

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO**

**GABRIEL JACOB NAVARRO**

**APLICAÇÃO DE REDE NEURAL AUTO-ORGANIZADA NA ANÁLISE  
CINEMÁTICA DA MARCHA E SUA ASSOCIAÇÃO COM A INTENSIDADE DA  
DOR EM MULHERES COM DOR FEMOROPATELAR**

**SÃO PAULO**

**2024**

**GABRIEL JACOB NAVARRO**

**APLICAÇÃO DE REDE NEURAL AUTO-ORGANIZADA NA ANÁLISE  
CINEMÁTICA DA MARCHA E SUA ASSOCIAÇÃO COM A INTENSIDADE DA  
DOR EM MULHERES COM DOR FEMOROPATELAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Nove de Julho (UNINOVE), como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Reabilitação.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Roberto Garcia Lucareli

**SÃO PAULO**

**2024**

Navarro, Gabriel Jacob.

Aplicação de rede neural auto-organizada na análise cinemática da marcha e sua associação com a intensidade da dor em mulheres com dor femoropatelar. / Gabriel Jacob Navarro. 2024.

49 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2024.

Orientador (a): Prof. Dr. Paulo Roberto Garcia Lucareli.

1. Dor femoropatelar. 2. Movement deviation profile. 3  
Marcha.

I. Lucareli, Paulo Roberto Garcia.

II. Título.

CDU 615.8

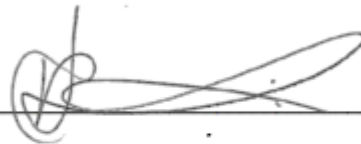
São Paulo, 11 de dezembro de 2024.

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Aluno: **GABRIEL JACOB NAVARRO**

Título da Dissertação: **"APLICAÇÃO DE REDE NEURAL AUTO-ORGANIZADA NA ANÁLISE CINEMÁTICA DA MARCHA E SUA ASSOCIAÇÃO COM A INTENSIDADE DA DOR EM MULHERES COM DOR FEMOROPATELAR"**

Presidente: PROF. DR. PAULO ROBERTO GARCIA LUCARELLI



Membro: PROF. DR. CID ANDRÉ FIDELIS DE PAULA



Documento assinado digitalmente  
RONALDO VALDIR BRIANI  
Data: 12/12/2024 14:12:05-0300  
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

Membro: PROF. DR. RONALDO VALDIR BRIANI

## RESUMO

**Introdução:** A Dor Femoropatelar (DFP) é um distúrbio musculoesquelético prevalente, particularmente entre mulheres, com uma taxa estimada de incidência de 29,2%. A DFP está associada a adaptações motoras durante a marcha, no entanto, a relação entre desvios de movimento e a intensidade da dor ainda não está totalmente compreendida. O *Movement Deviation Profile* (MDP) demonstrou ser uma ferramenta eficaz na identificação das diferenças cinemáticas entre mulheres com e sem DFP, oferecendo uma abordagem inovadora para simplificar dados cinemáticos complexos. A utilização do MDP para avaliar as mudanças na marcha e correlacioná-las com a intensidade da dor pode representar uma estratégia importante na reabilitação de pacientes com DFP. **Objetivo:** Investigar a associação entre o MDP e a intensidade da dor em mulheres com DFP durante a marcha. **Métodos:** Este estudo retrospectivo incluiu dados de 571 mulheres com DFP e 571 mulheres assintomáticas pareadas pela idade, ano e altura, coletados entre 2012 e 2020. As participantes com DFP relataram dor retro ou peripatelar por, no mínimo três meses, com uma intensidade mínima de 3 na Escala Visual Analógica (EVA). A marcha foi avaliada utilizando um sistema de captura de movimento Vicon de oito câmeras, com os dados processados através do modelo Plug-in Gait e do software Vicon Nexus 2.14. O MDP foi utilizado para quantificar os desvios de marcha no grupo com DFP em comparação ao grupo sem dor. A média e o intervalo de confiança da EVA foi de 6.03 (5.91 – 6.15), enquanto a média e intervalo de confiança do MDP (MDP<sub>médio</sub>) foi de 13,17 (12.73°–13.61°). **Resultados:** Observou-se uma forte correlação positiva ( $r=0,959$ ,  $p<0,001$ ) entre a intensidade da dor e o MDP<sub>médio</sub>, sugerindo que níveis mais elevados de dor estão associados a maiores desvios na marcha. **Discussão:** A dor pode alterar o movimento, e ferramentas como o MDP são cruciais para avaliar os desvios de marcha e correlacioná-los com a intensidade da dor em pacientes com DFP. Os achados sugerem que a intensidade relatada de dor associa à diferentes níveis de alterações na marcha. Essas alterações podem ser uma resposta natural do corpo a dor crônica, mas também podem contribuir para o agravamento da função e da qualidade de vida dos pacientes com DFP. A análise detalhada dos desvios de movimento, como realizada com o MDP, fornece informações importantes para o desenvolvimento de intervenções clínicas mais precisas e eficazes, visando melhorar a mobilidade e reduzir a dor. Clinicamente, a DFP envolve diversas adaptações que afetam a função motora e a qualidade de vida, tornando essencial o uso de métodos quantitativos, como o MDP, para melhor entender a magnitude dessas alterações e suas implicações. **Conclusão:**

Este estudo destaca a importância de integrar a análise do movimento em avaliações clínicas, proporcionando uma base sólida para a implementação de estratégias terapêuticas direcionadas que possam restaurar a função e melhorar os resultados a longo prazo. O uso do MDP pode ser um diferencial significativo na personalização de tratamentos e na otimização da reabilitação, permitindo um acompanhamento mais preciso da progressão da dor e das adaptações motoras durante o tratamento da DFP.

**Palavras-chave:** Dor femoropatelar, *Movement Deviation Profile*, Marcha.

## ABSTRACT

**Introduction:** Patellofemoral pain (PFP) is a prevalent musculoskeletal disorder, particularly among women, with an estimated incidence rate of 29.2%. PFP is associated with motor adaptations during gait. However, the relationship between movement deviations and pain intensity remains not fully understood. The Movement Deviation Profile (MDP) has proven to be an effective tool for identifying kinematic differences between women with and without PFP, offering an innovative approach to simplify complex kinematic data. Using the MDP to assess gait changes and correlate them with pain intensity could represent an important strategy in the rehabilitation of patients with PFP. **Objective:** Investigate the association between the MDP and pain intensity in women with PFP during gait. **Methods:** This retrospective study included data from 571 women with PFP and 571 asymptomatic women matched by age, year, and height, collected between 2012 and 2020. Participants with PFP reported retro or peripatellar pain for at least three months, with a minimum intensity of 3 on the Visual Analog Scale (VAS). Gait was assessed using eight cameras Vicon capture system, with data processed through the Plug-in Gait model and Vicon Nexus 2.14 software. The MDP was used to quantify gait deviations in the PFP group compared to the pain free group. The mean and confidence interval of the VAS was 6.03 (5.91–6.15), while the mean and confidence interval of the MDP (MDP<sub>mean</sub>) was 13.17 (12.73°–13.61°). **Results:** A strong positive correlation ( $r = 0.959$ ,  $p < 0.001$ ) was observed between pain intensity and MDP<sub>mean</sub>, suggesting that higher levels of pain are associated with greater gait deviations. **Discussion:** Pain can alter movement, and tools such as the MDP are crucial for assessing gait deviations and correlating them with pain intensity in patients with PFP. The findings suggest that reported pain intensity is associated with different levels of gait alterations. These changes may be a natural response to chronic pain but could also contribute to the worsening of function and quality of life in patients with PFP. Detailed analysis of movement deviations, as conducted with the MDP, provides valuable information for developing more precise and effective clinical interventions aimed at improving mobility and reducing pain. Clinically, PFP involves various adaptations that affect motor function and quality of life, emphasizing the need for quantitative methods such as the MDP to better understand the magnitude of these changes and their implications. **Conclusion:** This study highlights the importance of integrating movement analysis into clinical evaluations, providing a solid foundation for implementing targeted therapeutic strategies that can restore function and improve long-term outcomes. The use of the MDP can be a significant differentiator in

personalizing treatments and optimizing rehabilitation, allowing for more precise monitoring of pain progression and motor adaptations during the treatment of PFP.

**Keywords:** Patellofemoral pain, Movement Deviation Profile, Gait.



## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta trajetória, repleta de experiências profissionais e pessoais construtivas, aos meus pais, Erika e Marcelo. Graças às suas renúncias, pude perseguir meus sonhos e objetivos. O apoio, tanto emocional quanto racional, é um guia constante que alimenta meu desejo de retribuir tudo o que um dia foi deixado para trás em meu favor. Vocês são, e sempre serão, o que há de mais valioso pra mim. A nossa perseverança, honestidade e a capacidade de enfrentar o desconforto são as chaves que nos permitem abrir as portas ao longo do caminho. Dedico também à minha irmã, Marcela, que, merecedora de seu próprio caminho, está presente em todos os momentos da minha vida. Minha maior amiga, conselheira e suporte. À minha avó materna, Edna, um exemplo de resiliência e determinação, que, mesmo diante de tantas adversidades, construiu um futuro melhor para nossa família. À minha namorada, Amanda, cuja presença acolhedora traz conforto e soluções para qualquer desafio. E à minha tia, Katia, que também esteve ao meu lado em todas as etapas dessa caminhada. Não encontro nas palavras que sejam capazes de descrever o amor e a gratidão que sinto por cada um de vocês.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meu profundo agradecimento ao amigo, professor e orientador Dr. Paulo Lucareli. Seu apoio foi essencial para a realização deste mestrado. A forma como você pontua os detalhes e me desafia, revela e potencializa minhas capacidades, favorecendo meu desenvolvimento em qualquer atividade. Mesmo de maneira indireta ou imperceptível, os ambientes que você proporcionou e as conversas que tivemos foram fundamentais para me incentivar a sempre buscar a contínua excelência. Desde nosso primeiro contato, em 2021, já havia me recebido com enorme educação e intenção de tornar esse meu interesse em algo real. Eu sabia que o NAPAM era o ambiente em que eu gostaria de fazer parte. Uma referência e espelho profissional que admiro. Procurarei sempre estreitar essa relação. Obrigado por confiar em mim e depositar segurança nos seus pedidos.

