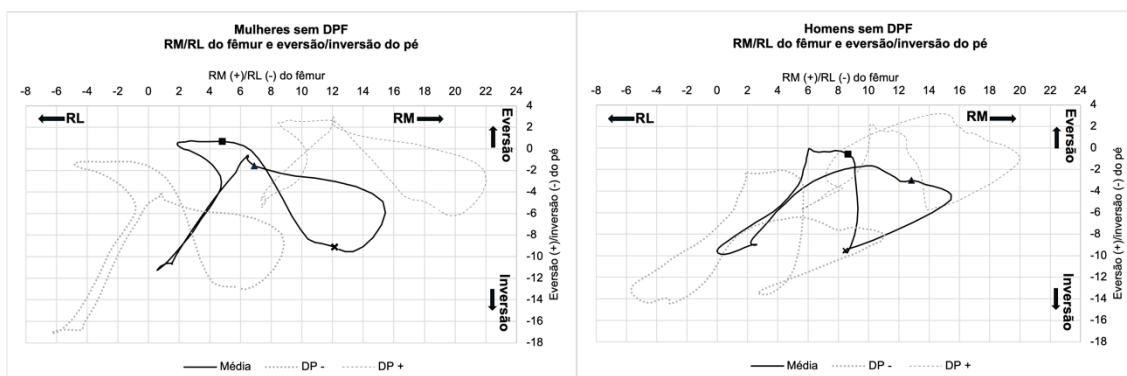


Figura 1. Gráfico ângulo-ângulo para o acoplamento entre rotação medial/lateral do fêmur e eversão/inversão do pé em mulheres e homens sem DPF. Símbolos: x representa o contato inicial; quadrado: resposta à carga e triângulo: balanço médio.

Para o acoplamento entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé, encontramos uma interação significativa entre sexo e condição ($F(1, 77) = 6,013, p = 0,016, \eta^2 \text{ parcial} = 0,072$). A análise *post hoc* indicou diferenças significativas entre homens e mulheres sem DPF, com as mulheres sem dor apresentando valores de ACC mais altos (movimentos mais coordenados) do que os homens sem DPF ($p = 0,044$; IC95% para a diferença = 0,001; 0,061). A análise *post hoc* também identificou diferenças significativas entre homens com e sem DPF, com aqueles com dor apresentando valores de ACC mais altos – movimentos mais coordenados – do que aqueles sem DPF ($p = 0,012$; IC95% para a diferença = 0,008; 0,066).

A **Figura 2** apresenta o gráfico ângulo-ângulo do acoplamento entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé de homens e mulheres sem dor. Esse acoplamento destaca diferenças importantes nos padrões de coordenação entre homens e mulheres sem dor, especialmente na contribuição de segmentos individuais. Do contato inicial até a resposta à carga, as mulheres exibem uma linha vertical quase reta, indicando uma contribuição predominante do pé. Em contraste, da resposta à carga até o balanço médio, o componente femoral desempenha um papel mais significativo para as mulheres,

com alguns momentos mostrando ausência de mudanças na contribuição do componente do pé. Os homens, por outro lado, tendem a depender mais consistentemente de ambos os segmentos ao longo do movimento. Esse contraste – em que as mulheres frequentemente dependem quase exclusivamente de um único segmento – pode sugerir que os homens apresentam uma estratégia de coordenação proximal-distal mais eficaz.

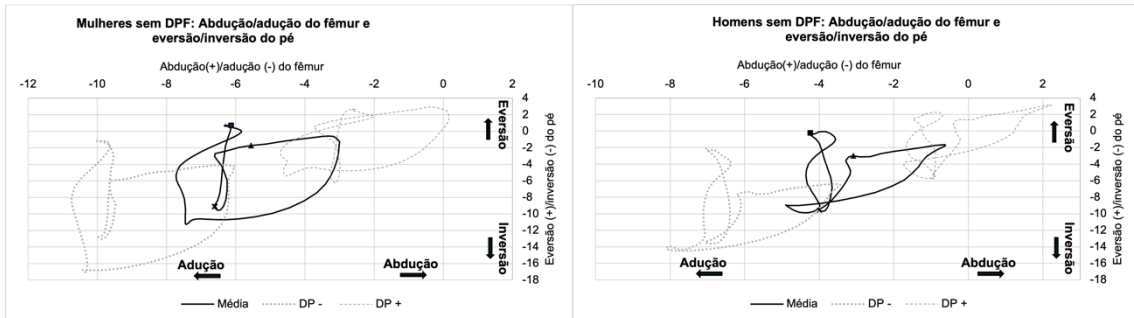


Figura 2. Gráfico ângulo-ângulo para o acoplamento entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé em mulheres e homens sem DPF. Símbolos: x representa o contato inicial; quadrado: resposta à carga e triângulo: balanço médio.

A **Figura 3** apresenta o gráfico ângulo-ângulo para o acoplamento entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé em homens com e sem dor. Interessantemente, os padrões de movimento observados em homens com DPF se assemelham aos apresentados por mulheres sem DPF.

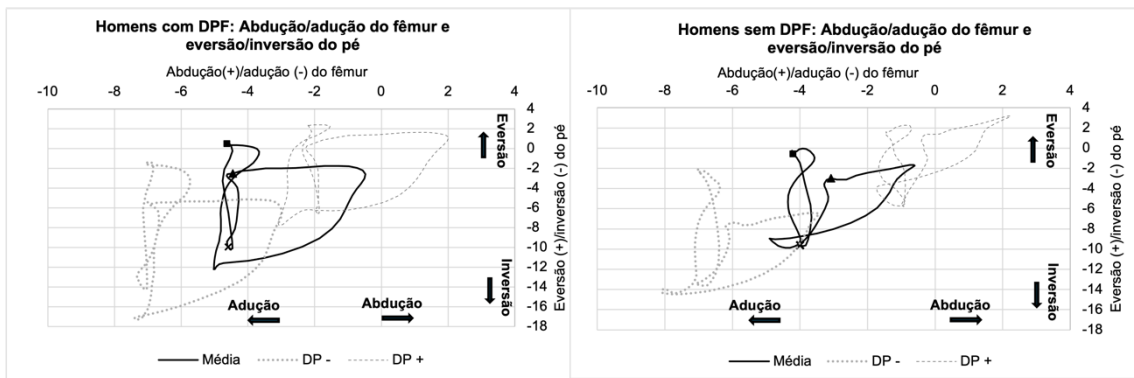


Figura 3. Gráfico ângulo-ângulo para o acoplamento entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé em homens com e sem DPF. Símbolos: x representa o contato inicial; quadrado: resposta à carga e triângulo: balanço médio.

Para o acoplamento entre flexão/extensão do fêmur e da tíbia, o modelo geral não mostrou interações ou efeitos principais significativos ($p > 0,05$). No entanto, o teste *post hoc* revelou diferença significativa entre homens com e sem DPF, com aqueles com DPF

apresentando valores de ACC mais altos – movimentos mais coordenados – do que aqueles sem DPF ($p = 0,032$; IC95% para a diferença = 0,000; 0,007), indicando que, embora não tenhamos encontrado uma diferença significativa global, certas comparações específicas entre os grupos mostraram diferenças relevantes. A **Figura 4** apresenta o gráfico ângulo-ângulo para esse acoplamento. Homens com e sem DPF exibem padrões muito semelhantes de flexão/extensão do fêmur e da tíbia durante a corrida. Isso pode sugerir que, para essa população, diferenças na contribuição relativa de cada segmento e movimentos em outros planos podem ser mais significativas do que o movimento no plano sagital.

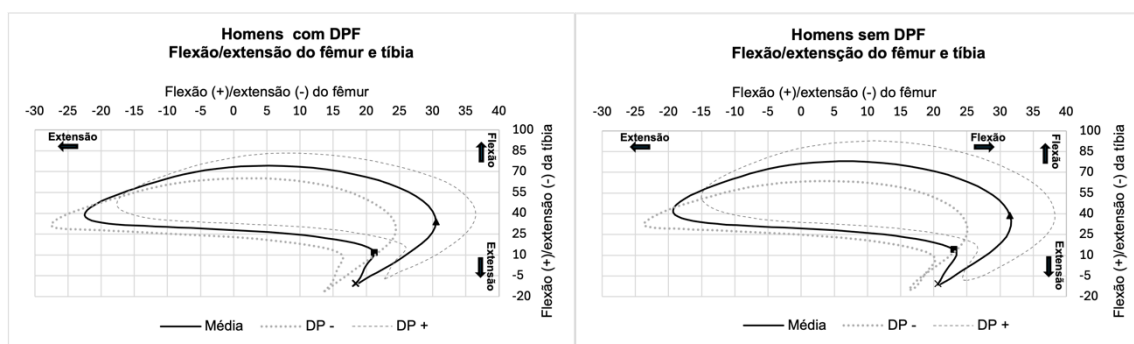


Figura 4. Gráfico ângulo-ângulo para o acoplamento entre flexão/extensão do fêmur e tíbia em homens com e sem DPF. Símbolos: x representa o contato inicial; quadrado: resposta à carga e triângulo: balanço médio.

Variabilidade de coordenação

Para o acoplamento entre flexão/extensão do fêmur e da tíbia, o modelo geral não mostrou interações ou efeitos principais significativos ($p > 0,05$). No entanto, o teste *post hoc* revelou diferença significativa entre homens com e sem DPF, com aqueles com DPF apresentando valores de r mais baixos do que aqueles sem DPF ($p = 0,043$; IC95% para a diferença = 0,001; 0,078). Os valores mais baixos indicam maior variabilidade de coordenação para homens com dor.

A ANCOVA não revelou outras interações ou efeitos principais significativos na análise da variabilidade de coordenação para nenhum dos outros acoplamentos analisados.

DISCUSSÃO

Nossos achados contribuem para o corpo de evidências existente sobre o uso da teoria dos sistemas dinâmicos, que tem sido aplicada no estudo de condições musculoesqueléticas por sobrecarga.^{60,61} Essa teoria preconiza a avaliação da coordenação e de sua variabilidade entre segmentos acoplados, fornecendo uma medida mais abrangente da mecânica articular, ao invés de apenas quantificar variáveis biomecânicas discretas.⁶⁰

Diferenças significativas foram observadas nos padrões de coordenação entre homens e mulheres sem DPF para os acoplamentos entre rotação medial/lateral do fêmur e eversão/inversão do pé, e entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé. Além disso, homens com e sem DPF apresentaram padrões distintos para os acoplamentos entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé, e entre a flexão/extensão do fêmur e da tíbia. De forma geral, homens sem DPF exibiram padrões que podem ser considerados como tendo uma coordenação proximal-distal mais eficaz em comparação às mulheres sem DPF e aos homens com DPF. Variações nesses padrões de coordenação podem impactar a capacidade de absorção de impacto durante a corrida e aumentar a carga repetitiva em estruturas vulneráveis.

A coordenação entre os segmentos proximal (fêmur) e distais (tornozelo e pé) desempenha um papel crítico na biomecânica do membro inferior, especialmente na atenuação de impacto e absorção de forças durante as fases de contato inicial e resposta à carga na marcha.^{36,94,111,127} Uma análise visual qualitativa dos gráficos ângulo-ângulo comparando o acoplamento entre rotação medial/lateral do fêmur e a eversão/inversão do pé em homens e mulheres sem DPF revelou padrões distintos. Do contato do pé até a resposta à carga, as mulheres apresentam maior contribuição femoral com uma progressão mais lenta em direção à eversão do pé, enquanto os homens exibem uma excursão mais rápida em direção à eversão. Esse padrão nas mulheres pode indicar um controle proximal-distal reduzido ou um acoplamento retardado entre os movimentos do fêmur e do pé. Tipicamente, o pé e a articulação subtalar fazem uma transição rápida de uma posição invertida no contato do calcanhar para a eversão durante a fase inicial de apoio, facilitando a transmissão de forças rotacionais entre o pé e a perna.³⁷ Nas mulheres, uma maior contribuição femoral (especialmente na excursão de rotação medial), sem uma compensação proporcional da eversão do pé pode aumentar o estresse na articulação

patelofemoral, já que a rotação medial excessiva do fêmur não é adequadamente contrabalançada por ajustes distais. Assim, as forças no contato do pé poderiam então ser absorvidas abruptamente por outras estruturas, potencialmente levando a um estresse excessivo.⁵⁸ Da resposta à carga até a fase de balanço, os homens apresentam maior contribuição femoral do que as mulheres a medida que o membro inferior se prepara para o próximo contato do pé. Perto do contato do pé, essa contribuição femoral nos homens é sincronizada com os movimentos distais, à medida que o pé transita de volta para a inversão em preparação para o próximo contato. Essa sincronização sugere que os homens utilizam uma estratégia mais antecipatória entre os segmentos proximal e distal, permitindo transições mais suaves entre as fases de balanço e apoio. Tal coordenação provavelmente melhora a eficiência da absorção de impacto e a distribuição das forças.