Ao Prof. Dr. Cid Gomes, é mágico ver seu conhecimento vasto e refinado sobre tudo da área. Suas soluções e discussões para qualquer tema são inspiradoras. Agradeço o tempo disposto em ajudar meus trabalhos, textos e bancas. Sou grato por estar cercado de profissionais e professores excepcionais, e você, com toda certeza, é um deles.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, Diogo Gonçalves, Felipe Reis e Leticia Delgado, pela ajuda, valiosas discussões, dicas e companheirismo, sempre presentes ao longo desta jornada. Deixo ainda um agradecimento especial a Cintia Elord, Tadeu de Albuquerque, Otávio Cardoso e Nara Moreno, cuja amizade, apoio e presença foram fundamentais tanto dentro quanto fora do ambiente de trabalho.

Aos amigos e conselheiros desta vida acadêmica, Dra. Cintia Lopes, Dr. Leonardo Barretti, Dr. Silvio Garbelotti, Dr. Raphael Martins, Ms. Filipe Sette e Leonardo Fonsati, obrigado por guiarem o processo nos pequenos detalhes com grandes conversas e encontros.

Ao Dr. Silvio Garbelotti, que esteve ao meu lado em minha primeira experiência internacional, em Oslo, expresso minha gratidão pela amizade que respeito profundamente.

Ao meu sócio, Dr. Raphael Martins, e à toda equipe ApexLab, por aceitar desenvolver um projeto que reflete tudo aquilo que somos. Tornar realidade esse sonho tem sido uma experiência extremamente gratificante e desafiadora.

Aos integrantes da Clínica de Reabilitação do Joelho e Tornozelo, Adalton e Vitor, por fornecerem o espaço para meu desenvolvimento prático. Ao Felipe Fumê, por contagiar-me com seu entusiasmo e paixão por joelhos.

Aos meus grandes irmãos da vida, Bruno, João, Jonathan, Lucas, Carol, Julia e Thamires, grato pela nossa amizade e segurança que deposito em vocês.

Às famílias, Contente Paccola e Sierra Maximino.

Ao Gabriel Hermann, sou grato pela preparação física e pelo suporte que me permitiram alcançar meus objetivos esportivos, sempre com foco e sem lesões. Retomar a prática esportiva, uma das maiores heranças em minha vida, tem sido essencial para sustentar minha rotina.

Ao Prof. Dr. Gabor Barton, pela colaboração técnica e metodológica na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Briani, pela participação na banca de defesa. Convidado pela trajetória e expertise no assunto, suas considerações serão valiosas e de suma importância. É uma honra em tê-lo nesta etapa.

Ao Prof. Dr. João Correa, com a coordenação e administração do Programa de Pós Graduação – Ciências da Reabilitação.

À Universidade Nove de Julho e à CAPES, pelo apoio financeiro fundamental para o desenvolvimento desta formação.

## EPÍGRAFE

“Deixo tudo assim  
Não me acanho em ver  
Vaidade em mim  
Eu digo o que condiz  
Eu gosto é do estrago  
Sei do escândalo e eles têm razão  
Quando vem dizer que eu não sei medir  
Nem tempo e nem medo  
E se eu for o primeiro  
A prever e poder  
Desistir do que for dar errado? – Dispenso a Previsão.”  
O Velho e o Moço, 2003.

## SUMÁRIO

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| LISTA DE TABELA.....                                | 15 |
| LISTA DE FIGURAS .....                              | 16 |
| LISTA DE ABREVIações E SIGLAS .....                 | 17 |
| 1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....                            | 18 |
| 1.1 Dor Femoropatelar .....                         | 18 |
| 1.2 Adaptações motoras associadas à dor .....       | 19 |
| 1.3 Alterações cinéticas e cinemáticas na DFP ..... | 19 |
| 1.4 <i>Movement Deviation Profile</i> (MDP).....    | 20 |
| 1.5 Justificativa.....                              | 21 |
| 2 OBJETIVOS .....                                   | 22 |
| 3 MÉTODOS .....                                     | 23 |
| 3.1 Desenho e Local do Estudo.....                  | 23 |
| 3.2 Aspectos Éticos .....                           | 23 |
| 3.3 Amostra e Participantes.....                    | 23 |
| 3.4 Procedimentos .....                             | 24 |
| 3.5 Calibração do Sistema de Captura .....          | 24 |
| 3.6 Preparação dos Participantes de Pesquisa .....  | 24 |
| 3.7 Colocação dos Marcadores.....                   | 25 |
| 3.8 Análise Tridimensional da Marcha .....          | 26 |
| 3.9 Familiarização e Descrição da Tarefa .....      | 27 |
| 3.10 Processamento dos Dados .....                  | 28 |
| 3.11 <i>Movement Deviation Profile</i> .....        | 28 |
| 3.12 Análise Estatística .....                      | 29 |
| 4 RESULTADOS .....                                  | 30 |
| 4.1 Artigo .....                                    | 30 |
| 4.1.1 Abstract.....                                 | 30 |

|       |                            |    |
|-------|----------------------------|----|
| 4.1.2 | Introduction.....          | 31 |
| 4.1.3 | Methods .....              | 32 |
| 4.1.4 | Results.....               | 34 |
| 4.1.5 | Discussion.....            | 36 |
| 4.1.6 | Conclusion .....           | 39 |
| 4.1.7 | Suppliers .....            | 39 |
| 4.1.8 | References.....            | 40 |
| 5     | CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... | 45 |
|       | REFERÊNCIAS .....          | 46 |
|       | ANEXO A .....              | 50 |
|       | APÊNDICE A .....           | 51 |

## LISTA DE TABELA

### ARTIGO

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Table 1.</b> Anthropometric and descriptive characteristics of the sample and distribution of pain levels..... | 33 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Conjunto de marcadores retro-reflexivos posicionados nas estruturas e segmentos anatômicos para aquisição dos dados cinemáticos..... | 24 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## ARTIGO

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1.</b> Movement deviation profile (mean and 95% interval) for gait in the control group (black) and PFP group (red).....                                                                                                                                                                                                                             | 33 |
| <b>Figure 2.</b> Correlation between the mean Movement Deviation Profile (°) ( $MDP_{mean}$ ) and pain intensity (Visual Analogic Scale (VAS)). The regression line is shown with 95% confidence interval (blue). Grey histograms on the top and right of the scatter plot depict the frequency distribution of $MDP_{mean}$ and VAS scores, respectively..... | 34 |



## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

**DFP** – Dor Femoropatelar

**AFP** – Articulação Femoropatelar

**MDP** – *Movement Deviation Profile*

**NAPAM** - Núcleo de Apoio a Pesquisa em Análise do Movimento

**CEP** – Comitê de Ética em Pesquisa

**CNS** – Conselho Nacional de Saúde

**EVA** – Escala Visual Analógica

**VAS** – *Visual Analog Scale*

**MDP<sub>mean</sub>** – Média do *Movement Deviation Profile*

**SOM** – *Self-organizing Map*

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

### 1.1 Dor Femoropatelar

A Dor Femoropatelar (DFP) é um distúrbio musculoesquelético crônico caracterizado por uma rede multifatorial de interações complexas entre anatomia, biomecânica, fatores psicológicos e socioculturais, amplamente debatida nos últimos anos (CROSSLEY et al., 2016; POWERS et al., 2017). Comprometem significativamente a qualidade de vida da população, manifestando-se por dores que reduzem a mobilidade, limitam o desempenho no trabalho e restringem a participação ativa na vida social. Além disso, essas condições impactam diversas dimensões do bem-estar, incluindo a intensidade da dor percebida, a saúde geral, os níveis de energia, as interações sociais, o equilíbrio emocional e a saúde mental (COBURN et al., 2018; LEVEILLE et al., 2009).

As condições musculoesqueléticas que acometem o joelho estão entre as mais comuns na população, com a DFP destacando-se como a principal causa de desconforto. É caracterizada por dor de início insidioso na região peri ou retropatelar, de natureza não traumática. A dor tende a se intensificar em momentos de aumento da carga sobre a articulação femoropatelar, como durante atividades que envolvem flexão repetitiva do joelho, tais como subir e descer escadas, agachar, correr, saltar, ou mesmo ao permanecer longos períodos sentado ou com o joelho em flexão (GLAVIANO; BAZETT-JONES; BOLING, 2022). Em adultos, sua prevalência geral é de 22,7%, atingindo 29,2% das mulheres nessa faixa etária (SMITH et al., 2018).

Embora a dor seja amplamente reconhecida como o principal fator que limita a funcionalidade em indivíduos com DFP, a relação entre a intensidade da dor e as alterações cinemáticas ainda apresenta lacunas consideráveis na literatura. A dificuldade em associar diretamente os níveis de dor à perda de função pode ser explicada por variáveis subjetivas e individuais na percepção da dor e no modo como ela afeta a capacidade de execução de tarefas cotidianas. Em escalas de dor comumente utilizadas, como a de 0 a 10, níveis de dor leves a moderados (1-4) nem sempre se traduzem em um prejuízo funcional proporcional, o que indica que a dor pode não ser o único fator determinante da incapacidade funcional (BOONSTRA et al., 2014; CLEELAND, 2021). Este fato destaca a necessidade de uma avaliação mais abrangente, que considere não apenas a intensidade da dor, mas também fatores biomecânicos.

## **1.2 Adaptações motoras associadas à dor**

Em indivíduos com DFP, as respostas motoras à dor variam consideravelmente, desde ajustes sutis até a completa evitação de movimentos dolorosos (HODGES; SMEETS, 2015). Tais compensações podem incluir pequenas mudanças no padrão de marcha, como a diminuição da amplitude de movimento ou o aumento da rigidez articular, e até mesmo a alteração no padrão de ativação muscular, de forma a evitar sobrecarregar a articulação femoropatelar. Em casos mais graves, os indivíduos podem desenvolver padrões de movimento mais acentuados, como a evitabilidade de atividades de carga, levando a uma alteração significativa da marcha, o que compromete ainda mais a mobilidade e a capacidade funcional (BAZETT-JONES et al., 2022). Essas adaptações motoras são frequentemente identificadas como uma resposta fisiológica à dor, mas podem se tornar desvantajosas a longo prazo, uma vez que o movimento compensatório pode agravar a sobrecarga em outras articulações ou grupos musculares, levando a novas lesões ou disfunções musculoesqueléticas (HODGES, 2011b).

A dor musculoesquelética pode levar a adaptações no comportamento e controle motor (HODGES, 2011a; VAN DEN HOORN et al., 2015). Hodges (2011) sugere que o sistema nervoso central ajusta à atividade muscular para proteger o sistema musculoesquelético das mudanças cinemáticas que exacerbam a dor (HODGES, 2011a). A curto prazo, esses ajustes são eficazes na prevenção da dor, mas a longo prazo podem aumentar a carga nas articulações, causar modificações em áreas associadas devido a compensações, reduzir a amplitude de movimento e a variabilidade motora (HODGES; TUCKER, 2011). A influência precisa da intensidade da dor sobre o movimento durante a locomoção ainda é incerta. A relação entre a intensidade da dor e a disfunção da marcha em pacientes com DFP permanece um tema de investigação contínua, destacando a necessidade de mais estudos (CROSSLEY et al., 2019; WILLY et al., 2019).

## **1.3 Alterações cinéticas e cinemáticas na DFP**

Clinicamente, a DFP está associada à uma variedade de alterações cinemáticas e cinéticas comparado à indivíduos assintomáticos, como: menor complexidade motora em termos de coordenação muscular (FERREIRA et al., 2023), maior estresse na Articulação Femoropatelar (AFP) (BRECHTER; POWERS, 2002), incluindo alterações sutis de ativação prolongada e prematura do quadríceps durante a resposta à carga (FREDDOLINI et al., 2017) e tendência a evitar atividades que envolvam sustentação de peso, mesmo que essas adaptações

geralmente apresentem tamanhos de efeito pequenos a moderados (BAZETT-JONES et al., 2022).

Indivíduos com DFP andam mais lentamente, com menor cadência e comprimento da passada reduzida, maior queda contralateral da pelve e menor flexão e consequentemente menor momento interno extensor do joelho (BAZETT-JONES et al., 2022). Também podem apresentar pico de eversão aumentado e atrasado do retropé na resposta a carga. (BARTON et al., 2009).

Ainda não está claro se os desvios de movimento em relação ao padrão típico estão presentes antes do início da DFP ou se ocorrem como estratégias compensatório à dor. Embora esses estudos ofereçam valiosas informações em comparação com mulheres sem dor, acredita-se que essas mudanças do movimento auxiliem na redução do desconforto. No entanto, a natureza exata das modificações do movimento e seu desenvolvimento permanecem complexos e pouco compreendidos (BRECHTER; POWERS, 2002; GLAVIANO; BAZETT-JONES; BOLING, 2022).

#### **1.4 Movement Deviation Profile (MDP)**

Em estudos anteriores realizadas por nosso grupo de pesquisa, o *Movement Deviation Profile* (MDP) foi utilizado para analisar e comparar a cinemática de mulheres com DFP com a de mulheres assintomáticas em várias atividades (LOPES FERREIRA et al., 2019), incluindo a marcha (FERREIRA et al., 2023). O MDP demonstrou ser capaz de identificar potenciais diferenças cinemáticas entre esses grupos, no entanto, o tamanho amostral foi relativamente pequeno (LOPES FERREIRA et al., 2020). O MDP oferece uma abordagem inovadora para resumir e simplificar dados cinemáticos complexos (BARTON et al., 2012), condensando padrões de marcha ao compará-los com dados típicos, semelhante a outros índices de análise da marcha (SPECIALI et al., 2013, 2014), mas com características estatísticas mais robustas (GONÇALVES; LAMA; SILVA, 2022). Utilizando um mapa auto-organizado, uma técnica de aprendizado de máquina não supervisionada, o MDP simplifica os dados cinemáticos complexos em uma forma de menor dimensão, determinando os pesos e características das variáveis cinemáticas da marcha que foram inseridas na entrada da rede neural. Um resultado simplificado fornecido por essa rede de informações discrimina o quão distante o grupo com DFP está do grupo saudável, ou seja, o quanto a marcha de indivíduos com DFP difere da marcha de pessoas sem dor.

### **1.5 Justificativa**

Com isso, buscamos desenvolver um estudo para verificar a associação entre variáveis cinemáticas angulares, utilizando o MDP e a intensidade da dor em mulheres com DFP durante a marcha. Esse estudo pode fornecer percepções valiosas sobre os mecanismos subjacentes a essa condição prevalente. A DFP é um distúrbio musculoesquelético comum, especialmente entre mulheres, e está associada a diversas adaptações que podem afetar o movimento e a qualidade de vida. No entanto, a relação precisa entre as alterações na marcha e a intensidade da dor ainda não é bem compreendida, possivelmente devido à dificuldade de identificar essas alterações a olho nu. Compreender essa associação pode esclarecer se as alterações na marcha variam conforme a intensidade da dor e contribuir para o desenvolvimento de estratégias de avaliação e manejo mais eficazes na reabilitação. Isso é crucial para melhorar a qualidade de vida das pacientes, oferecendo intervenções mais direcionadas e baseadas em evidências, além de reforçar a capacidade do MDP na análise da marcha.

## 2 OBJETIVOS

Verificar se há associação entre o *Movement Deviation Profile* e a intensidade da dor em mulheres com dor femoropatelar durante a marcha.

### **3 MÉTODOS**

#### **3.1 Desenho e Local do Estudo**

Refere-se a uma análise retrospectiva desenvolvida e conduzida no Núcleo de Apoio a Pesquisa em Análise do Movimento (NAPAM) situado na Universidade Nove de Julho (UNINOVE), campus Vergueiro, São Paulo, Brasil.

#### **3.2 Aspectos Éticos**

O presente estudo foi analisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNINOVE (parecer nº 1.912.221) de acordo com as diretrizes e normas regulamentadoras da resolução 196/96 do (CNS).

#### **3.3 Amostra e Participantes**

Um total de 571 participantes diagnosticadas com DFP e 571 participantes saudáveis pareadas, que serviram como referência para padrões típicos de marcha, foram selecionadas do banco de dados do laboratório e registradas entre 2012 e 2020.

As participantes deste estudo eram mulheres saudáveis do bancos de dados de pesquisas anteriores que atendiam aos mesmos critérios clínicos e protocolos de coleta de dados biomecânicos. As participantes apresentaram dor retropatelar e/ou peripatelar por um período mínimo de três meses, com uma classificação de intensidade da dor de pelo menos 3 na Escala Visual Analógica (EVA) (ANEXO A) (CROSSLEY et al., 2004; THOMEÉ; AUGUSTSSON; KARLSSON, 1999), e relataram dor durante pelo menos duas das seguintes atividades: sentar por longos períodos, subir escadas, agachar, correr ou pular. Os critérios de exclusão incluíam histórico de cirurgia de membro inferior ou coluna vertebral, luxação patelar, dor anterior no joelho resultante de trauma, condições coexistes no joelho, como lesões meniscais e/ou ligamentares, dor lateral e/ou posterior no joelho, problemas cardiovasculares ou distúrbios de locomoção que pudessem impactar a avaliação, gravidez e discrepância no comprimento dos membros maior que 1 cm, medida com uma fita métrica.

### **3.4 Procedimentos**

Na avaliação, os pacientes assinaram o termo de consentimento para participação no estudo. Foram coletados dados clínicos e de identificação de cada indivíduo, como: nome, data de nascimento, profissão e atividades que exacerbavam e/ou aliviavam a dor.

Após a anamnese, os participantes foram submetidos a um protocolo de mensurações antropométricas, essenciais para a aplicação do modelo biomecânico Plug-in Gait Vicon®, visando o cálculo das variáveis em estudo (KADABA; RAMAKRISHNAN; WOOTTEN, 1990). As mensurações incluíram altura, peso, comprimento dos membros inferiores e avaliação da torção tibial.

Após a seleção conforme os critérios estabelecidos, todas as participantes realizaram uma avaliação cinemática tridimensional da marcha, seguindo as condições que serão descritas nos próximos tópicos. O diagnóstico clínico foi confirmado por um fisioterapeuta qualificado e experiente, que realizou testes físicos para a confirmação da dor femoropatelar (WILLY et al., 2019).

A EVA foi utilizada para registrar a intensidade média da dor do participante no momento da anamnese.