Para o acoplamento entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé, observamos diferenças entre homens e mulheres sem DPF. As mulheres dependem predominantemente de um dos segmentos durante diferentes fases do ciclo, enquanto os homens demonstram contribuições mais consistentes de ambos os segmentos. As transições do contato inicial para o apoio médio, e do apoio final para o balanço envolvem mudanças de coordenação impulsionadas por rápidas alterações na posição das articulações e segmentos.⁶³ Enquanto os homens exibem mudanças sincronizadas, as mulheres mostram uma estratégia de coordenação menos sincronizada e menos antecipatória. Além disso, as mulheres tendem a exibir um maior intervalo de excursão na adução do fêmur ao longo do ciclo. A adução excessiva do fêmur nas mulheres, frequentemente associada a um padrão dinâmico de valgo no joelho,^{12,109} pode aumentar a carga nas estruturas do joelho, particularmente durante o contato do pé e a fase de resposta à carga — um fator comumente associado à DPF nas mulheres.^{12,103,109} Em nossa amostra, enquanto as mulheres demonstram uma progressão em direção à eversão do pé, esse movimento foi acompanhado por uma maior excursão femoral em adução, um padrão que pode predispor a um aumento do estresse no joelho ao longo do tempo. Curiosamente, os padrões de movimento observados em mulheres sem DPF para o acoplamento entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé se assemelham aos exibidos pelos homens com DPF no presente estudo. Essa semelhança pode sugerir que tal padrão está associado à presença de DPF.

Por fim, para o acoplamento entre flexão/extensão do fêmur e flexão/extensão da tíbia, homens com e sem DPF exibiram padrões muito semelhantes, sugerindo que as diferenças nas contribuições relativas de cada segmento e os movimentos em outros planos podem ser mais relevantes do que o movimento no plano sagital para essa população. No entanto, este foi o único acoplamento onde encontramos diferenças na variabilidade de coordenação. Corredores do sexo masculino com DPF apresentaram maior variabilidade de coordenação em comparação aos seus pares sem dor. Especulamos que essa maior variabilidade possa servir como um mecanismo compensatório para mitigar padrões dolorosos e reduzir as cargas sobre joelho, já que a flexão combinada do fêmur e da tíbia (ângulo de flexão do joelho) influenciam a carga articular.^{34,38} Estudos anteriores sugerem que uma maior variabilidade de coordenação pode ser interpretada como uma resposta adaptativa às demandas ambientais ou relacionadas à tarefa, particularmente em indivíduos com dor.^{60,63} Além disso, um estudo anterior, embora utilizando métodos de análises diferentes para calcular a coordenação e variabilidade de coordenação, também relatou maior variabilidade para acoplamentos envolvendo a flexão do joelho.³⁴ Outra explicação possível para esses achados é a influência da experiência em corrida. Corredores sem DPF tinham mais experiência do que aqueles com dor, sugerindo que os anos de prática podem levar ao desenvolvimento padrões de corrida mais confortáveis, eficientes e estáveis, que otimizam o movimento e reduzem os custos energéticos..¹⁴⁵

Contrariamente à nossa hipótese e de alguns estudos anteriores nessa área, que relatam menor variabilidade de coordenação para indivíduos com dor durante a corrida,^{59,60,63} não encontramos tais diferenças para os acoplamentos analisados neste estudo. As discrepâncias entre nossos achados e os de estudos anteriores,^{59,60,63} apesar de todos envolverem avaliação durante a corrida e critérios de inclusão semelhantes para a DPF, podem ser atribuídas a diferenças metodológicas. Essas diferenças incluem variações na abordagem de análise de dados (por exemplo, análise de intervalos específicos durante a fase de apoio), o uso de diferentes técnicas estatísticas, como a análise de Fase Relativa Contínua (*Continuous Relative Phase – CRP*), além de tamanhos amostrais menores combinados com um número maior de análises em pesquisas anteriores.

Nossos achados têm implicações práticas significativas para o manejo clínico de corredores com DPF. As diferenças observadas na contribuição do segmento proximal (fêmur) indicam que focar nesse segmento pode ser uma boa abordagem. A musculatura do quadril desempenha um papel importante no controle dos movimentos nos planos transversal e frontal do fêmur,¹² e alguns estudos demonstraram alterações na atividade muscular e força do quadril (especialmente dos rotadores laterais e abdutores), o que poderia ajudar a explicar a incapacidade de manter as articulações do quadril e do joelho em posição neutra, o que pode resultar em maior excursão medial nas articulações do quadril e do joelho (adução e rotação medial do quadril e valgo no joelho).^{2,12,15,17,26,108} Portanto, precisamos de intervenções que promovam variabilidade adaptativa sem comprometer a eficiência biomecânica. Programas de treinamento focados em melhorar a adaptabilidade a diferentes condições, como exercícios de variabilidade controlada ou treinamento biomecânico, podem ser estratégias eficazes para prevenir a progressão da dor e melhorar a funcionalidade.

Nossos resultados devem ser interpretados no contexto das limitações do estudo. Primeiro, devido à natureza transversal do estudo, não é possível fazer inferências causais. Além disso, não investigamos separadamente as fases de apoio e balanço da corrida, o que poderia ter mostrado padrões/resultados diferentes. O uso dos mesmos tênis de corrida padronizados para todos os participantes, na tentativa de mitigar os fatores de confusão associados ao calçado, pode ter influenciado a variabilidade dos acoplamentos segmentares, especialmente entre participantes que não estavam acostumados com os sapatos.

CONCLUSÃO

Encontramos diferenças significativas nos padrões de coordenação entre homens e mulheres sem DPF para os acoplamentos entre rotação medial/lateral do fêmur e eversão/inversão do pé, bem como entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé. Além disso, encontramos diferenças entre homens com e sem DPF para os acoplamentos entre abdução/adução do fêmur e eversão/inversão do pé, e flexão/extensão do fêmur e da tíbia. De forma geral, os homens sem DPF exibiram padrões de coordenação que sugerem uma coordenação proximal-distal mais eficaz quando

comparados às mulheres sem DPF e aos homens com DPF. A única diferença na variabilidade de coordenação foi observada no acoplamento entre flexão/extensão do fêmur e da tíbia, onde corredores do sexo masculino com DPF exibiram maior variabilidade de coordenação do que aqueles sem dor. Esse último achado contradiz a teoria proposta de que uma menor variabilidade de coordenação está associada a um estado patológico durante a corrida.

4.3 Artigo 3

Mudanças no desempenho do teste clínico de subir degrau em pacientes com dor patelofemoral estão associadas a mudanças em medidas de desfechos autorrelatados três meses após o tratamento

Eliane de Moraes Machado^{a,b}, Mark Matthews^c, Michael Skovdal Rathleff^d, Fábio Viadanna Serrão^a, Bill Vicenzino^b

^a Department of Physiotherapy Federal University of de São Carlos (UFSCar), São Carlos, Brazil.

^b University of Queensland School of Health and Rehabilitation Sciences: Physiotherapy, The University of Queensland, QLD, Australia.

^c Ulster University, School of Life and Health Sciences, Sport and Exercise Sciences Research Institute, Ulster University, Newtownabbey, Antrim, United Kingdom.

^d Department of Health Science and Technology, Aalborg University, Denmark & Department of Physiotherapy and Occupational Therapy, Aalborg University Hospital, Denmark.

Esse artigo está em fase de finalização de revisão pelos autores, e será submetido ao periódico *Brazilian Journal of Physical Therapy*.

RESUMO

Introdução: Os testes clínicos para dor patelofemoral (DPF), como agachamento e subida e descida de degrau, são comumente usados na clínica, apesar de sua relação com as medidas de desfechos autorrelatados pelos pacientes (PROMs) ser desconhecida.

Objetivo: Investigar como mudanças nos testes clínicos de agachamento e subida/descida de degrau estão associadas com mudanças em PROMs em indivíduos com DPF.

Métodos: Esta análise secundária utilizou dados de um ensaio clínico randomizado (N=218) que comparou os resultados em um acompanhamento 12 semanas após o tratamento (órteses para os pés ou um programa de exercícios para o quadril de 6 semanas) em indivíduos com DPF. Os participantes realizaram três testes clínicos: agachamento e subida e descida de degrau. Os desfechos de interesse foram a *Anterior Knee Pain Scale* (AKPS), o *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scale* (KOOS), e a *Global Rating of Change* (GROC). Regressões multivariadas utilizando as mudanças na pontuação/desempenho nos testes clínicos (diferença entre a medida no acompanhamento final e a avaliação inicial), e uma regressão logística binária (*GROC* dicotomizada) foram utilizadas para investigar se as mudanças no número de repetições sem dor nos testes clínicos estavam associadas às mudanças nos PROMs. O nível de significância estatística foi estabelecido em $\alpha = 0,05$.

Resultados: Os dados de 157 participantes foram incluídos nessa análise. Encontramos uma associação positiva entre as mudanças nos escores dos testes clínicos e os PROMs, com variâncias explicadas entre 11 e 30%. O teste de subida de degrau foi o mais fortemente associado com os PROMs. Por outro lado, o teste de agachamento não foi associado com os PROMs.

Conclusão: Nossos resultados indicam que melhorias nos testes clínicos de degraus ao longo de 12 semanas estão de forma fraca a moderadamente associadas a melhorias nos desfechos autorrelatados em indivíduos com DPF. Esses achados apoiam o uso dos testes de subida de degrau na prática clínica para monitorar o progresso do tratamento em indivíduos com DPF.

Palavras-chave: dor anterior no joelho, avaliação clínica, função, reabilitação

INTRODUÇÃO

A dor patelofemoral (DPF) é uma das disfunções musculoesqueléticas mais comuns, afetando uma em cada quatro pessoas jovens e adultas.¹²⁵ O prognóstico nem sempre é favorável, com mais de 50% dos indivíduos relatando a persistência da dor por mais de 5 anos após o diagnóstico.⁷¹ A DPF impacta negativamente as atividades diárias, as atividades físicas, provoca o abandono da prática esportiva, além de reduzir a qualidade de vida.¹¹⁵

A DPF é uma condição com diagnóstico clínico, caracterizada por dor de início não traumático e difusa no aspecto anterior do joelho, agravada por atividades que aumentam o estresse na articulação patelofemoral.³¹ As atividades mais frequentemente relatadas como dolorosas nessa condição incluem agachamento, subir e descer escadas, e permanecer sentado e/ou ajoelhado por longos períodos.^{31,146} Os clínicos costumam utilizar essas atividades que provocam dor durante a avaliação clínica e as monitorá-las ao longo do tratamento.^{76,84,143,151} No entanto, embora o uso desses testes clínicos seja amplamente empregado, o guia de recomendações sobre medidas de desfecho e forma de reportar pesquisa clínica em estudos sobre DPF (*REPORTing of quantitative PatelloFemoral Pain studies, REPORT-PFP*)⁷ não inclui essas atividades definidoras da condição. O *REPORT-PFP*⁷ recomenda o uso de uma medida de intensidade da dor e um desfecho autorrelatado específico para a condição, sugerindo a *Anterior Knee Pain Scale (AKPS)*/*Kujala Patellofemoral Scale*⁶⁹ e a *Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score Patellofemoral subscale (KOOS-PF)*.³⁰

Apesar de serem amplamente utilizados na avaliação da DPF, a relação entre os testes agachamento e de subida e descida de degrau e os PROMs ainda não está clara. Compreender se esses testes clínicos estão alinhados com as melhorias relatadas pelos pacientes ajudaria os clínicos a integrá-los de forma mais eficaz nos protocolos de monitoramento. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi investigar como mudanças nos testes clínicos de agachamento e subida e descida de degrau se relacionam com mudanças nos PROMs em pacientes com DPF.

MÉTODOS

Desenho do estudo

Este estudo é uma análise secundária de dados de um ensaio clínico randomizado previamente publicado,^{83,84} que investigou os resultados de uma intervenção (tratamento órteses para os pés ou realizaram um programa de exercícios focados no quadril, com duração de 6 semanas), em um período de acompanhamento de 12 semanas após o término da intervenção, em indivíduos com DPF.