### **3.5 Calibração do Sistema de Captura**

Em cada dia de coleta de dados foi realizada a calibração do sistema Vicon Nexus®. Para determinar as coordenadas de referência do laboratório (X, Y e Z), utilizou-se uma haste equipada com cinco luzes infravermelhas, de distância entre elas fixas e já reconhecida pelo software, para a varredura do espaço de interesse. Esta haste foi movida em todos os planos dentro do volume definido, gerando dados sobre a localização e orientação das câmeras dentro do mesmo espaço (calibração dinâmica). Logo após, essa mesma haste foi posicionada no centro do laboratório para determinar a origem do sistema de coordenadas do volume de calibração.

### **3.6 Preparação dos Participantes de Pesquisa**

Todos os participantes usavam shorts e sutiã-top para facilitar a colocação dos marcadores. A pele foi limpa com algodão e álcool 70% para melhor fixação dos marcadores.



### 3.7 Colocação dos Marcadores

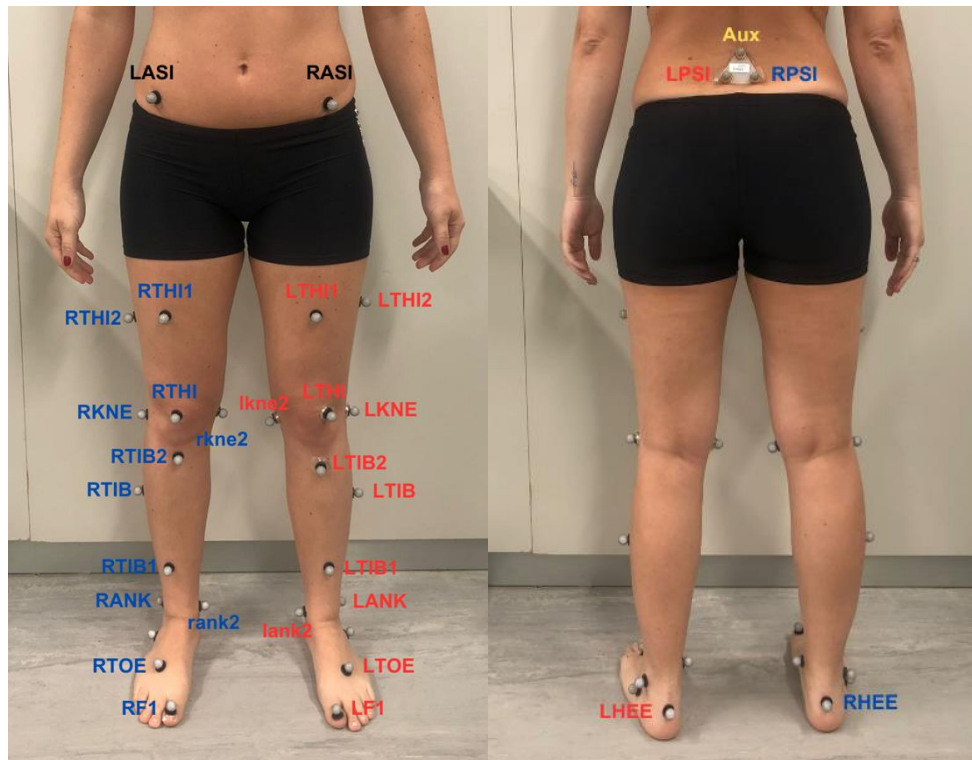
Os marcadores utilizados são esferas de polietileno revestidas com fita adesiva contendo esferas microscópicas de vidro, fixadas sobre uma base plástica que permite a aplicação de fita dupla face diretamente na pele do sujeito. Este design esférico possibilita a reflexão da luz em todas as direções, assegurando que os marcadores permaneçam visíveis para o conjunto de câmeras utilizado na coleta de dados, independentemente da sua posição no volume de coleta. Além disso, a leveza dos marcadores contribui para o conforto dos participantes, evitando qualquer desconforto ou limitação em seus movimentos durante a avaliação.

Vinte e nove marcadores esféricos retro-reflexivos, com diâmetros de 14 mm, foram fixados em pontos anatômicos específicos utilizando fita dupla face (3M<sup>®</sup>), servindo como referências para o sistema de captura da análise do movimento (FIGURA 1). Os marcadores foram posicionados um cluster nas espinhas ilíacas póstero-superiores (RPSI, LPSI e AUX), na região anterior (RTHI1 e LTHI1) e lateral (RTHI2 e LTHI2) do terço medial da coxa, na face lateral da base da patela (RTHI e LTHI), no epicôndilo femoral lateral (RKNE e LKNE), no terço médio lateral (RTIB e LTIB) e anterior (RTIB1, RTIB2 e LTIB1, LTIB2) da perna, no maléolo lateral (RANK e LANK), no terço médio entre o 2º e 3º metatarsos (RTOE e LTOE), no calcâneo (RHEE e LHEE) e no hálux (RF1 e LF1). Fora os quatro marcadores para cálculo do centroide das articulações do joelho e tornozelo posicionados nos maléolos mediais (rkne2 e lkne2, rank2 e lank2), respectivamente. Este conjunto de marcadores conhecido como *Plugin Gait* ou *Conventional gait model* foi baseado no modelo Helen Hayes, utilizado para estimar a posição dos centros articulares e calcular a cinemática tridimensional das articulações do tronco, pelve, quadril, joelho e tornozelo (KADABA; RAMAKRISHNAN; WOOTTEN, 1990).

O método empregado envolve a estimativa de um sólido representando cada segmento anatômico, por meio da identificação de pontos anatômicos e do rastreamento dos marcadores, ou pela formação de grupos de marcadores (clusters) que representam um mesmo segmento.

Um cluster, composto por três marcadores dispostos de maneira não colinear e fixados em uma base rígida de polipropileno, foi utilizado na região posterior da pelve (RPSI, LPSI e AUX). Este cluster foi fixado entre as espinhas ilíacas póstero-superiores, e foi configurado para formar um sólido.

A colocação dos marcadores foi realizada por um único examinador experiente, garantindo consistência em todas as condições avaliadas dos pacientes.



**Figura 1:** Conjunto de marcadores retro-reflexivos posicionados nas estruturas e segmentos anatômicos para aquisição dos dados cinemáticos.

### 3.8 Análise Tridimensional da Marcha

Para a aquisição dos dados cinemáticos, foi utilizado o sistema Vicon® (Vicon, Denver, CO), composto por oito câmeras infravermelhas operando a uma frequência de 120 Hz. O sistema é dividido em quatro componentes principais: refletor, emissor, meio de transmissão e receptor.

Os marcadores, posicionados estrategicamente sobre a pele do paciente em pontos correspondentes a proeminências ósseas, foram organizados de modo a formar planos anatômicos. A análise da posição desses planos no espaço é realizada com base no movimento relativo entre os segmentos corporais e em relação a um sistema de coordenadas fixo, estabelecido no laboratório.

O sistema de captura de movimento, com suas câmeras emissoras de luz infravermelha, é projetado para refletir a luz nos marcadores aplicados ao corpo. Cada câmera é equipada com LEDs (Diodos Emissores de Luz) dispostos em torno de sua lente, emitindo

luz infravermelha que é refletida pelos marcadores. O formato esférico dos marcadores assegura que a luz seja refletida em todas as direções, desde que permaneçam no campo de visão das câmeras.

As câmeras receptoras, sensíveis ao espectro de luz infravermelha, varrem vários pontos dentro de uma área pré-determinada, capturando imagens tridimensionais. Para garantir a precisão na reconstrução espacial, cada marcador precisa ser captado por, no mínimo, duas câmeras, o que permite a reconstrução 3D da sua posição. A utilização de múltiplas câmeras aumenta a robustez do sistema, possibilitando a captação de movimento mesmo em situações de obstrução visual, como pode ocorrer durante a marcha.

Todas as câmeras foram conectadas a um computador equipado com placas especializadas para o processamento do sinal de vídeo, que integram diferentes dispositivos em uma estação de trabalho. Essas placas executam funções como controle de temporização, geração de coordenadas e interface de comunicação com as câmeras.

Após a coleta, os dados foram armazenados temporariamente na memória de vídeo e processados pelo software Vicon Nexus®, que reconstrói as posições tridimensionais dos marcadores utilizando um modelo biomecânico, em conjunto com algoritmos matemáticos avançados.

### **3.9 Familiarização e Descrição da Tarefa**

Os voluntários foram inicialmente apresentados aos equipamentos e procedimentos do experimento, recebendo instruções claras sobre como realizar a tarefa. Para facilitar a compreensão, foi conduzida uma simulação prática, durante a qual os participantes caminharam na pista de coleta.

Para iniciar o experimento, os indivíduos foram posicionados no centro da área de coleta e permaneceram em posição estática por alguns segundos. Essa pausa foi essencial para permitir a leitura e o reconhecimento dos marcadores. A correta localização dos marcadores sobre as espinhas ilíacas antero superiores é fundamental para identificar os centros articulares e realizar os cálculos necessários à análise cinemática dos membros inferiores. A precisão dos dados cinemáticos pode ser afetada se os marcadores forem ocluídos, total ou parcialmente, ou se não estiverem corretamente alinhados com as espinhas ilíacas. Essa oclusão ocorre frequentemente devido a características morfológicas, como a presença de uma quantidade significativa de tecido mole na região abdominal (CAPPOZZO et al., 1996).

Para minimizar o risco de oclusões e erros de posicionamento, utilizou-se uma haste equipada com três marcadores de 25 mm, sendo dois retro-reflexivos e um invisível para as câmeras. Após a coleta inicial em condição estática, os dados dinâmicos foram obtidos através do apontador. A extremidade da haste, posicionada a 260 mm de distância, foi sucessivamente colocada sobre as espinhas ilíacas anterossuperiores esquerda e direita. A partir das informações dos marcadores do apontador (Pt1 e Pt2) e dos três marcadores na região posterior da pelve (cluster), foram gerados duas esferas virtuais que correspondem às espinhas ilíacas anterossuperior direita e esquerda (RASI e LASI, respectivamente).

Após a fase de coleta estática, os participantes realizaram pelo menos seis caminhadas descalças, sem a inclusão de tarefas adicionais. Foram instruídos a adotar uma velocidade escolhida por eles, buscando simular as condições reais do cenário em estudo.

### **3.10 Processamento dos Dados**

As trajetórias dos marcadores em 3D foram analisadas utilizando o software Vicon Nexus 2.x para estimar os centros articulares. O ciclo de marcha foi realizado utilizando algoritmos que preveem os eventos de contato inicial e desprendimento dos dedos, com base na metodologia descrita por Zeni Jr. et al. (2008) (ZENI; RICHARDS; HIGGINSON, [s.d.]). Um filtro de *Woltring* com erro quadrático médio de dois (2 MSE) foi aplicado para minimizar o ruído vibratório nas trajetórias dos marcadores, causado por artefatos de tecido mole. Seis ciclos de marcha por participante foram selecionados para análise, totalizando 3.426 ciclos de marcha. Os movimentos do tronco e da pelve em relação ao laboratório, da coxa em relação à pelve, da perna em relação à coxa e do pé em relação à perna foram calculados (THOMAS et al., 2022).

### **3.11 Movement Deviation Profile**

O *Movement Deviation Profile* (MDP) é uma abordagem simplificada para resumir e compreender dados cinemáticos, utilizando uma rede neural auto organizável para analisar o movimento. Esse mapa auto organizável é uma técnica de aprendizado de máquina não supervisionada que produz uma representação de baixa dimensão de um conjunto de dados de alta dimensão, preservando a estrutura dos dados (BARTON et al., 2012). Essa metodologia facilita a discriminação eficaz dos dados (CALLAN et al., 1999; VAN DIEST et al., 2015).

Neste estudo, o MDP quantifica o desvio na marcha de indivíduos com DFP em relação a um padrão de normalidade definido. Para estabelecer a marcha típica, foi empregada uma base de dados composta por 571 participantes saudáveis pareadas por peso, altura e idade.

Um conjunto de 14 curvas cinemáticas articulares, cada uma representada por uma série temporal de 51 pontos, foi extraído de uma base de dados de indivíduos saudáveis para treinar a rede. Foram consideradas as seguintes informações cinemáticas: ângulos dos planos frontal, sagital e transversal dos segmentos do tronco e da pelve em relação ao laboratório; planos frontal, sagital e transversal do quadril em relação à pelve; planos frontal e sagital do joelho em relação à coxa; plano sagital do pé em relação à perna; e plano transversal do pé em relação ao laboratório. Esse processo permitiu estabelecer uma definição operacional de marcha típica.

O critério de desempenho da rede neural foi, então, utilizado para quantificar o desvio do grupo com DFP em relação a essa linha de base normativa. A rede calcula a distância euclidiana multidimensional entre cada participante do grupo DFP e a referência derivada da cinemática da base de dados saudável. Esse processo gera uma curva única (composta por 51 pontos de dados extraídos de 14 curvas cinemáticas) para cada indivíduo, refletindo seu desvio em relação à referência normativa durante o movimento. A média da curva do MDP ( $MDP_{\text{médio}}$ ) das mulheres com DFP foi calculada para análise estatística.

### **3.12 Análise Estatística**

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados, com os resultados expressos como médias com intervalos de confiança de 95% (IC 95%). O teste de correlação de Pearson foi empregado para determinar a correlação entre dor e a média do MDP ( $MDP_{\text{médio}}$ ). Todas as análises foram realizadas utilizando o software SPSS (versão 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL), com significância estatística estabelecida em  $p < 0,05$ .

## 4 RESULTADOS

Os resultados da presente dissertação será apresentado no formato de artigo científico submetido a revista indexada *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* (APÊNDICE A).

### 4.1 Artigo

Patellofemoral pain is associated with complex gait deviations captured by an AI-derived gait index.

#### 4.1.1 Abstract

**Objective:** Investigate the association between MDP and pain intensity in women with Patellofemoral Pain (PFP) during gait.

**Design:** Retrospective cohort study

**Setting:** Institutional practice and research laboratory

**Participants:** This retrospective study included data from 571 women with PFP (age:  $26.97 \pm 6.3$  years; height:  $1.65 \pm 0.5$  m; mass:  $60.5 \pm 3.1$  kg) and 571 asymptomatic women, collected between 2012 and 2020.

**Interventions:** The participants with PFP reported retro or peripatellar pain for at least three months, with a minimum pain intensity of 3 on the Visual Analog Scale (VAS). Gait was assessed using an eight-camera Vicon system, with data processed through the Plug-in Gait model. The Movement Deviation Profile (MDP) was used to quantify gait deviations in the PFP group compared to the control group, which exhibited a typical gait pattern.

**Results:** The mean and 95% confidence intervals for the NPRS were 6.03 (5.91–6.15), while the average MDP was  $13.17^\circ$  ( $12.73^\circ$ – $13.61^\circ$ ). A strong positive correlation ( $r=0.959$ ,  $p<0.001$ ) between pain intensity and average MDP, suggests that higher pain levels are associated with greater gait deviations.

**Conclusions:** Pain can alter movement, but abnormal movement can also cause pain. Tools like the MDP are crucial for assessing gait deviations and correlating them with pain severity in PFP patients. Our findings show that higher MDP mean scores align with greater pain, indicating compensatory gait changes. Clinically, PFP involves various adaptations impacting function

and quality of life. This study emphasizes the importance of integrating movement analysis and targeted interventions for effective PFP management and rehabilitation.

**Keywords:** Patellofemoral pain, Movement Deviation Profile, Gait analysis, Joint kinematics.

#### 4.1.2 Introduction

Patellofemoral pain (PFP) is the most common knee pain and the second most prevalent musculoskeletal disorder (1), particularly between females, with an annual prevalence rate estimated at approximately 29.2% (2). Pain is a distinct factor contributing to disability, independent of physical impairments (3). However, clinical data on pain severity levels, especially regarding whether specific pain thresholds correlate with impaired functional activity, present some limitations (i.e., 1-4 pain levels do not necessarily correspond to greater functional loss on a 0-10 scale) (4–6).

Clinically, pain produces a broad spectrum of motor adaptations, ranging from subtle motor compensations during task execution to the complete avoidance of painful movements (7). In addition, there is a tendency to avoid weight-bearing activities in women with PFP. Such kinematic changes are generally regarded as limited low-to-moderate evidence, but they provide valuable insights compared to pain-free females (8).

There are known associations between pain and observed kinematic variations during gait in individuals with PFP (9), specifically reduced walking speed with a lower cadence, shorter stride length, a greater contralateral pelvic drop, less knee flexion and consequently a lower internal knee extensor moment (8). However, it remains uncertain whether the observed movement deviations are correlated with the intensity of pain experienced.

In previous studies conducted by our research group, the Movement Deviation Profile (MDP) was used to analyze and compare the kinematics of women with PFP to those of asymptomatic women across various activities (11). The MDP offers a solid approach to

summarizing and simplifying complex kinematic data (14), condensing gait patterns by comparing them to typical data, similar to other gait analysis indices (15,16), but with more robust statistical features (17). Using a self-organizing map (SOM), an unsupervised machine learning technique, the MDP simplifies complex kinematic data into a lower-dimensional form. A simplified single-number summary measure provided by this method, the  $MDP_{mean}$ , determines how distant individuals with PFP are from the pain-free control group.

### **4.1.3 Methods**

#### ***Study design***

A retrospective cohort study was designed, approved by the local ethics committee and conducted in a human movement laboratory (protocol number 1.912.221).

#### ***Participants***

A total of 571 female volunteers diagnosed with PFP and 571 matched unimpaired female participants who served as a reference for typical gait patterns, were selected from the laboratory's database and recorded between 2012 and 2020. The participants were matched based on age, height, and weight.

All participants provided informed consent prior to data collection. Participants in this study were unimpaired women from previous research databases who met the same clinical criteria and biomechanical data collection protocols, and with the diagnosis of PFP as confirmed by an experienced physiotherapist (18). The PFP group comprised women aged 18 to 35 years who engaged in physical activity for at least 20 minutes three times a week. These participants experienced retropatellar and/or peripatellar pain for a minimum duration of three months, with a pain intensity rating of at least 3 on a Visual Analog Scale (VAS) (19), and reported pain during at least two of the following activities: prolonged sitting, stair climbing, squatting, running, or jumping (20).

Exclusion criteria included a history of lower limb or spinal surgery, patellar dislocation, anterior knee pain resulting from trauma, coexisting knee joint conditions such as meniscal and/or ligament injuries, lateral and/or posterior knee pain, cardiovascular issues or locomotion disorders that could impact assessment, pregnancy and lower limb length discrepancy greater than 1 cm.



## ***Procedures***

All participants who underwent the 3D gait assessment were subjected to the same procedures. Kinematic data were captured using a Vicon system<sup>a</sup> (Vicon, Denver, CO) with 8 Bonita 10 cameras (sampling at 120 Hz). Thirty-three spherical retroreflective markers with a diameter of 14 mm using double-sided tape were placed in specific locations on the trunk, pelvis, leg, and foot, following the Plug-in Gait model (21). The data collection was conducted following a brief training session to familiarize participants. The volunteers walked barefoot across a designated space in the laboratory at a self-selected speed. Anthropometric measurements (i.e., height, mass, distance between the anterior superior iliac spines, width of knees and ankles, and length of lower limbs) were taken. The marker coordinates were captured, reconstructed in 3D and labelled according to the 3D biomechanical model used. The Visual Analogue Scale (VAS) (19) data were also retrieved from our laboratory database. Before gait data capture, all participants were asked to report the average pain they experienced over the last four weeks in a standardized manner.