Participantes

Como descrito no artigo do protocolo do estudo original,⁸⁴ os voluntários foram recrutados em Brisbane (Austrália) e Aalborg (Dinamarca) e selecionados com base nos seguintes critérios de elegibilidade: idade entre 18 e 40 anos; dor anterior, retro ou peripatelar de início insidioso, agravada por pelo menos duas atividades que exercem carga na articulação patelofemoral (subir/descer escadas, agachamento, corrida, permanecer sentado por longos períodos); pior dor autorrelatada de pelo menos 3/10 em uma escala de classificação numérica (0 indicando ausência de dor e 10 indicando a pior dor imaginável) na semana anterior; sintomas com duração mínima de 6 semanas. Critérios adicionais durante o exame físico incluíram dor à palpação das bordas da patela, durante a compressão da patela no sulco troclear, e um teste de descida de degrau (degrau de 25 cm) e agachamento bipodal.⁸⁴

Os critérios de não inclusão foram: início dos sintomas relacionados a trauma, lesões ou patologias concomitantes envolvendo outras estruturas do joelho; histórico de cirurgia significativa no joelho ou membros inferiores; luxação ou subluxação patelar; doença de Osgood-Schlatter, síndrome de Sinding-Larsen-Johansson; teste de apreensão patelar positivo; ou evidência de derrame na articulação do joelho. Também não foram incluídos voluntários com qualquer condição no pé que impedisse o uso de órteses; dor originada no quadril, pelve ou coluna lombar; uso atual de medicamentos anti-inflamatórios ou corticosteroides (incluindo injeções); ou tratamento prévio para DPF ou outras condições que envolvessem exercícios para o quadril ou uso de órteses.⁸⁴

O ensaio foi registrado prospectivamente (ACTRN12614000260628) e seguiu os princípios da Declaração de Helsinque.¹⁴⁷ A aprovação ética foi concedida pelo Comitê

de Ética em Pesquisa Médica da Universidade de Queensland (2013000981) e pelo comitê de ética na Região Norte da Dinamarca (N-20140022). Todos os participantes leram e assinaram o termo de consentimento antes de participar do estudo.

Protocolo de avaliação

Os participantes foram avaliados na linha de base e 12 semanas após a finalização do tratamento. Os dados do membro afetado foram utilizados para a análise e, em casos de sintomas bilaterais, o joelho mais sintomático foi considerado.

Testes clínicos

Os participantes realizaram os três testes clínicos na seguinte ordem estabelecida: agachamento, subida de degrau e descida de degrau.

Os agachamentos foram executados com os pés afastados na largura dos ombros, e o participante descia até conseguir tocar os maléolos laterais com os dedos das mãos. O movimento seguiu um ritmo de duas batidas para descer e duas batidas para subir, acompanhado por um metrônomo ajustado a 96 batidas por minuto.⁸⁴

Os testes de subida e descida de degrau foram realizados em um único degrau de 25 cm de altura, também em um ritmo de 96 batidas por minuto, ou seja, um movimento (subida ou descida) por batida.⁸⁴

- *Subida de degrau*: O pé do joelho sendo testado permanecia no degrau o tempo todo. No ritmo do metrônomo, o participante subia no degrau (movimento frontal). Mantendo o pé/joelho testado no degrau, o participante dava um passo para trás para retornar à posição inicial.

- *Descida de degrau*: O pé do joelho sendo testado permanecia no degrau o tempo todo. No ritmo do metrônomo, o participante descia, tocando o calcanhar do pé no chão à frente do degrau. Mantendo o pé/joelho testado no degrau, o participante dava um passo para trás para retornar à posição inicial.

Os critérios de interrupção para os três testes foram: ao primeiro sinal de dor anterior no joelho (em casos sem dor em repouso antes do teste); aumento na dor pré-existente (em casos de dor constante); ou quando o participante atingisse um máximo de 25 repetições sem dor no teste.⁸⁴ Assim, esses testes são classificados como testes de limiar de dor (*pain threshold tests*), e não como medidas de tolerância à dor ou força/resistência muscular. Esses testes clínicos têm sido amplamente utilizados em estudos prévios devido à sua associação frequente com atividades agravantes relatadas por pacientes com DPF.^{25,27,137}

Medidas de Desfecho

As medidas de desfechos autorrelatados foram a *Anterior Knee Pain Scale* (AKPS), o *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scale* (KOOS), e a *Global Rating of Change* (GROC).

AKPS é um questionário de 13 itens que avalia múltiplas atividades funcionais do joelho sob diferentes cargas, com respostas que refletem os sintomas dos indivíduos. Cada item é ponderado separadamente e, em seguida, somado, com uma pontuação total variando de 0 (incapacidade total) a 100 (função plena sem dor).^{29,84} Uma mudança de 10 pontos é considerada a diferença mínima clinicamente importante em pacientes com DPF.²⁹ Este questionário é recomendado por ser confiável, válido, responsivo e sensível às mudanças nos sintomas dos pacientes.^{29,140,141}

O KOOS é um questionário composto por cinco subescalas (dor, sintomas, função nas atividades diárias, função esportiva/recreacional e qualidade de vida), que avalia a percepção dos indivíduos em relação aos sintomas no joelho. Cada subescala consiste em respostas padronizadas, nas quais os participantes selecionaram a resposta que melhor descrevia seus sintomas. Cada subescala foi normalizada para uma escala de 0 a 100 (0: problemas extremos, 100: sem problemas).^{84,136} Uma mudança de 8-10 pontos é considerada clinicamente significativa.¹³⁶ Este questionário apresenta boas evidências de confiabilidade e responsividade, permitindo a avaliação das mudanças do paciente ao longo do tempo.^{52,136}

A GROC é uma escala *Likert* de 7 pontos que avalia a percepção global de melhora ou piora do indivíduo em relação ao início do tratamento.⁶⁸ Após 12 semanas, os participantes foram questionados sobre sua percepção de qualquer mudança nos sintomas desde o início do estudo. A seguinte pergunta foi feita aos participantes: “Como você descreveria sua dor no joelho agora, em comparação com antes de iniciar o tratamento?” Os participantes escolheram a categoria que melhor representava sua mudança entre as opções: muito melhor, melhor, um pouco melhor, sem mudança, um pouco pior, pior e muito pior.^{68,84} As escalas de avaliação global de mudança demonstraram ser sensíveis para medir as melhorias dos pacientes em estudos anteriores que investigaram tratamentos.^{22,68,92}

Análise estatística

Foram calculadas estatísticas descritivas, e gráficos de dispersão foram usados para explorar a distribuição dos dados. As variáveis contínuas foram expressas como média e desvio padrão. As mudanças nos escores foram calculadas (diferença entre os escores no acompanhamento de 12 semanas e os da linha de base) para todos os testes clínicos (agachamento, subida e descida de degrau) e as medidas de desfecho (AKPS e KOOS), exceto para a GROC, que foi medida apenas no acompanhamento de 12 semanas. Para a análise, as respostas da GROC foram dicotomizadas, e as categorias "muito melhor" e "melhor" foram classificadas como desfecho bem-sucedido.

Realizamos uma análise de regressão multivariada para determinar se as variáveis independentes (escores de mudança nos testes clínicos) previam significativamente os resultados das variáveis dependentes (escores de mudança na AKPS e no KOOS) quando consideradas simultaneamente. O modelo foi ajustado utilizando a soma dos quadrados do Tipo III. Para avaliar o efeito geral das variáveis independentes sobre o conjunto de variáveis dependentes, foram realizados testes multivariados (*Wilks's Lambda*) para verificar se as variáveis independentes apresentavam, coletivamente, uma associação estatisticamente significativa com as variáveis dependentes. Além da significância global, testes univariados foram realizados para avaliar os efeitos individuais de cada variável independente sobre cada variável dependente separadamente. Os coeficientes de regressão (β) foram analisados para cada associação, indicando a direção e magnitude dos efeitos. Para quantificar a importância prática dos resultados, os tamanhos de efeito foram

calculados utilizando o Eta Quadrado Parcial, que fornece uma medida da proporção da variância em cada variável dependente explicada por cada variável independente, controlando para as demais.

Uma regressão logística binária foi realizada utilizando o método de seleção condicional progressiva para investigar se a mudança no número de repetições sem dor nos testes clínicos estava relacionada à melhoria percebida dicotomizada após o tratamento (GROC). Os critérios de inclusão e exclusão para as variáveis foram definidos como $p \leq 0,05$ e $p \geq 0,10$, respectivamente. O ajuste do modelo foi avaliado utilizando o teste de *Hosmer e Lemeshow*, e a variância explicada foi avaliada usando o R^2 de *Nagelkerke*. A significância preditiva das variáveis foi determinada através do teste de *Wald*, e seu impacto foi expresso como razões de chances (Exp(B)) com intervalos de confiança de 95%. Todas as análises foram realizadas utilizando o software SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA), e a significância estatística foi definida em um nível α de 0,05.

RESULTADOS

Dos dados de 218 participantes inicialmente disponíveis, 61 foram excluídos da análise por atingirem o limite máximo de 25 repetições nos testes de agachamento, subida ou descida de degrau, tanto na linha de base quanto no acompanhamento de 12 semanas (**Figura 1**). Decidimos excluir esses participantes porque eles atingiram o número máximo de repetições estabelecido sem experimentar dor ou aumento da dor (em caso de dor em repouso) durante o teste, o que configuraria um efeito de teto. O número de participantes que alcançaram 25 repetições em cada teste foi o seguinte: apenas no teste de subida de degrau: 24; apenas no teste de descida de degrau: 3; apenas no teste de agachamento: 3; em ambos os testes de subida e descida de degrau: 18; em ambos os testes de subida de degrau e agachamento: 6; e nos três testes: 7 participantes.

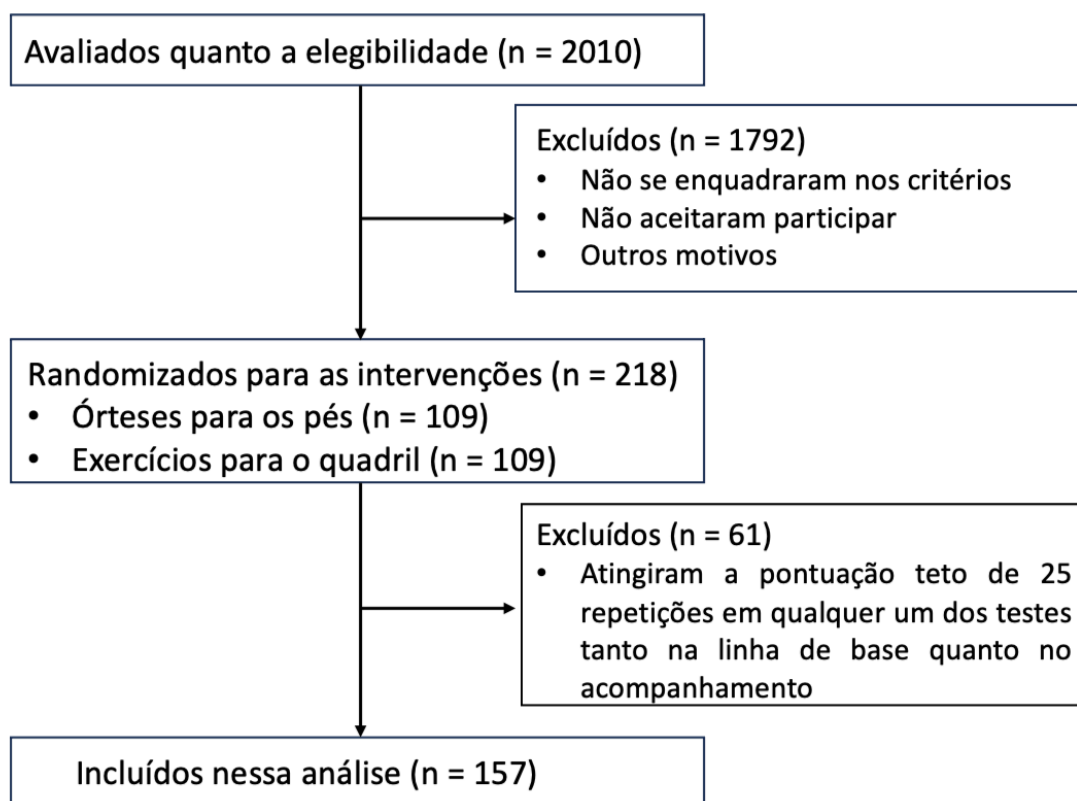


Figura 1. Fluxograma dos participantes incluídos nesta análise (adaptado do RCT original).⁸³

Dessa forma, dados dos 157 participantes restantes foram incluídos na análise. As características descritivas de toda a amostra na linha de base estão resumidas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Características da linha de base dos 157 participantes incluídos nesta análise e dos 61 que foram excluídos. Os dados estão apresentados como média (DP), a menos que especificado de outra forma.

| Características dos participantes | Incluídos na análise (n = 157) | Excluídos da análise (n = 61) |
|--|---|--|
| Sexo, n mulheres (%) | 113 (72%) | 38 (62,3%) |
| Sintomas bilaterais, n (%) | 119 (75,8%) | 27 (44,3%) |
| Joelho mais problemático, n direito (%) | 68 (43,3%) | 43 (70,5%) |
| Idade, anos | 27,5 (6,0) | 27,8 (6,0) |
| Altura, cm | 170,5 (9,7) | 173,1 (9,1) |
| Massa, kg | 74,3 (17,2) | 73,0 (14,7) |
| IMC, kg/m² | 25,5 (5,2) | 24,3 (3,8) |
| Duração dos sintomas, meses | 60,8 (66,0) | 36,0 (42,5) |

Abreviações: n, número de participantes; IMC, índice de massa corporal.