## ***Data Analysis***

### **Processing**

The 3D marker trajectories were further processed using Vicon Nexus<sup>b</sup> 2.14 software to estimate the joint centers. Gait cycles were identified using algorithms that predict initial contact and toe-off events based on the method described by Zeni Jr. et al. (2008) (22). A Woltring filter with a two mean squared error (2 MSE) was applied to minimize vibration noise in the marker trajectories caused by soft tissue movement. Six gait cycles per participant were selected for analysis, performing a total of 3,426 gait cycles. The angular movements of the trunk and pelvis in relation to the laboratory, the thigh in relation to the pelvis, the shank in relation to the thigh, the foot in relation to the shank and in relation to the laboratory were calculated.

### **Movement Deviation Profile**

The Movement Deviation Profile (MDP), simplifies and summarizes kinematic data using a self-organizing map (SOM) (23) an unsupervised machine-learning technique that generates a low-dimensional representation of a high-dimensional dataset while preserving most of the informational content(14). This approach facilitates effective discrimination of data

(24,25). In this study, the MDP quantifies the deviation in the gait of individuals with PFP relative to gait normality comprising 571 healthy female volunteers. For the calculation of the MDP, the following kinematic data were considered: absolute angles in the frontal, sagittal, and transverse planes of the trunk and pelvis segments relative to the laboratory, the frontal, sagittal, and transverse planes of the hip relative to the pelvis, the frontal and sagittal planes of the knee relative to the thigh, the sagittal plane of the foot relative to the shank, and the absolute transverse plane of the foot.

A combined set of 14 kinematic joint curves from the healthy participant database was used to train the neural network, SOM, establishing an operational definition of typical gait patterns. The same set of 14 kinematic curves of the PFP group was then presented to the trained SOM. The neural network's performance metric was then utilized to quantify deviations in the PFP group from normality. The MDP is the multidimensional Euclidean distance between each PFP participant, and gait normality derived from the kinematics of unimpaired controls, generating a unique deviation curve (comprising 51 data points derived from the 14 kinematic curves) for each individual. This curve reflected the extent of deviation from normative gait patterns and the  $MDP_{mean}$  is the average of the 51 MDP values calculated during a gait cycle.

### ***Statistical analysis***

The Shapiro-Wilk test was used to verify data normality, and the results were expressed as means with 95% confidence intervals (95% CI). Pearson's correlation test was used to determine the correlation between pain and  $MDP_{mean}$ . All analyses were performed using SPSS software<sup>c</sup> (version 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL), with statistical significance set at  $p < 0.05$ .

#### **4.1.4 Results**

No significant differences were observed in the mean values for age, height, and body mass. Table 1 presents the mean values along with the 95% confidence intervals for each variable. The MDP mean ( $MDP_{mean}$ ) had a mean value of  $13.17^\circ$  ( $12.73^\circ - 13.61^\circ$ ) 95% confidence intervals, indicating the average extent of deviation from typical movement patterns. The MDP curves is shown in Figure 1.

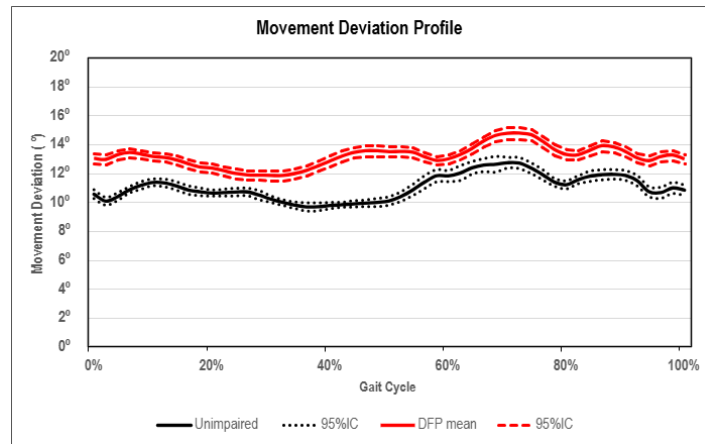


Figure 1. Movement deviation profile (mean and 95% confidence interval) for gait in the unimpaired group (black) and PFP group (red).

The data in Table 1 provides a detailed breakdown of pain intensity levels reported by individuals in the study, measured using the Visual Analog Scale (VAS) ranging from 0 to 10. Most individuals reported a pain level of 5, representing 33.46% of the sample, followed closely by a level of 6, reported by 29.4% of participants. This distribution highlights that most participants experienced moderate to high pain intensities.

Table 1. Anthropometric and descriptive characteristics of the sample and distribution of pain levels.

|                        | <b>PFP</b>           | <b>Unimpaired</b>     |
|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Age (years)            | 23.98 (22.8 – 25.16) | 23.97 (21.70 – 26.24) |
| Height (m)             | 1.63 (1.60 – 1.65)   | 1.62 (1.61 – 1.63)    |
| Body mass (kg)         | 57.61 (54.7 – 60.52) | 57.65 (55.07 – 60.23) |
| VAS (0-10 points)      | 6.03 (5.91 – 6.15)   | -                     |
| Normalized speed (m/s) | 1.12 (1.11 – 1.13)   | 1.13 (1.12 – 1.14)    |
| <b>VAS</b>             | <b>N</b>             | <b>%</b>              |
| 3 (0-10 points)        | 13                   | 2.51                  |
| 4 (0-10 points)        | 48                   | 9.28                  |
| 5 (0-10 points)        | 173                  | 33.46                 |
| 6 (0-10 points)        | 152                  | 29.40                 |
| 7 (0-10 points)        | 64                   | 12.38                 |
| 8 (0-10 points)        | 102                  | 19.73                 |
| 9 (0-10 points)        | 19                   | 3.68                  |

Mean and 95% confidence interval in brackets; VAS: visual analog scale; normalized speed = speed / sqrt (body height/average body height).

A statistically significant ( $p < 0.001$ ) strong positive correlation was found between pain intensity and the  $MDP_{mean}$ , with a Pearson's correlation coefficient of 0.959, suggesting that higher pain levels are closely associated with increased movement deviations, showed in Figure 2.

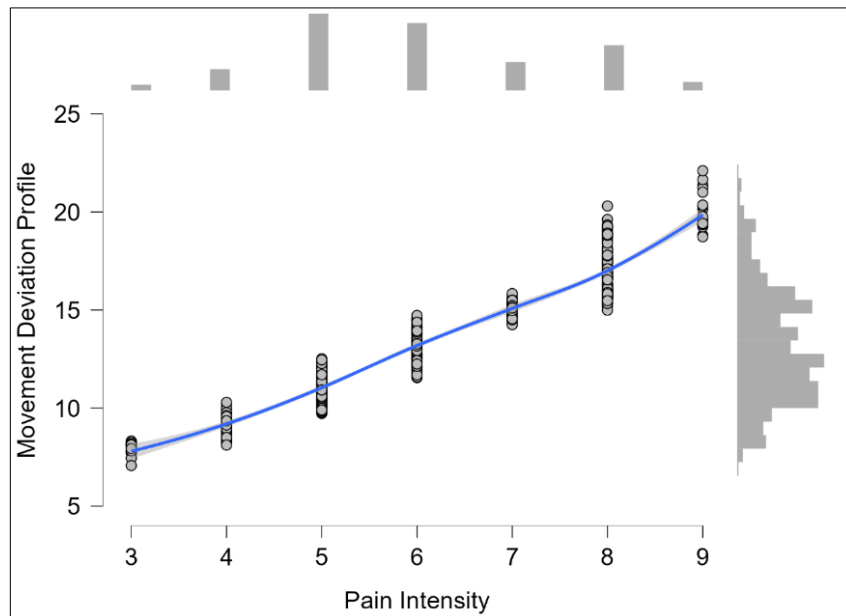


Figure 2. Correlation between the mean Movement Deviation Profile ( $^{\circ}$ ) ( $MDP_{mean}$ ) and pain intensity (Visual Analogic Scale (VAS)). The regression line is shown with 95% confidence interval (blue). Grey histograms on the top and right of the scatter plot depict the frequency distribution of  $MDP_{mean}$  and VAS scores, respectively.

#### 4.1.5 Discussion

Pain can produce many changes in movement (26). Analytical gait tools can be fundamental for making informed decisions by accurately determining how much a condition deviates from a pre-established reference (30). The MDP, with its robust statistical power (17), enhances this process by providing simplified, time-based data, facilitating the identification and interpretation of deviations in movement patterns. Our findings strongly correlate pain levels and PFP gait deviations from typical gait patterns. This underscores the significant impact of pain on motor function, demonstrating that increased pain intensity is associated with more pronounced compensatory changes in gait.

Clinically, in the PFP population, pain is related to a variety of kinematic and kinetic alterations compared to asymptomatic individuals, such as reduced motor complexity in terms of muscle coordination (12), increased stress on the patellofemoral joint (27), including subtle changes like prolonged and premature activation of the quadriceps during the loading response phase of the gait cycle (28), and a tendency to avoid weight-bearing activities, even though these adaptations generally exhibit small to moderate effect sizes (8,10). They may also exhibit increased and delayed peak eversion of the rearfoot in response to loading (9). This condition can profoundly impact lifestyle and overall quality of life, affecting various dimensions such as physical function, pain levels, general health, vitality, and social, emotional, and mental well-being (29). It remains unclear whether movement deviations from the typical pattern are present prior to the onset of PFP or if they occur as compensatory strategies in response due to pain. While these studies provide valuable insights when compared to women without pain, it is believed that these movement alterations help alleviate discomfort, however, the precise nature of these movement modifications and their progression remains complex and poorly understood (8,10).

Musculoskeletal pain can lead to adaptations in behavior and motor control (31,32). It is suggested that the central nervous system adjusts muscle activity to protect the musculoskeletal system from kinematic changes that exacerbate pain. In the short term, these adjustments are effective in preventing pain, but in the long term, they may increase load on the joints, cause modifications in associated areas to compensations, and reduce both range of motion and motor variability (26). These motor outputs are adaptable and influenced by various mechanisms (33–38), leading to individual differences even among similar diagnoses. Acute musculoskeletal injuries typically involve peripheral pain mechanisms, while chronic regional pain syndrome is more affected by central mechanisms. Thus, protective motor responses can turn maladaptive if disuse persists despite tissue healing (39).

Our findings indicate that the reported pain intensity increases as the  $MDP_{mean}$  score rises. The observed strong correlation between  $MDP_{mean}$  and pain intensity underscores the potential of MDP to act as a sensitive indicator of pain severity over deviations from typical movement patterns, which may contribute to or exacerbate discomfort. The relationship between pain intensity and its interference with function appears to be non-linear, indicating that pain, while it could be distracting and uncomfortable at lower intensities, generally does not cause significant functional limitations until it reaches a higher threshold. For example, pain ratings between 1 and 4 on a 0-10 scale often have limited impact on daily activities in cancer patients, a condition that is inherently more complex and delicate. It is typically only when pain

levels cross a certain threshold that interference with function becomes a pronounced issue for patients (4,5). In turn, the  $MDP_{mean}$  shows a rather linear increase with pain, which can be a useful tool to add to the assessment of PFP in the long term. This suggests that, regardless of the perception of mild pain, the analysis of the MDP can reveal significant deviations in movement patterns that may not be evident in other functional assessments.

MDP can analyze biological signals (14), several variables, and other different movement tasks (11). Recent studies conducted by our research group have shown that MDP is highly effective in distinguishing between faller and non-faller older adults(40). Additionally, in studies related to PFP, MDP has demonstrated its ability to differentiate movement patterns during walking (12) and has shown kinematic correlations with pain sensitization when compared to a healthy group. It also offers another output analysis and is validated for other movements compared with the Gait Deviation Index (42). While systematic reviews have identified specific gait deviations in individuals with PFP across various tasks, including walking (8,10), there remains insufficient evidence linking pain intensity to gait patterns, primarily due to limited sample sizes. To our knowledge, no study has yet explored this association. In the meantime, this capability to differentiate quantitatively remained evident even when correlated with the intensity of patellofemoral pain.

Understanding how walking mechanics and pain intensity relate is crucial for refining rehabilitation strategies. Effective rehabilitation needs to consider the complex interplay between gait deviations and pain. Using three-dimensional gait analysis and the MDP, subtle gait changes and specific patterns tied to different pain levels were observed. This approach gives us a better view of how pain affects gait and helps craft more precise intervention plans.

Although advancements in gait analysis have been made, identifying subtle gait changes in clinical settings remains challenging. Tools like as three-dimensional gait analysis and the MDP provide valuable insights, yet translating these findings into practical use in daily clinical routines can be difficult. However, clinicians need more than the MDP alone for evidence-based interventions. It is essential to identify specific movement deviations in joints and planes and the timing of these deviations during the gait cycle to direct interventions and rehabilitation effectively. This detailed information is present in the 14 gait curves collected, which require further analysis in addition to the MDP.

This study highlights to clinicians that even when gait deviations are not immediately visible during routine evaluations, the results point to clear alterations in gait patterns that correspond with pain levels. Specifically, patients tend to display more significant deviations from typical gait patterns as pain intensity increases. For researchers, this study also offers a

powerful tool to measure the impact of rehabilitation treatments, especially within clinical trials. Beyond revealing gait differences in women with patellofemoral pain, the approach can potentially uncover movement variations associated with other conditions that affect human mobility.

### **Study Limitations**

This study has several limitations that should be acknowledged. First, the retrospective design may introduce recall bias, particularly concerning the pain intensity levels reported by participants. Second, the study relies on self-reported pain measures using the Visual Analog Scale (VAS), which, while widely used, can be subjective and vary between individuals. Third, the study sample consists of physically active young females from a single geographic location, which may limit the generalizability of the findings to other populations or age groups. Finally, although the Movement Deviation Profile (MDP) provides a comprehensive analysis of gait deviations, it does not account for other factors such as muscle strength, endurance, or psychological factors that may also influence gait patterns and pain perception.

#### **4.1.6 Conclusion**

In conclusion, this study demonstrates a strong positive correlation between pain intensity and movement deviations in women with patellofemoral pain, as measured by the Movement Deviation Profile (MDP). The findings suggest that higher pain levels are closely associated with greater deviations from typical gait patterns. This association highlights the importance of addressing pain management and movement correction in the rehabilitation of individuals with patellofemoral pain. Future research should focus on exploring the impact of interventions targeting both pain and movement deviations to enhance functional outcomes and improve the quality of life for individuals affected by this condition. By incorporating comprehensive gait analysis tools such as the MDP, clinicians can better assess and tailor treatment strategies to meet the specific needs of their patients.

#### **4.1.7 Suppliers**

<sup>a</sup> Vicon Motion Capture System, Denver, Colorado.

<sup>b</sup> Vicon Nexus, Version 2.14, Denver, Colorado.

<sup>c</sup> SPSS, version 20.0 software; SPSS Inc.

#### 4.1.8 References

1. Crossley KM, Stefanik JJ, Selfe J, Collins NJ, Davis IS, Powers CM, 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 measures. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016 Jul 1 [cited 2024 Aug 8];50(14):839–43. Available from: <https://bjsm.bmj.com/content/50/14/839>
2. Smith BE, Selfe J, Thacker D, Hendrick P, Bateman M, Moffatt F, et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* [Internet]. 2018 Jan 1 [cited 2024 Aug 8];13(1):e0190892. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0190892>
3. Leveille SG, Jones RN, Kiely DK, Hausdorff JM, Shmerling RH, Guralnik JM, et al. Chronic Musculoskeletal Pain and the Occurrence of Falls in an Older Population. *JAMA : the journal of the American Medical Association* [Internet]. 2009 [cited 2024 Oct 31];302(20):2214. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2927855/>
4. Cleeland CS. The Impact of Pain on the Patient With Cancer. [cited 2024 Oct 31]; Available from: <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1097-0142>
5. Cleeland CS. Pain Assessment in Cancer. Effect of Cancer on Quality of Life [Internet]. 2021 Nov 1 [cited 2024 Oct 31];293–305. Available from: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003068648-21/pain-assessment-cancer-charles-cleeland>
6. Boonstra AM, Preuper HRS, Balk GA, Stewart RE. Cut-off points for mild, moderate, and severe pain on the visual analogue scale for pain in patients with chronic musculoskeletal pain. *Pain* [Internet]. 2014 [cited 2024 Oct 31];155(12):2545–50. Available from: [https://journals.lww.com/pain/fulltext/2014/12000/cut\\_off\\_points\\_for\\_mild,\\_moderate,\\_and\\_severe\\_pain.16.aspx](https://journals.lww.com/pain/fulltext/2014/12000/cut_off_points_for_mild,_moderate,_and_severe_pain.16.aspx)
7. Hodges PW, Smeets RJ. Interaction between pain, movement, and physical activity: Short-term benefits, long-term consequences, and targets for treatment. *Clinical Journal of Pain*. 2015 Feb 21;31(2):97–107.



8. Bazett-Jones DM, Neal BS, Legg C, Hart HF, Collins NJ, Barton CJ. Kinematic and Kinetic Gait Characteristics in People with Patellofemoral Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine* 2022 53:2 [Internet]. 2022 Nov 5 [cited 2024 Aug 8];53(2):519–47. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-022-01781-1>
9. Barton CJ, Levinger P, Menz HB, Webster KE. Kinematic gait characteristics associated with patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *Gait Posture* [Internet]. 2009 Nov [cited 2024 Sep 29];30(4):405–16. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19651515/>
10. Glaviano NR, Bazett-Jones DM, Boling MC. Pain severity during functional activities in individuals with patellofemoral pain: A systematic review with meta-analysis. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2022 May 1 [cited 2024 Aug 8];25(5):399–406. Available from: <http://www.jsams.org/article/S144024402200010X/fulltext>
11. Lopes Ferreira C, Barton G, Delgado Borges L, dos Anjos Rabelo ND, Politti F, Garcia Lucareli PR. Step down tests are the tasks that most differentiate the kinematics of women with patellofemoral pain compared to asymptomatic controls. *Gait Posture*. 2019 Jul 1;72:129–34.
12. Ferreira CL, Barroso FO, Torricelli D, Pons JL, Politti F, Lucareli PRG. Muscle synergies analysis shows altered neural strategies in women with patellofemoral pain during walking. *PLoS One* [Internet]. 2023 Oct 1 [cited 2024 Aug 11];18(10):e0292464. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0292464>
13. Lopes Ferreira C, Barroso FO, Torricelli D, Pons JL, Politti F, Lucareli PRG. Women with patellofemoral pain show altered motor coordination during lateral step down. *J Biomech*. 2020 Sep 18;110:109981.
14. Barton GJ, Hawken MB, Scott MA, Schwartz MH. Movement Deviation Profile: A measure of distance from normality using a self-organizing neural network. *Hum Mov Sci*. 2012 Apr 1;31(2):284–94.
15. Speciali DS, Oliveira EM, Cardoso JR, Correa JCF, Baker R, Lucareli PRG. Gait profile score and movement analysis profile in patients with Parkinson's disease during concurrent cognitive load. *Braz J Phys Ther* [Internet]. 2014 Jul 18 [cited 2024 Aug 11];18(4):315–22. Available from: <https://www.scielo.br/j/rbfis/a/SpFLv5NySWpfsWDCJD9LQck/?lang=en>
16. Speciali DS, Oliveira EM de, Santos NM dos, Pereira FV, Fracini AC, Fukuda TY, et al. Use of the Gait Deviation Index and spatiotemporal variables for the assessment of dual task interference paradigm. *J Bodyw Mov Ther*. 2013 Jan 1;17(1):19–27.
17. Gonçalves SB, Lama SBC, Silva MT da. Three decades of gait index development: A comparative review of clinical and research gait indices. *Clinical Biomechanics*. 2022 Jun 1;96:105682.