As **Tabelas 2 e 3** apresentam os resultados para a significância geral do modelo e os testes dos efeitos entre os sujeitos da análise de regressão multivariada, respectivamente. Os testes multivariados mostraram que, entre as variáveis independentes, o teste de subida de degrau apresentou um efeito significativo ($F = 2,515$, $p = 0,027$), com uma contribuição de 13,8% (Eta ao Quadrado Parcial = 0,138) sobre as variáveis dependentes. Por outro lado, o teste de descida de degrau ($F = 1,566$, $p = 0,166$) e o agachamento ($F = 1,147$, $p = 0,342$) não tiveram efeitos significativos sobre as variáveis dependentes, com valores de Eta ao Quadrado Parcial de 0,091 e 0,068, respectivamente. Isso indica que essas variáveis tiveram um impacto marginal sobre as variáveis dependentes, explicando uma menor proporção da variação.

A análise dos efeitos entre os sujeitos examinou como cada variável independente contribuiu individualmente para a variação nas variáveis dependentes. Os resultados para o modelo geral foram significativos para todas as variáveis dependentes, com variação explicada variando de 11 a 30%. O teste de subida de degrau apresentou efeitos significativos em vários resultados: nas subescalas de sintomas, dor, esporte e recreação, e qualidade de vida do KOOS. O teste de descida de degrau mostrou efeitos significativos na AKPS e na subescala Esporte e Recreação do KOOS. O teste de agachamento não apresentou efeitos significativos em nenhuma das variáveis dependentes. Tanto a análise multivariada quanto a análise dos efeitos entre os sujeitos identificaram o teste de subida de degrau como o fator mais significativo, com o maior impacto sobre o conjunto de variáveis dependentes.

Para a regressão logística binária, apenas a mudança na pontuação do teste de subida de degrau mostrou uma relação significativa com a GROC dicotomizada.

Tabela 2. Resultados Multivariados (Significância do Modelo Geral)

| Efeito | Valor | F | Graus de liberdade hipótese | Graus de liberdade erro | Sig. | Eta ao Quadrado Parcial | Poder Observado |
|-------------------|-------|-------|-----------------------------|-------------------------|------|-------------------------|-----------------|
| Intercepto | ,778 | 4,473 | 6,000 | 94,000 | ,001 | ,222 | ,980 |
| Subida de degrau | ,862 | 2,515 | 6,000 | 94,000 | ,027 | ,138 | ,817 |
| Descida de degrau | ,909 | 1,566 | 6,000 | 94,000 | ,166 | ,091 | ,578 |
| Agachamento | ,932 | 1,147 | 6,000 | 94,000 | ,342 | ,068 | ,432 |

Resultados apresentados para o teste de Wilks Lambda.

Tabela 3. Resultados para os testes dos efeitos entre os sujeitos da análise de regressão multivariada e da regressão logística binária.

| Regressão multivariada | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------|----------------|-----------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|----------|-----------------|---------------|
| Variáveis independentes | F | Sig (p) | Eta Quadrado parcial | R2 ajustado | Coef. (B) | Erro Padrão (SE) | T | Sig. (p) | IC 95% |
| AKPS | | | | | | | | | |
| Modelo corrigido | 10,345 | <,001 | ,239 | ,216 | | | | | |
| Intercepto | 14,741 | <,001 | ,130 | | 4,742 | 1,235 | 3,839 | ,000 | 2,291; 7,193 |
| Subida de degrau | 2,126 | ,148 | ,021 | | ,204 | ,140 | 1,458 | ,148 | -,073; ,481 |
| Descida de degrau | 4,159 | ,044 | ,040 | | ,283 | ,139 | 2,039 | ,044 | ,008; ,558 |
| Agachamento | 1,650 | ,202 | ,016 | | ,211 | ,164 | 1,284 | ,202 | -,115; ,537 |
| KOOS Sintomas | | | | | | | | | |
| Modelo corrigido | 5,303 | ,002 | ,138 | ,112 | | | | | |
| Intercepto | 7,121 | ,009 | ,067 | | 3,786 | 1,419 | 2,669 | ,009 | ,971; 6,601 |
| Subida de degrau | 5,497 | ,021 | ,053 | | ,376 | ,160 | 2,345 | ,021 | ,058; ,694 |
| Descida de degrau | 1,167 | ,283 | ,012 | | ,172 | ,159 | 1,080 | ,283 | -,144; ,488 |
| Agachamento | ,106 | ,745 | ,001 | | -,062 | ,189 | -,326 | ,745 | -,436; ,313 |
| KOOS Dor | | | | | | | | | |
| Modelo corrigido | 7,406 | <,001 | ,183 | ,159 | | | | | |
| Intercepto | 9,900 | ,002 | ,091 | | 5,418 | 1,722 | 3,146 | ,002 | 2,001; 8,834 |
| Subida de degrau | 5,765 | ,018 | ,055 | | ,467 | ,195 | 2,401 | ,018 | ,081; ,854 |
| Descida de degrau | ,717 | ,399 | ,007 | | ,164 | ,193 | ,847 | ,399 | -,220; ,547 |
| Agachamento | ,402 | ,527 | ,004 | | ,145 | ,229 | ,634 | ,527 | -,309; ,600 |
| KOOS Atividades de vida diária | | | | | | | | | |
| Modelo corrigido | 8,516 | <,001 | ,205 | ,181 | | | | | |
| Intercepto | 3,534 | ,063 | ,034 | | 3,222 | 1,714 | 1,880 | ,063 | -,179; 6,623 |
| Subida de degrau | 2,240 | ,138 | ,022 | | ,290 | ,194 | 1,497 | ,138 | -,094; ,675 |
| Descida de degrau | 3,666 | ,058 | ,036 | | ,369 | ,192 | 1,915 | ,058 | -,013; ,751 |
| Agachamento | ,822 | ,367 | ,008 | | ,207 | ,228 | ,906 | ,367 | -,246; ,659 |
| KOOS Esporte e recreação | | | | | | | | | |
| Modelo corrigido | 15,278 | <,001 | ,316 | ,296 | | | | | |
| Intercepto | 22,733 | ,000 | ,187 | | 12,124 | 2,543 | 4,768 | ,000 | 7,079; 17,170 |
| Subida de degrau | 12,335 | ,001 | ,111 | | 1,010 | ,288 | 3,512 | ,001 | ,439; 1,580 |
| Descida de degrau | 4,873 | ,030 | ,047 | | ,630 | ,286 | 2,208 | ,030 | ,064; 1,197 |
| Agachamento | ,093 | ,762 | ,001 | | -,103 | ,338 | -,304 | ,762 | -,774; ,568 |
| KOOS Qualidade de vida | | | | | | | | | |
| Modelo corrigido | 7,121 | <,001 | ,177 | ,153 | | | | | |
| Intercepto | 10,592 | ,002 | ,097 | | 7,566 | 2,325 | 3,255 | ,002 | 2,953; 12,179 |
| Subida de degrau | 4,095 | ,046 | ,040 | | ,532 | ,263 | 2,024 | ,046 | ,010; 1,054 |
| Descida de degrau | ,822 | ,367 | ,008 | | ,237 | ,261 | ,907 | ,367 | -,281; ,755 |
| Agachamento | ,913 | ,342 | ,009 | | ,296 | ,309 | ,956 | ,342 | -,318; ,909 |

| Regressão logística binária | | | | | | | | |
|--|--------------|------|------------|------------------------------|---------------------------|------|---|--------------------------|
| GROC | | | | | | | | |
| [X2(1) = 13,494; p = .000, R2 Nagelkerke = ,160] | | | | | | | | |
| | Coef. (B) | SE | Wald (gl) | Razão de chances (Exp(B)) | IC 95% para Exp (B) | Sig | Hosmer e Lemeshow: Qui- quadrado (gl) | Hosmer e Lemeshow Sig |
| Subida de degrau | ,076 | ,022 | 11,430 (1) | 1,079 | 1,032; 1,128 | ,001 | 3,845 (7) | ,797 |
| Constante | -,146 | ,227 | ,415 (1) | ,864 | | ,519 | | |

Os modelos de regressão foram realizados utilizando as pontuações de mudança (diferença entre as pontuações da visita de acompanhamento de 12 semanas e a linha de base) para os testes clínicos e medidas de resultado, exceto para a GROC. AKPS, Anterior Knee Pain Scale; KOOS, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scale; GROC, Global Rating of Change; Coef, coefficient; gl, graus de liberdade.

A **Tabela 4** resume os dados da medição de acompanhamento, diferença média e a média de resposta padronizada (*standardized response mean, SRM*).

Tabela 4. Dados de linha de base e acompanhamento, diferença média e a média de resposta padronizada.

| Variável | Média Inicial (DP) | Média Acompanhamento (DP) | Diferença média (95%IC) | Média de resposta padronizada (SRM) (95%IC) |
|--|--------------------|---------------------------|-------------------------|---|
| AKPS/100 | 69,8 (9,6) | 78,1 (11,3) | 8,3 (6,1; 10,4) | 0,7 (0,5;0,9) |
| KOOS Sintomas /100 | 67,3 (14,7) | 73,9 (15,8) | 6,6 (4,4; 8,7) | 0,5 (0,4; 0,7) |
| KOOS Dor /100 | 68,1 (11,7) | 77,6 (13,9) | 9,5 (6,8; 12,2) | 0,6 (0,4; 0,8) |
| KOOS Atividades de vida diária /100 | 78,0 (12,7) | 85,3 (13,4) | 7,3 (4,6; 10,0) | 0,5 (0,3; 0,7) |
| KOOS Esporte e recreação /100 | 49,9 (21,4) | 68,8 (20,9) | 18,9 (14,2; 23,7) | 0,7 (0,5; 0,9) |
| KOOS Qualidade de vida /100 | 44,8 (16,8) | 57,4 (18,2) | 12,7 (8,9; 16,5) | 0,6 (0,4; 0,7) |
| Agachamento, n | 6,4 (4,9) | 11,4 (8,0) | 5,0 (3,4; 6,6) | 0,6 (0,4; 0,8) |
| Subida de degrau, n | 11,7 (7,3) | 16,6 (7,9) | 5,0 (3,0; 6,9) | 0,5 (0,3; 0,7) |
| Descida de degrau, n | 6,1 (5,4) | 11,3 (8,5) | 5,3 (3,4; 7,1) | 0,5 (0,3; 0,7) |

n: número de repetições. AKPS, *Anterior Knee Pain Scale*; KOOS, *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scale*.

DISCUSSÃO

Dos 218 participantes de um ensaio clínico randomizado anterior que comparou o uso de órteses para os pés e exercícios para o quadril,⁸³ tivemos dados completos de 157 para incluir nesta análise secundária. Nossos achados sugerem que o teste de subida de degrau pode ser uma medida útil na prática clínica para monitorar melhorias na função, enquanto o agachamento parece ser menos informativo. A relação encontrada foi positiva,

o que significa que um aumento no desempenho (número de repetições) no teste de subida de degrau foi associado a melhorias nos desfechos autorrelatados pelos pacientes.

O tratamento com exercícios para o quadril ou uma combinação de órteses para os pés e exercícios para os pés melhorou todos os resultados relatados neste estudo. A associação entre as melhorias nos testes de subida e descida de degrau e os resultados autorrelatados pelos pacientes pode ser explicada de várias maneiras. Uma possibilidade é que o tratamento tenha melhorado a capacidade muscular dos participantes, o que pode justificar as melhorias observadas tanto nos testes clínicos quanto nos desfechos autorrelatados. Um estudo anterior também relatou melhorias semelhantes nos testes clínicos após uma intervenção fisioterapêutica.²⁷ O efeito do tratamento sobre a capacidade muscular pode explicar esses achados, já que outro estudo indicou que a redução da força muscular no quadril está associada a um desempenho funcional inferior, alcançando menos repetições no teste *forward step-down* e menor distância no salto unipodal em distância (*forward hop for distance*).¹⁰⁴

O achado de que os testes de subida e descida de degrau melhoraram de forma semelhante ao longo das 12 semanas, junto com o fato de que apenas o teste de subida de degrau se relacionou com os PROMs, requer investigação adicional. Essa associação mais forte com o teste de subida de degrau pode ser explicada pelo fato de que ele impõe menor força de reação e estresse na articulação patelofemoral, em comparação com outras tarefas, como o teste de descida de degrau.²⁰ Além disso, os testes clínicos utilizados são testes de limiar de dor, e os participantes conseguiram realizar quase o dobro de repetições no teste de subida de degrau na linha de base, em comparação com os testes de descida de degrau e agachamento. Isso sugere que a melhoria na capacidade dos participantes em realizar o teste foi mais substancial, dado o desempenho mais alto já presente na linha de base. Também é possível que, devido ao aumento da carga articular durante o teste de descida de degrau, os participantes tenham sentido maior intensidade de dor durante esse teste, o que significa que, mesmo com pontuações de mudança semelhantes, a melhoria teve um efeito menor no resultado autorrelatado. Vale ressaltar que a maioria dos 61 participantes excluídos por atingir o limite de 25 repetições o fez no teste de subida de degrau. Portanto, é possível que suas melhorias nas pontuações de mudança tenham sido maiores, mas não foram capturadas na análise.

Curiosamente, a pontuação de mudança para o teste de agachamento não contribuiu para nenhum dos modelos. Uma possível explicação pode estar relacionada à natureza dos movimentos. Embora o agachamento seja um movimento funcional

importante, muitos itens de questionários como o KOOS e AKPS estão associadas a atividades mais diretamente relacionadas à locomoção e à funcionalidade diária (por exemplo, caminhar, subir escadas, carregar peso ou mudar de posição), que podem se alinhar mais estreitamente com o movimento dos testes de subida e descida de degrau do que com o agachamento.

Como os modelos com testes clínicos incluídos na análise explicaram entre 11 e 30% da variância, é possível que outras variáveis não incluídas na análise desempenhem um papel nas mudanças nos PROMs. Por exemplo, fatores psicológicos, que não foram avaliados neste estudo, podem influenciar essas mudanças nos PROMs. Pesquisas anteriores mostraram que a cinesiofobia estava associada à dor autorrelatada e à incapacidade em mulheres com DPF, enquanto as variáveis de carga na articulação patelofemoral não estavam.¹⁰⁶ Além disso, outros estudos mostraram que ansiedade, depressão, catastrofização, medo relacionado à dor e baixa autoeficácia afetam significativamente indivíduos com DPF.^{79,124} A autoeficácia, em particular, tem sido identificada como um forte preditor de resultados bem-sucedidos para pacientes com dor persistente, independentemente da intervenção fornecida.⁶⁵ Além disso, uma maior autoeficácia está associada a uma melhor função e qualidade de vida relacionada à saúde.⁹⁰ Assim, é possível que, além de melhorar o número de repetições nos testes clínicos, o tratamento fornecido pelo ensaio clínico também tenha influenciado positivamente a autoeficácia dos pacientes (sua crença na capacidade de realizar uma atividade ou superar um desafio)⁶⁵ e contribuído para melhorias na função nos testes clínicos e melhores resultados autorrelatados.

Existem algumas limitações neste estudo que devem ser consideradas. Os testes clínicos foram interrompidos quando o máximo de 25 repetições foi alcançado sem o início da dor. Essa decisão visou padronizar a coleta de dados, limitando a duração dos testes e evitando a exacerbação dos sintomas. Para mitigar esse efeito de teto, excluímos os participantes que atingiram 25 repetições tanto na linha de base quanto no acompanhamento de 12 semanas. Essa exclusão foi necessária porque, quando uma proporção significativa de participantes atinge a pontuação máxima possível (teto), o teste clínico pode não medir efetivamente a mudança no desempenho.¹²¹ Além disso, o impacto potencial da ordem dos testes deve ser reconhecido, já que a dor e a fadiga podem afetar o desempenho. Propomos que a influência da ordem foi mínima, já que o teste de subida de degrau foi realizado no meio da sequência. Por fim, este estudo envolveu uma análise exploratória secundária. Embora o tamanho da amostra tenha sido determinado com base

nos objetivos principais do ensaio clínico randomizado, acreditamos que o número de participantes foi adequado para os modelos de regressão, que incluíam apenas três variáveis independentes por modelo.

CONCLUSÃO

Nossos achados revelaram uma relação positiva significativa entre as melhorias nos testes clínicos de subida e descida de degrau, mas não no agachamento, com os desfechos autorrelatados pelos pacientes, sendo o teste de subida de degrau responsável pela maior parte da variância explicada. Clínicos que utilizam esses testes como parte da avaliação física na clínica provavelmente observarão mudanças refletidas nos desfechos autorrelatados pelos pacientes. Isso reforça o valor de incorporar medidas físicas (testes) na clínica, juntamente com os desfechos autorrelatados, nas estratégias de reabilitação, a fim de guiar e avaliar o progresso do paciente de forma eficaz.

5. CONCLUSÃO DA TESE

Essa tese teve como objetivos gerais, especificamente em corredores: 1) investigar interações entre variáveis cinemáticas, características de treinamento e dados demográficos com a ocorrência de DPF em corredores. De forma resumida, encontramos: 1) diferentes interações entre variáveis cinemáticas (pico de abdução do joelho e pico de dorsiflexão do tornozelo) e de treinamento de corrida (distância semanal de corrida e velocidade de corrida autosselecionada) que identificaram corredores com e sem DPF. Nossos resultados sugerem que corredores que apresentam características biomecânicas consideradas tanto “normais” quanto “anormais”, sofrem influência e/ou influenciam variáveis de treinamento para que sejam relacionadas com a presença ou ausência de DPF. Dessa forma, a avaliação e o tratamento devem ser realizados de forma individualizada, sempre considerando o conjunto de fatores, e não apenas fatores biomecânicos isolados.

Ainda em corredores, nosso segundo objetivo foi: 2) comparar a coordenação e variabilidade de coordenação dos membros inferiores entre corredores do sexo masculino e feminino com e sem DPF. Para essa investigação, encontramos diferenças em padrões de coordenação, especificamente entre homens e mulheres sem dor, e entre homens com e sem dor, e essas diferenças foram mais evidenciadas nos planos frontal e transversal. No entanto, a variabilidade de coordenação apresentou diferença apenas entre homens com e sem dor no acoplamento de flexão/extensão do fêmur e tíbia. Dessa forma, considerando que os padrões de coordenação entre os segmentos são diferentes, análises baseadas em variáveis pontuais e isoladas (como o pico de determinado movimento) podem não ser suficientes para compreender completamente os fatores biomecânicos relacionados a essa condição.

Por fim, o terceiro objetivo desta tese foi: 3) investigar a relação entre mudanças em testes clínicos (agachamento e subida e descida de degrau) e mudanças em medidas de desfecho autorrelatados (AKPS, KOOS e GROC) em indivíduos com DPF após um tratamento. De forma geral, encontramos uma relação significativa entre as mudanças nos escores dos testes clínicos e as mudanças nas medidas de desfecho, sendo o teste de subida de degrau o que melhor explicou essa relação. Ou seja, melhorias nos testes clínicos estão associadas a melhorias nos questionários autorrelatados utilizados. Assim, a utilização tanto dos questionários autorrelatados quanto dos testes clínicos deve ser encorajada, uma vez que oferecem informações complementares.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação clínica desta tese concentra-se na personalização da avaliação e no monitoramento apropriado de desfechos, tanto para corredores quanto para indivíduos da população geral com DPF.

Especificamente para corredores, os resultados fornecem uma base mais sólida para a avaliação dessa população de maneira abrangente. O ponto forte dessa tese foi a utilização de análises estatísticas mais robustas, que representaram um avanço na forma de explorar as variáveis relacionadas a essa condição. No entanto, mesmo explorando de forma mais complexa, buscamos traduzir os resultados de forma mais acessível para a utilização na clínica. Considerando que a DPF é uma condição multifatorial, nossos resultados reforçam a ideia de que é fundamental integrar aspectos biomecânicos e fatores de treinamento de maneira individualizada, levando em conta as particularidades de cada paciente. Essa abordagem integrada pode contribuir para o desenvolvimento de práticas de treinamento e estratégias de prevenção da DPF, fundamentadas em variáveis específicas para cada caso.

Para a população geral, nossa pesquisa pode orientar práticas terapêuticas mais eficazes, que integrem tanto os testes clínicos objetivos quanto as medidas de desfecho autorrelatado de forma complementar. Essa abordagem pode ajudar a adaptar a monitorização dos tratamentos, favorecendo uma melhora na percepção do paciente sobre sua funcionalidade. Para além disso, exploramos testes que são amplamente utilizados na prática clínica, de fácil explicação e baixo custo, o que os torna acessíveis e aplicáveis no cotidiano dos profissionais de saúde.

Os resultados desta tese buscam oferecer uma compreensão mais detalhada dos aspectos relacionados à DPF em diferentes contextos. De maneira geral, nossos achados enfatizam que, independentemente da população, a avaliação clínica e o monitoramento do curso da doença devem ser personalizados, respeitando as necessidades individuais e objetivos/expectativas de cada paciente.

7. REFERÊNCIAS

1. Almonroeder TG, Benson LC. Sex differences in lower extremity kinematics and patellofemoral kinetics during running. *J Sports Sci.* 2017;35(16):1575-1581. doi:10.1080/02640414.2016.1225972
2. Aminaka N, Pietrosimone BG, Armstrong CW, Meszaros A, Gribble PA. Patellofemoral pain syndrome alters neuromuscular control and kinetics during stair ambulation. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011;21(4):645-651. doi:10.1016/j.jelekin.2011.03.007
3. Baida SR, Gore SJ, Franklyn-Miller AD, Moran KA. Does the amount of lower extremity movement variability differ between injured and uninjured populations? A systematic review. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(4):1320-1338. doi:10.1111/sms.13036
4. Bartlett R, Wheat J, Robins M. Is movement variability important for sports biomechanists? *Sport Biomech.* 2007;6(2):224-243. doi:10.1080/14763140701322994
5. Barton CJ, Lack S, Hemmings S, Tufail S, Morrissey D. The “Best Practice Guide to Conservative Management of Patellofemoral Pain”: Incorporating level 1 evidence with expert clinical reasoning. *Br J Sports Med.* 2015;49(14):923-934. doi:10.1136/bjsports-2014-093637
6. Barton CJ, Munteanu SE, Menz HB, Crossley KM. The Efficacy of Foot Orthoses in the treatment of individuals with PFPS. *Sport Med.* 2010;40(5):377-395.
7. Barton CJ, De Oliveira Silva D, Morton S, et al. REPORT-PFP: A consensus from the International Patellofemoral Research Network to improve REPORTing of quantitative PatelloFemoral Pain studies. *Br J Sports Med.* 2021;55(20):1135-1143. doi:10.1136/bjsports-2020-103700
8. Bertelsen ML, Hulme A, Petersen J, et al. A framework for the etiology of running-related injuries. *Scand J Med Sci Sport.* 2017;27(11):1170-1180. doi:10.1111/sms.12883
9. Bittencourt NFN, Meeuwisse WH, Mendonça LD, Nettel-Aguirre A, Ocarino JM, Fonseca ST. Complex systems approach for sports injuries: Moving from risk factor identification to injury pattern recognition - Narrative review and new concept. *Br J Sports Med.* 2016;50(21):1309-1314. doi:10.1136/bjsports-2015-095850

10. 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
11. Boling M, Padua D, Marshall S, Guskiewicz K, Pyne S, Beutler A. Gender differences in the incidence and prevalence of patellofemoral pain syndrome. *Scand J Med Sci Sport.* 2010;20(5):725-730. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00996.x
12. Boling MC, Padua DA, Alexander Creighton R. Concentric and Eccentric Torque of the Hip Musculature in Individuals With and Without Patellofemoral Pain. *J Athl Train.* 2009;44(1):7-13. doi:10.4085/1062-6050-44.1.7
13. Bonacci J, Fox A, Hall M, Fuller JT, Vicenzino B. Footwear and Cadence Affect Gait Variability in Runners with Patellofemoral Pain. *Med Sci Sports Exerc.* 2020;52(6):1354-1360. doi:10.1249/MSS.0000000000002267
14. Botta AFB, Waiteman MC, da Silva J de CP, et al. Individuals with patellofemoral pain have impaired self-reported and performance-based function: Systematic review with meta-analysis and meta-regression. *J Athl Train.* Published online October 31, 2024:1-13. doi:10.4085/1062-6050-0353.24
15. Brindle TJ, Mattacola C, McCrory J. Electromyographic changes in the gluteus medius during stair ascent and descent in subjects with anterior knee pain. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2003;11(4):244-251. doi:10.1007/s00167-003-0353-z
16. 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
17. Van Cant J, Pineux C, Pitance L, Feipel V. Hip muscle strength and endurance in females with patellofemoral pain: a systematic review with meta-analysis. *Int J Sports Phys Ther.* 2014;9(5):564-582. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25328820><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4196322>
18. Celestino ML, van Emmerik R, Barela JA, Gama GL, Barela AMF. Intralimb gait coordination of individuals with stroke using vector coding. *Hum Mov Sci.* 2019;68(August):102522. doi:10.1016/j.humov.2019.102522

19. Ceysens L, Vanelderden R, Barton C, Malliaras P, Dingenen B. Biomechanical Risk Factors Associated with Running-Related Injuries: A Systematic Review. *Sport Med.* 2019;49(7):1095-1115. doi:10.1007/s40279-019-01110-z
20. Chinkulprasert V, Vachalathiti R, Powers CM. Patellofemoral joint forces and stress during forward step-up, lateral step-up, and forward step-down exercises. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41(4):241-248. doi:10.2519/jospt.2011.3408
21. Coburn SL, Barton CJ, Filbay SR, Hart HF, Rathleff MS, Crossley KM. Quality of life in individuals with patellofemoral pain: A systematic review including meta-analysis. *Phys Ther Sport.* 2018;33:96-108. doi:10.1016/j.ptsp.2018.06.006
22. Collins N, Crossley K, Beller E, Darnell R, McPoil T, Vicenzino B. Foot orthoses and physiotherapy in the treatment of patellofemoral pain syndrome: Randomised clinical trial. *Bmj.* 2008;337(7677):1034-1036. doi:10.1136/bmj.a1735
23. Collins NJ, Barton CJ, Van Middelkoop M, et al. 2018 Consensus statement on exercise therapy and physical interventions (orthoses, taping and manual therapy) to treat patellofemoral pain: Recommendations from the 5th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Gold Coast, Australia, 2017. *Br J Sports Med.* 2018;52(18):1170-1178. doi:10.1136/bjsports-2018-099397
24. Collins NJ, Bierma-Zeinstra SMA, Crossley KM, Van Linschoten RL, Vicenzino B, Van Middelkoop M. Prognostic factors for patellofemoral pain: A multicentre observational analysis. *Br J Sports Med.* 2013;47(4):227-233. doi:10.1136/bjsports-2012-091696
25. Collins NJ, Crossley KM, Darnell R. Predictors of short and long term outcome in patellofemoral pain syndrome: A prospective longitudinal study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010;11. doi:10.1186/1471-2474-11-11
26. Cowan SM, Crossley KM, Bennell KL. Altered hip and trunk muscle function in individuals with patellofemoral pain. *Br J Sports Med.* 2009;43(8):584-588. doi:10.1136/bjism.2008.053553
27. Crossley K, Bennell K, Green S, Cowan S, McConnell J. Physical Therapy for Patellofemoral Pain. *Am J Sports Med.* 2002;30(6):857-865. doi:10.1177/03635465020300061701
28. Crossley KM. Is patellofemoral osteoarthritis a common sequela of patellofemoral pain. *Br J Sports Med.* 2014;48(6):409-410. doi:10.1136/bjsports-2014-093445

29. Crossley KM, Bennell KL, Cowan SM, Green S. Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: Which are reliable and valid? *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(5):815-822. doi:10.1016/S0003-9993(03)00613-0
30. Crossley KM, Macri EM, Cowan SM, Collins NJ, Roos EM. The patellofemoral pain and osteoarthritis subscale of the KOOS (KOOS-PF): Development and validation using the COSMIN checklist. *Br J Sports Med.* 2018;52(17):1130-1136. doi:10.1136/bjsports-2016-096776
31. Crossley KM, Middelkoop M Van, Callaghan MJ, Collins NJ, Rathleff MS, Barton CJ. 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester. Part 2: Recommended physical interventions (exercise, taping, bracing, foot orthoses and combined interventions). *Br J Sports Med.* 2016;50(14):844-852. doi:10.1136/bjsports-2016-096268
32. Crossley KM, Stefanik JJ, Selfe J, et al. 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester. Part 1: Terminology, definitions, clinical examination, natural history, patellofemoral osteoarthritis and patient-reported outcome m. *Br J Sports Med.* 2016;50(14):839-843. doi:10.1136/bjsports-2016-096384
33. Da Cunha RA, Pena Costa LO, Hespanhol Junior LC, Pires RS, Kujala UM, Lopes AD. Translation, cross-cultural adaptation, and clinimetric testing of instruments used to assess patients with patellofemoral pain syndrome in the Brazilian population. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(5):332-339. doi:10.2519/jospt.2013.4228
34. Cunningham TJ, Mullineaux DR, Noehren B, Shapiro R, Uhl TL. Coupling angle variability in healthy and patellofemoral pain runners. *Clin Biomech.* 2014;29(3):317-322. doi:10.1016/j.clinbiomech.2013.12.008
35. Damsted C, Glad S, Nielsen RO, Sørensen H, Malisoux L. Is There Evidence for an Association Between Changes in Training Load and Running-Related Injuries? a Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther.* 2018;13(6):931-942. doi:10.26603/ijsp20180931
36. DeLeo AT, Dierks TA, Ferber R, Davis IS. Lower extremity joint coupling during running: A current update. *Clin Biomech.* 2004;19(10):983-991. doi:10.1016/j.clinbiomech.2004.07.005
37. Desai GA, Gruber AH. Bilateral differences in coordination variability among

- injured and uninjured runners: A prospective study. *J Biomech.* 2022;132:110938. doi:10.1016/j.jbiomech.2021.110938
38. Dierks TA, Manal K, Hamill J, Davis I. Lower Extremity Kinematics in Runners with Patellofemoral Pain during a Prolonged Run. *Med Sci Sport Exerc.* 2011;43(4):693-700. doi:10.1249/MSS.0b013e3181f744f5
 39. Domenech J, Sanchis-Alfonso V, López L, Espejo B. Influence of kinesiophobia and catastrophizing on pain and disability in anterior knee pain patients. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2013;21(7):1562-1568. doi:10.1007/s00167-012-2238-5
 40. Doyle EW, Doyle TLA, Bonacci J, Beach AJ, Fuller JT. Cumulative patellofemoral force and stress are lower during faster running compared to slower running in recreational runners. *Sport Biomech.* 2023;00(00):1-13. doi:10.1080/14763141.2023.2226111
 41. Drew BT, Redmond AC, Smith TO, Penny F, Conaghan PG. Which patellofemoral joint imaging features are associated with patellofemoral pain? Systematic review and meta-analysis. *Osteoarthr Cartil.* 2016;24(2):224-236. doi:10.1016/j.joca.2015.09.004
 42. Dye SF. The knee as a biologic transmission with an envelope of function: A theory. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;325(323):10-18. doi:10.1097/00003086-199604000-00003
 43. Esculier JF, Maggs K, Maggs E, Dubois B. A contemporary approach to patellofemoral pain in runners. *J Athl Train.* 2020;55(12):1206-1214. doi:10.4085/1062-6050-0535.19
 44. Esculier JF, Roy JS, Bouyer LJ. Lower limb control and strength in runners with and without patellofemoral pain syndrome. *Gait Posture.* 2015;41(3):813-819. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.02.020
 45. Fellin RE, Rose WC, Royer TD, Davis IS. Comparison of methods for kinematic identification of footstrike and toe-off during overground and treadmill running. *J Sci Med Sport.* 2010;13(6):646-650. doi:10.1016/j.jsams.2010.03.006
 46. Ferber R, Davis IMC, Williams DS. Gender differences in lower extremity mechanics during running. *Clin Biomech.* 2003;18(4):350-357. doi:10.1016/S0268-0033(03)00025-1
 47. Ferreira VMLM, Oliveira RR, Nazareno TS, Freitas L V., Mendonça LD. Interaction of foot and hip factors identifies Achilles tendinopathy occurrence in

- recreational runners. *Phys Ther Sport*. 2020;45:111-119.
doi:10.1016/j.ptsp.2020.06.006
48. Fields KB, Sykes JC, Walker KM, Jackson JC. Prevention of Running Injuries. *Curr Sports Med Rep*. 2010;9(3):176-182.
 49. Fong CM, Blackburn JT, Norcross MF, McGrath M, Padua DA. Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *J Athl Train*. 2011;46(1):5-10. doi:10.4085/1062-6050-46.1.5
 50. Fox A, Ferber R, Saunders N, Osis S, Bonacci J. Gait Kinematics in Individuals with Acute and Chronic Patellofemoral Pain. *Med Sci Sport Exerc*. 2018;50(3):502-509. doi:10.1249/MSS.0000000000001465
 51. Fredericson M, Misra AK. Epidemiology and aetiology of marathon running injuries. *Sport Med*. 2007;37(4-5):437-439. doi:10.2165/00007256-200737040-00043
 52. Garratt AM, Brealey S, Gillespie WJ. Patient-assessed health instruments for the knee: A structured review. *Rheumatology*. 2004;43(11):1414-1423.
doi:10.1093/rheumatology/keh362
 53. 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
 54. Ghorbani F, Heidarimoghadam R, Karami M, Fathi K, Minasian V, Bahram ME. The effect of six-week aerobic training program on cardiovascular fit-ness, body composition and mental health among female students. *J Res Health Sci*. 2014;14(4):264-267. doi:10.34172/jrhrs141618
 55. Glaviano NR, Baellow A, Saliba S. Physical activity levels in individuals with and without patellofemoral pain. *Phys Ther Sport*. 2017;27:12-16.
doi:10.1016/j.ptsp.2017.07.002
 56. Grood ES, Suntay WJ. A Joint Coordinate System for the Clinical Description of Three-Dimensional Motions: Application to the Knee. *J Biomech Eng*. 1983;105(2):136-144. doi:10.1115/1.3138397
 57. Hafer JF, Boyer KA. Variability of segment coordination using a vector coding technique: Reliability analysis for treadmill walking and running. *Gait Posture*. 2017;51:222-227. doi:10.1016/j.gaitpost.2016.11.004
 58. Hafer JF, Silvernail JF, Hillstrom HJ, Boyer KA. Changes in coordination and its

- variability with an increase in running cadence. *J Sports Sci.* 2016;34(15):1388-1395. doi:10.1080/02640414.2015.1112021
59. Haghghat F, Rezaie M, Ebrahimi S, Shokouhyan SM, Motealleh A, Parnianpour M. Coordination Variability During Walking and Running in Individuals With and Without Patellofemoral Pain Part 1: Lower Limb Intersegmental Coordination Variability. *J Med Biol Eng.* 2021;41(3):295-304. doi:10.1007/s40846-021-00603-5
 60. Hamill J, Van Emmerik REA, Heiderscheit BC, Li L. A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. *Clin Biomech.* 1999;14(5):297-308. doi:10.1016/S0268-0033(98)90092-4
 61. Hamill J, Palmer C, Van Emmerik REA. Coordinative variability and overuse injury. *Sport Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2012;4(1):1-9. doi:10.1186/1758-2555-4-45
 62. Hannigan JJ, Chou LS. Sex differences in lower extremity coordinative variability during running. *Gait Posture.* 2019;70(March):317-322. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.03.024
 63. Heiderscheit BC, Hamill J, van Emmerik REA. Variability of Stride Characteristics and Joint Coordination among Individuals with Unilateral Patellofemoral Pain. *J Appl Biomech.* 2002;18(2):110-121. doi:10.1123/jab.18.2.110
 64. 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
 65. Hott A, Pripp AH, Juel NG, Liavaag S, Brox JI. Self-efficacy and Emotional Distress in a Cohort With Patellofemoral Pain. *Orthop J Sport Med.* 2022;10(3):1-10. doi:10.1177/23259671221079672
 66. Johansen SK, Maclachlan L, Hillier R, et al. Exploring patients' and physiotherapists' visions on modelling treatments and optimising self-management strategies for patellofemoral pain: A future workshop approach. *Musculoskelet Sci Pract.* 2022;60(April):102567. doi:10.1016/j.msksp.2022.102567
 67. Kakouris N, Yener N, Fong DTP. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J Sport Heal Sci.* 2021;10(5):513-522. doi:10.1016/j.jshs.2021.04.001

68. Kamper SJ, Maher CG, Mackay G. Global Rating of Change Scales: A Review of Strengths and Weaknesses and Considerations for Design. *J Man Manip Ther.* 2009;17(3):163-170. doi:10.1179/jmt.2009.17.3.163
69. Kujala UM, Jaakkola LH, Koskinen SK, Taimela S, Hurme M, Nelimarkka O. Scoring of patellofemoral disorders. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* 1993;9(2):159-163. doi:10.1016/S0749-8063(05)80366-4
70. Lankhorst NE, Bierma-Zeinstra SMA, Van Middelkoop M. Factors associated with patellofemoral pain syndrome: A systematic review. *Br J Sports Med.* 2013;47(4):193-206. doi:10.1136/bjsports-2011-090369
71. Lankhorst NE, Van Middelkoop MM, Crossley KM, et al. Factors that predict a poor outcome 5-8 years after the diagnosis of patellofemoral pain: A multicentre observational analysis. *Br J Sports Med.* 2016;50(14):881-886. doi:10.1136/bjsports-2015-094664
72. Lemon SC, Roy J, Clark MA, Friedmann PD, Rakowski W. Classification and Regression Tree Analysis in Public Health: Methodological Review and Comparison with Logistic Regression. *Ann Behav Med.* 2003;26(3):172-181. doi:10.1207/S15324796ABM2603_02
73. Liao TC, Yang N, Ho KY, Farrokhi S, Powers CM. Femur Rotation Increases Patella Cartilage Stress in Females with Patellofemoral Pain. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(9):1775-1780. doi:10.1249/MSS.0000000000000617
74. Lilley K, Dixon S, Stiles V. A biomechanical comparison of the running gait of mature and young females. *Gait Posture.* 2011;33(3):496-500. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.01.002
75. Van Linschoten R, Van Middelkoop M, Berger MY, et al. Supervised exercise therapy versus usual care for patellofemoral pain syndrome: An open label randomised controlled trial. *BMJ.* 2009;339(7728):1010-1013. doi:10.1136/bmj.b4074
76. Loudon JK, Wiesner D, Goist-Foley HL, Asjes C, Loudon KL. Intrarater Reliability of Functional Performance Tests for Subjects With Patellofemoral Pain Syndrome. *J Athl Train.* 2002;37(3):256-261. doi:12937582
77. Lun V, Meeuwisse WH, Stergiou P, Stefanyshyn D. Relation between running injury and static lower limb alignment in recreational runners. *Br J Sports Med.* 2004;38(5):576-580. doi:10.1136/bjism.2003.005488
78. Luz BC, dos Santos AF, Serrão FV. Are Altered Kinematics in Runners With

- Patellofemoral Pain Sex Specific? *Sports Health*. 2022;14(6):822-828.
doi:10.1177/19417381221088582
79. Maclachlan LR, Collins NJ, Hodges PW, Vicenzino B. Psychological and pain profiles in persons with patellofemoral pain as the primary symptom. *Eur J Pain (United Kingdom)*. 2020;24(6):1182-1196. doi:10.1002/ejp.1563
 80. Maclachlan LR, Collins NJ, Matthews MLG, Hodges PW, Vicenzino B. The psychological features of patellofemoral pain: A systematic review. *Br J Sports Med*. 2017;51(9):732-742. doi:10.1136/bjsports-2016-096705
 81. Macrum E, Bell DR, Boling M, Lewek M, Padua D. Effect of Limiting Ankle-Dorsiflexion Range of Motion on Lower Extremity Kinematics and Muscle-Activation Patterns During a Squat. *J Sport Rehabil*. 2012;21(2):144-150. doi:10.1123/jsr.21.2.144
 82. Malloy P, Morgan A, Meinerz C, Geiser C, Kipp K. The association of dorsiflexion flexibility on knee kinematics and kinetics during a drop vertical jump in healthy female athletes. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc*. 2015;23(12):3550-3555. doi:10.1007/s00167-014-3222-z
 83. Matthews M, Rathleff MS, Claus A, et al. Does foot mobility affect the outcome in the management of patellofemoral pain with foot orthoses versus hip exercises? A randomised clinical trial. *Br J Sports Med*. Published online 2020:1-8. doi:10.1136/bjsports-2019-100935
 84. Matthews M, Rathleff MS, Claus A, et al. The foot orthoses versus hip eXercises (FOHX) trial for patellofemoral pain: A protocol for a randomized clinical trial to determine if foot mobility is associated with better outcomes from foot orthoses. *J Foot Ankle Res*. 2017;10(1):1-21. doi:10.1186/s13047-017-0186-5
 85. Melzer K, Kayser B, Pichard C. Physical activity: The health benefits outweigh the risks. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2004;7(6):641-647. doi:10.1097/00075197-200411000-00009
 86. 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
 87. Messier SP, Davis SE, Curl WW, Lowery RB, Pack RJ. Etiologic factors associated with patellofemoral pain in runners. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23(9):1008-1015. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1943620>

88. Van Middelkoop M, Van Der Heijden RA, Bierma-Zeinstra SMA. Characteristics and outcome of patellofemoral pain in adolescents: Do they differ from adults? *J Orthop Sports Phys Ther.* 2017;47(10):801-805. doi:10.2519/jospt.2017.7326
89. Van Middelkoop M, Kolkman J, Van Ochten J, Bierma-Zeinstra SMA, Koes B. Prevalence and incidence of lower extremity injuries in male marathon runners. *Scand J Med Sci Sport.* 2008;18(2):140-144. doi:10.1111/j.1600-0838.2007.00683.x
90. Miles CL, Pincus T, Carnes D, et al. Can we identify how programmes aimed at promoting self-management in musculoskeletal pain work and who benefits? A systematic review of sub-group analysis within RCTs. *Eur J Pain.* 2011;15(8):775.e1-775.e11. doi:10.1016/j.ejpain.2011.01.016
91. Miller RH, Meardon SA, Derrick TR, Gillette JC. Continuous relative phase variability during an exhaustive run in runners with a history of iliotibial band syndrome. *J Appl Biomech.* 2008;24(3):262-270. doi:10.1123/jab.24.3.262
92. Mills K, Blanch P, Dev P, Martin M, Vicenzino B. A randomised control trial of short term efficacy of in-shoe foot orthoses compared with a wait and see policy for anterior knee pain and the role of foot mobility. *Br J Sports Med.* 2012;46(4):247-252. doi:10.1136/bjsports-2011-090204
93. Milner CE, Hamill J, Davis I. Are knee mechanics during early stance related to tibial stress fracture in runners? *Clin Biomech.* 2007;22(6):697-703. doi:10.1016/j.clinbiomech.2007.03.003
94. Mo S, Chow DHK. Differences in lower-limb coordination and coordination variability between novice and experienced runners during a prolonged treadmill run at anaerobic threshold speed. *J Sports Sci.* 2019;37(9):1021-1028. doi:10.1080/02640414.2018.1539294
95. Nakagawa T, Serrão F, Maciel C, Powers C. Hip and Knee Kinematics are Associated with Pain and Self-reported Functional Status in Males and Females with Patellofemoral Pain. *Int J Sports Med.* 2013;34(11):997-1002. doi:10.1055/s-0033-1334966
96. Neal BS, Bartholomew C, Barton CJ, Morrissey D, Lack SD. Six Treatments Have Positive Effects at 3 Months for People With Patellofemoral Pain: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2022;52(11):750-768. doi:10.2519/jospt.2022.11359

97. Neal BS, Barton CJ, Birn-Jeffery A, Morrissey D. Increased hip adduction during running is associated with patellofemoral pain and differs between males and females: A case-control study. *J Biomech.* 2019;91:133-139. doi:10.1016/j.jbiomech.2019.05.014
98. Neal BS, Barton CJ, Gallie R, O'Halloran P, Morrissey D. Runners with patellofemoral pain have altered biomechanics which targeted interventions can modify: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture.* 2016;45:69-82. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.11.018
99. Neal BS, Lack SD, Bartholomew C, Morrissey D. Best practice guide for patellofemoral pain based on synthesis of a systematic review, the patient voice and expert clinical reasoning. *Br J Sports Med.* Published online 2024:1486-1495. doi:10.1136/bjsports-2024-108110
100. Neal BS, Lack SD, Lankhorst NE, Raye A, Morrissey D, Van Middelkoop M. Risk factors for patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2019;53(5):270-281. doi:10.1136/bjsports-2017-098890
101. Nielsen RØ, Parner ET, Nohr EA, Sørensen H, Lind M, Rasmussen S. Excessive progression in weekly running distance and risk of running-related injuries: An association which varies according to type of injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(10):739-747. doi:10.2519/jospt.2014.5164
102. Nimon G, Murray D, Sandow M, Goodfellow J. Natural history of anterior knee pain: A 14- to 20-year follow-up of nonoperative management. *J Pediatr Orthop.* 1998;18(1):118-122. doi:10.1097/01241398-199801000-00021
103. Noehren B, Hamill J, Davis I. Prospective Evidence for a Hip Etiology in Patellofemoral Pain. *Med Sci Sport Exerc.* 2013;45(6):1120-1124. doi:10.1249/MSS.0b013e31828249d2
104. Nunes GS, de Oliveira Silva D, Crossley KM, Serrão FV, Pizzari T, Barton CJ. People with patellofemoral pain have impaired functional performance, that is correlated to hip muscle capacity. *Phys Ther Sport.* 2019;40:85-90. doi:10.1016/j.ptsp.2019.08.010
105. Nunes GS, Stapait EL, Kirsten MH, de Noronha M, Santos GM. Clinical test for diagnosis of patellofemoral pain syndrome: Systematic review with meta-analysis. *Phys Ther Sport.* 2013;14(1):54-59. doi:10.1016/j.ptsp.2012.11.003
106. De Oliveira Silva D, Willy RW, Barton CJ, Christensen K, Pazzinatto MF, Azevedo FM. Pain and disability in women with patellofemoral pain relate to

- kinesiophobia, but not to patellofemoral joint loading variables. *Scand J Med Sci Sport*. 2020;30(11):2215-2221. doi:10.1111/sms.13767
107. Pappas E, Wong-Tom WM. Prospective Predictors of Patellofemoral Pain Syndrome: A Systematic Review With Meta-analysis. *Sports Health*. 2012;4(2):115-120. doi:10.1177/1941738111432097
 108. Piva SR, Goodnite EA, Childs JD. Strength Around the Hip and Flexibility of Soft Tissues in Individuals With and Without Patellofemoral Pain Syndrome. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2005;35(12):793-801. doi:10.2519/jospt.2005.35.12.793
 109. Powers CM. The Influence of Altered Lower-Extremity Kinematics on Patellofemoral Joint Dysfunction: A Theoretical Perspective. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2003;33(11):639-646. doi:10.2519/jospt.2003.33.11.639
 110. Powers CM, Bolgla LA, Callaghan MJ, Collins N, Sheehan FT. *Patellofemoral Pain: Proximal, Distal, and Local Factors, 2nd International Research Retreat*. Vol 42.; 2012. doi:10.2519/jospt.2012.0301
 111. Powers CM, Chen PY, Reischl SF, Perry J. Comparison of foot pronation and lower extremity rotation in persons with and without patellofemoral pain. *Foot Ankle Int*. 2002;23(7):634-640. doi:10.1177/107110070202300709
 112. Powers CM, Ward SR, Fredericson M, Guillet M, Shellock FG. Patellofemoral Kinematics During Weight-Bearing and Non-Weight-Bearing Knee Extension in Persons With Lateral Subluxation of the Patella: A Preliminary Study. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2003;33(11):677-685. doi:10.2519/jospt.2003.33.11.677
 113. Powers CM, Witvrouw E, Davis IS, Crossley KM. Evidence-based framework for a pathomechanical model of patellofemoral pain: 2017 patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester, UK: Part 3. *Br J Sports Med*. 2017;51(24):1713-1723. doi:10.1136/bjsports-2017-098717
 114. Rathleff MS, Rathleff CR, Crossley KM, Barton CJ. Is hip strength a risk factor for patellofemoral pain? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2014;48(14):1088. doi:10.1136/bjsports-2013-093305
 115. Rathleff MS, Rathleff CR, Olesen JL, Rasmussen S, Roos EM. Is Knee Pain during Adolescence a Self-limiting Condition? *Am J Sports Med*. 2016;44(5):1165-1171. doi:10.1177/0363546515622456
 116. Reiman MP, Manske RC. The assessment of function: How is it measured? A clinical perspective. *J Man Manip Ther*. 2011;19(2):91-99.

doi:10.1179/106698111X12973307659546

117. Rodrigues P, TenBroek T, Hamill J. Runners with anterior knee pain use a greater percentage of their available pronation range of motion. *J Appl Biomech.* 2013;29(2):141-146. doi:10.1123/jab.29.2.141
118. 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
119. Salsich GB, Perman WH. Patellofemoral joint contact area is influenced by tibiofemoral rotation alignment in individuals who have patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(9):521-528. doi:10.2519/jospt.2007.37.9.521
120. Dos Santos AF, Nakagawa TH, Nakashima GY, Maciel CD, Serrão F. The Effects of Forefoot Striking, Increasing Step Rate, and Forward Trunk Lean Running on Trunk and Lower Limb Kinematics and Comfort. *Int J Sports Med.* 2016;37(5):369-373. doi:10.1055/s-0035-1564173
121. Scrivener K, Schurr K, Sherrington C. Responsiveness of the ten-metre walk test, Step Test and Motor Assessment Scale in inpatient care after stroke. *BMC Neurol.* 2014;14(1):1-7. doi:10.1186/1471-2377-14-129
122. Silvernail JF, Boyer K, Rohr E, Brüggemann GP, Hamill J. Running Mechanics and Variability with Aging. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(10):2175-2180. doi:10.1249/MSS.0000000000000633
123. Silvernail JF, van Emmerik REA, Boyer K, Busa MA, Hamill J. Comparisons of Segment Coordination: An Investigation of Vector Coding. *J Appl Biomech.* 2018;34(3):226-231. doi:10.1123/jab.2017-0081
124. Smith BE, Moffatt F, Hendrick P, et al. The experience of living with patellofemoral pain - Loss, confusion and fear-avoidance: A UK qualitative study. *BMJ Open.* 2018;8(1):1-9. doi:10.1136/bmjopen-2017-018624
125. Smith BE, Selfe J, Thacker D, et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. Screen HR, ed. *PLoS One.* 2018;13(1):e0190892. doi:10.1371/journal.pone.0190892
126. Souto LR, De Oliveira Silva D, Pazzinato MF, Siqueira MS, Moreira RFC, Serrão FV. Are adjunct treatments effective in improving pain and function when added to exercise therapy in people with patellofemoral pain? A systematic review with meta-analysis and appraisal of the quality of interventions. *Br J Sports Med.* Published online 2024:792-804. doi:10.1136/bjsports-2024-108145

127. Stergiou. N, Jensen. J., Bates. B., Scholten. S., Tzetzis. G. A dynamical systems investigation of lower extremity coordination during running over obstacles. *Clin Biomech.* 2001;16(3):213-221.
[http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L32178309%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1016/S0268-0033\(00\)00090-5%5Cnhttp://sfx.ub.rug.nl:9003/sfx_local?sid=EMBASE&issn=02680033&id=doi:10.1016/S0268-0033\(00\)00090-5&atitle=A+dynamical+s](http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L32178309%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1016/S0268-0033(00)00090-5%5Cnhttp://sfx.ub.rug.nl:9003/sfx_local?sid=EMBASE&issn=02680033&id=doi:10.1016/S0268-0033(00)00090-5&atitle=A+dynamical+s)
128. Takabayashi T, Edama M, Inai T, Kubo M. Gender differences in coordination variability between shank and rearfoot during running. *Hum Mov Sci.* 2019;66(March):91-97. doi:10.1016/j.humov.2019.03.017
129. Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med.* 2002;36(2):95-101. doi:10.1136/bjism.36.2.95
130. Taylor JB, Wright ES, Waxman JP, Schmitz RJ, Groves JD, Shultz SJ. Ankle Dorsiflexion Affects Hip and Knee Biomechanics During Landing. *Sports Health.* 2022;14(3):328-335. doi:10.1177/19417381211019683
131. Tepavac D, Field-Fote EC. Vector Coding: A Technique for Quantification of Intersegmental Coupling in Multicyclic Behaviors. *J Appl Biomech.* 2001;17(3):259-270. doi:10.1123/jab.17.3.259
132. Thijs Y, De Clercq D, Roosen P, Witvrouw E. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. *Br J Sports Med.* 2008;42(6):466-471. doi:10.1136/bjism.2008.046649
133. Thomas MJ, Wood L, Selfe J, Peat G. Anterior knee pain in younger adults as a precursor to subsequent patellofemoral osteoarthritis: A systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010;11:4-11. doi:10.1186/1471-2474-11-201
134. Tiberio D. The Effect of Excessive Subtalar Joint Pronation on Patellofemoral Mechanics: A Theoretical Model. *J Orthop Sport Phys Ther.* 1987;9(4):160-165. doi:10.2519/jospt.1987.9.4.160
135. Van Tiggelen D, Witvrouw E, Coorevits P, Croisier JL, Roget P. Analysis of isokinetic parameters in the development of anterior knee pain syndrome: A prospective study in a military setting. *Isokinet Exerc Sci.* 2004;12(4):223-228. doi:10.3233/ies-2004-0178
136. du Toit F, Schweltnus M, Jordaan E, Swanevelder S, Wood P. Clinical characteristics of gradual onset injuries in recreational road cyclists - SAFER

- XXVII study over 5 years in 62758 race entrants. *Phys Sportsmed*. 2022;51(6):564-571. doi:10.1080/00913847.2022.2136984
137. Vicenzino B, Collins N, Crossley K, Beller E, Darnell R, McPoil T. Foot orthoses and physiotherapy in the treatment of patellofemoral pain syndrome: A randomised clinical trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008;9:1-12. doi:10.1186/1471-2474-9-27
 138. Vicenzino B, Maclachlan L, Rathleff MS. Taking the pain out of the patellofemoral joint: Articulating a bone of contention. *Br J Sports Med*. 2019;53(5):268-269. doi:10.1136/bjsports-2017-098803
 139. Vicenzino BT, Rathleff MS, Holden S, et al. Developing Clinical and Research Priorities for Pain and Psychological Features in People With Patellofemoral Pain: An International Consensus Process With Health Care Professionals. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2022;52(1):29-39. doi:10.2519/JOSPT.2022.10647
 140. Wang D, Jones MH, Khair MM, Miniaci A. Patient-reported outcome measures for the knee. *J Knee Surg*. 2010;23(3):137-151. doi:10.1055/s-0030-1268691
 141. Watson CJ, Propps M, Ratner J, Zeigler DL, Horton P, Smith SS. Reliability and responsiveness of the lower extremity functional scale and the anterior knee pain scale in patients with anterior knee pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2005;35(3):136-146. doi:10.2519/jospt.2005.35.3.136
 142. Willson JD, Davis IS. Lower extremity mechanics of females with and without patellofemoral pain across activities with progressively greater task demands. *Clin Biomech*. 2008;23(2):203-211. doi:10.1016/j.clinbiomech.2007.08.025
 143. Willy RW, Hoggund LT, Barton CJ, et al. Patellofemoral Pain. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2019;49(9):CPG1-CPG95. doi:10.2519/jospt.2019.0302
 144. Willy RW, Scholz JP, Davis IS. Mirror gait retraining for the treatment of patellofemoral pain in female runners. *Clin Biomech*. 2012;27(10):1045-1051. doi:10.1016/j.clinbiomech.2012.07.011
 145. Wilson C, Simpson S, Van Emmerik R, Hamill J. Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. *Sport Biomech*. 2008;7(1):2-9. doi:10.1080/14763140701682983
 146. Witvrouw E, Callaghan MJ, Stefanik JJ, et al. Patellofemoral pain: Consensus statement from the 3rd International Patellofemoral Pain Research Retreat held in Vancouver, September 2013. *Br J Sports Med*. 2014;48(6):411-414. doi:10.1136/bjsports-2014-093450

147. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki. *JAMA*. 2013;310(20):2191. doi:10.1001/jama.2013.281053
148. Wride J, Bannigan K. Investigating the prevalence of anxiety and depression in people living with patellofemoral pain in the UK: The Dep-Pf Study. *Scand J Pain*. 2019;19(2):375-382. doi:10.1515/sjpain-2018-0347
149. Wu G, Siegler S, Allard P, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. *J Biomech*. 2002;35(4):543-548. doi:10.1016/S0021-9290(01)00222-6
150. Yang C, Best TM, Liu H, Yu B. Knee biomechanical factors associated with patellofemoral pain in recreational runners. *Knee*. 2022;35(48):87-97. doi:10.1016/j.knee.2022.02.007
151. Zamboti CL, Marçal Camillo CA, Ricardo Rodrigues da Cunha AP, Ferreira TM, Macedo CSG. Impaired performance of women with patellofemoral pain during functional tests. *Brazilian J Phys Ther*. 2021;25(2):156-161. doi:10.1016/j.bjpt.2020.05.002
152. Zeni JA, Richards JG, Higginson JS. Two simple methods for determining gait events during treadmill and overground walking using kinematic data. *Gait Posture*. 2008;27(4):710-714. doi:10.1016/j.gaitpost.2007.07.007

8. APÊNDICE

8.1 Comprovante de submissão Artigo 1

| Journal of Biomechanics Runners' lower limb kinematics and training characteristics interactions associated with the occurrence of patellofemoral pain --Manuscript Draft-- | |
|---|---|
| Manuscript Number: | BM-D-25-00071 |
| Article Type: | Full Length Article (max 3500 words) |
| Keywords: | Anterior knee pain; Biomechanics; Knee; Load; Running injury |
| Corresponding Author: | Fábio Viadanna Serrão, PT, PhD Federal University of Sao Carlos São Carlos, BRAZIL |
| First Author: | Eliane de Moraes Machado, MSc |
| Order of Authors: | Eliane de Moraes Machado, MSc Luciana De Michellis Mendonça, PhD Ana Flávia dos Santos Bruna Calazans Luz Fábio Viadanna Serrão |
| Abstract: | <p>Patellofemoral pain (PFP) may result from different factors. Thus, we investigated the interactions among kinematic variables, training characteristics and demographics with PFP occurrence in runners. In this secondary analysis from cross-sectional data, we included 83 runners, 42 with PFP and 41 without PFP. 3-dimensional kinematics (peak hip adduction and internal rotation, peak knee abduction and flexion, peak ankle dorsiflexion and peak foot eversion), cadence, running speed, running experience, weekly running distance, age and sex were analyzed through Classification and Regression Tree (CART). The CART model identified 3 subgroups of runners with PFP: 1) weekly running distance ≤ 29 km, peak knee abduction $\leq 8.09^\circ$ and peak ankle dorsiflexion $\leq 23.14^\circ$; 2) weekly running distance ≤ 29 km, peak knee abduction $\leq 8.09^\circ$ and peak ankle dorsiflexion $> 23.14^\circ$ and weekly running distance ≤ 18.5 km/week; 3) weekly running distance > 29 km/week, self-select running speed < 8.25 km/h. Tree subgroups without PFP were also identified: 1) weekly running distance > 29 km and self-selected running speed > 8.25 km/h; 2) weekly running distance ≤ 29 km and peak knee abduction $> 8.09^\circ$; 3) weekly running distance ≤ 29 km, peak knee abduction $< 8.09^\circ$, peak ankle dorsiflexion $> 23.14^\circ$ and weekly running distance > 18.5 km. In conclusion, running training characteristics (weekly running distance and self-select running speed) interacted with lower limb kinematics variables (peak knee abduction and peak ankle dorsiflexion) in distinct ways to characterize groups with and without PFP. The identified interactions could be used in clinical decision-making aiming to personalize training and treatment recommendations when dealing with runners with PFP.</p> |
| Suggested Reviewers: | Jason Bonacci jason.bonacci@deakin.edu.au expert in biomechanics Bradley Neal b.neal@essex.ac.uk expert in PFP research |

8.2 Comprovante de submissão Artigo 2

Fwd: Submission received for Journal of Sports Sciences (Submission ID: 251978280)

De Fabio Viadanna Serrao <fserrao@ufscar.br>

Data Ter, 04/02/2025 15:47

Para Eliane Machado <mmachadoeliane@gmail.com>; Eliane Machado <elianem_machado@hotmail.com>

----- Forwarded message -----

De: <RJSP-peerreview@journals.tandf.co.uk>

Date: seg., 3 de fev. de 2025 às 21:27

Subject: Submission received for Journal of Sports Sciences (Submission ID: 251978280)

To: <fserrao@ufscar.br>



Dear Fábio Viadanna Serrão,

A manuscript has been submitted on your behalf.

| | |
|------------------|---|
| Submission ID | 251978280 |
| Manuscript Title | Lower limb coordination and coordination variability in male and female runners with and without patellofemoral pain |
| Journal | Journal of Sports Sciences |

You have been identified as the main contact for this submission and will receive further updates from the Editorial Office. If you are requested to make a revision to your manuscript, the person who made the original submission will need to action this request.

If you are not aware of the submission and would like to find out more please contact journalshelpdesk@taylorandfrancis.com.

Kind Regards,
Journal of Sports Sciences Editorial Office