18. Willy RW, Høglund LT, Barton CJ, Bolgla LA, Scalzitti DA, Logerstedt DS, et al. Patellofemoral pain clinical practice guidelines linked to the international classification of functioning, disability and health from the academy of orthopaedic physical therapy of the American physical therapy association. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* [Internet]. 2019 Sep 1 [cited 2024 Aug 8];49(9):CPG1–95. Available from: <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2019.0302>
19. 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* [Internet]. 2004 May [cited 2024 Oct 21];85(5):815–22. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15129407/>
20. Thomeé R, Augustsson J, Karlsson J. Patellofemoral pain syndrome: a review of current issues. *Sports Med* [Internet]. 1999 [cited 2024 Jul 23];28(4):245–62. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10565551/>
21. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *Journal of Orthopaedic Research*. 1990;8(3):383–92.
22. Zeni JA, Richards JG, Higginson JS. Two simple methods for determining gait events during treadmill and overground walking using kinematic data.
23. Kohonen T. The Self-Organizing Map. *Proceedings of the IEEE*. 1990 Sep 1;78(9):1464–80.
24. Van Diest M, Stegenga J, Wörtche HJ, Roerdink JBTM, Verkerke GJ, Lamoth CJC. Quantifying Postural Control during Exergaming Using Multivariate Whole-Body Movement Data: A Self-Organizing Maps Approach. *PLoS One* [Internet]. 2015 Jul 31 [cited 2024 Jul 24];10(7). Available from: [/pmc/articles/PMC4521917/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/264521917/)
25. Callan DE, Kent RD, Roy N, Tasko SM. Self-organizing map for the classification of normal and disordered female voices. *J Speech Lang Hear Res* [Internet]. 1999 [cited 2024 Jul 24];42(2):355–66. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10229452/>
26. Hodges PW, Tucker K. Moving differently in pain: a new theory to explain the adaptation to pain. *Pain* [Internet]. 2011 Mar [cited 2024 Oct 1];152(3 Suppl). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21087823/>
27. Brechter JH, Powers CM. Patellofemoral stress during walking in persons with and without patellofemoral pain. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2002 Oct 1 [cited 2024 Aug 8];34(10):1582–93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12370559/>
28. Freddolini M, Placella G, Gervasi GL, Morello S, Cerulli G. Quadriceps muscles activity during gait: comparison between PFPS subjects and healthy control. *Musculoskelet Surg* [Internet].

- 2017 Aug 1 [cited 2024 Oct 1];101(2):181–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28233257/>
29. 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* [Internet]. 2018 Sep 1 [cited 2024 Oct 25];33:96–108. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30059951/>
  30. Wren TAL, Tucker CA, Rethlefsen SA, Gorton GE, Öunpuu S. Clinical efficacy of instrumented gait analysis: Systematic review 2020 update. *Gait Posture*. 2020 Jul 1;80:274–9.
  31. Hodges PW. Pain and motor control: From the laboratory to rehabilitation. *J Electromyogr Kinesiol* [Internet]. 2011 Apr [cited 2024 Oct 1];21(2):220–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21306915/>
  32. Van Den Hoorn W, Hodges PW, Van Dieën JH, Hug F. Effect of acute noxious stimulation to the leg or back on muscle synergies during walking. *J Neurophysiol* [Internet]. 2015 Jan 1 [cited 2024 Oct 1];113(1):244–54. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25298391/>
  33. Peck CC, Murray GM, Gerzina TM. How does pain affect jaw muscle activity? The Integrated Pain Adaptation Model. *Aust Dent J* [Internet]. 2008 Sep 1 [cited 2024 Nov 3];53(3):201–7. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1834-7819.2008.00050.x>
  34. Hodges PW, Tucker K. Moving differently in pain: A new theory to explain the adaptation to pain. *Pain*. 2011 Mar 1;152(3):S90–8.
  35. Hodges PW. Pain and motor control: From the laboratory to rehabilitation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011 Apr 1;21(2):220–8.
  36. Hodges PW, Smeets RJ. Interaction between pain, movement, and physical activity: Short-term benefits, long-term consequences, and targets for treatment. *Clinical Journal of Pain*. 2015 Feb 21;31(2):97–107.
  37. Lund JP, Donga R, Widmer CG, Stohler CS. The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. <https://doi.org/10.1139/y91-102> [Internet]. 2011 [cited 2024 Nov 3];69(5):683–94. Available from: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/y91-102>
  38. Roland MO. A critical review of the evidence for a pain-spasm-pain cycle in spinal disorders. *Clinical Biomechanics*. 1986 May 1;1(2):102–9.
  39. Merkle SL, Sluka KA, Frey-Law LA. The interaction between pain and movement. *Journal of Hand Therapy*. 2020 Jan 1;33(1):60–6.
  40. Júlio CE, Antonialli FC, Nascimento TM Do, Sá KA, Barton GJ, Lucareli PRG. The Movement Deviation Profile Can Differentiate Faller and Non-Faller Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci*

Med Sci [Internet]. 2023 Sep 1 [cited 2024 Sep 29];78(9):1651–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37279546/>

41. de Albuquerque TAB, Liebano RE, Biasotto-Gonzalez DA, Lopes Ferreira C, Lucareli PRG. Correlation of pain sensitization with muscle strength and angular kinematics in women with patellofemoral pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* [Internet]. 2021 Jan 1 [cited 2024 Sep 29];81. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33213931/>
42. Schwartz MH, Rozumalski A. The gait deviation index: A new comprehensive index of gait pathology. *Gait Posture*. 2008 Oct 1;28(3):351–7.
43. Baker R, McGinley JL, Schwartz MH, Beynon S, Rozumalski A, Graham HK, et al. The Gait Profile Score and Movement Analysis Profile. *Gait Posture*. 2009 Oct 1;30(3):265–9.
44. 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 Sports* [Internet]. 2010 Oct 1 [cited 2024 Sep 29];20(5):725–30. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0838.2009.00996.x>

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo sugere com seus achados uma forte correlação positiva entre a intensidade da dor e os desvios de movimento em mulheres com dor femoropatelar, mensurados por meio do MDP. Os resultados indicam que níveis mais elevados de dor estão intimamente associados a maiores desvios em relação aos padrões típicos de marcha. Essa associação enfatiza a relevância de estratégias que combinem o manejo da dor e a correção de desvios de movimento no processo de reabilitação de indivíduos com dor femoropatelar.

Esses achados reforçam a necessidade de intervenções específicas que considerem tanto os aspectos clínicos relacionados à dor quanto as alterações biomecânicas identificadas na marcha. A utilização de ferramentas abrangentes de análise de marcha, como o MDP, possibilita aos profissionais de saúde uma avaliação mais detalhada, permitindo a personalização de estratégias terapêuticas de acordo com as necessidades de cada paciente.

Futuras pesquisas devem explorar o impacto de intervenções que integrem o controle da dor e a correção de desvios de movimento, buscando não apenas melhorar os desfechos funcionais, mas também otimizar a qualidade de vida desses indivíduos. Além disso, investigações adicionais são necessárias para compreender os mecanismos subjacentes à relação entre dor e alterações no movimento, contribuindo para o desenvolvimento de abordagens terapêuticas mais eficazes e direcionadas.

Portanto, ao integrar ferramentas de análise tridimensional de marcha com intervenções baseadas em evidências, os profissionais poderão promover uma reabilitação mais precisa e eficiente, beneficiando significativamente a recuperação funcional e o bem-estar dos pacientes com dor femoropatelar.

## REFERÊNCIAS

BARTON, C. J. et al. Kinematic gait characteristics associated with patellofemoral pain syndrome: a systematic review. **Gait & posture**, v. 30, n. 4, p. 405–416, nov. 2009.

BARTON, G. J. et al. Movement Deviation Profile: A measure of distance from normality using a self-organizing neural network. **Human Movement Science**, v. 31, n. 2, p. 284–294, 1 abr. 2012.

BAZETT-JONES, D. M. et al. Kinematic and Kinetic Gait Characteristics in People with Patellofemoral Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. **Sports Medicine 2022** **53:2**, v. 53, n. 2, p. 519–547, 5 nov. 2022.

BOONSTRA, A. M. et al. Cut-off points for mild, moderate, and severe pain on the visual analogue scale for pain in patients with chronic musculoskeletal pain. **Pain**, v. 155, n. 12, p. 2545–2550, 2014.

BRECHTER, J. H.; POWERS, C. M. Patellofemoral stress during walking in persons with and without patellofemoral pain. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 34, n. 10, p. 1582–1593, 1 out. 2002.

CALLAN, D. E. et al. Self-organizing map for the classification of normal and disordered female voices. **Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR**, v. 42, n. 2, p. 355–366, 1999.

CAPPOZZO, A. et al. Position and orientation in space of bones during movement: Experimental artefacts. **Clinical Biomechanics**, v. 11, n. 2, p. 90–100, 1996.

CLEELAND, C. S. Pain Assessment in Cancer. **Effect of Cancer on Quality of Life**, p. 293–305, 1 nov. 2021.

COBURN, S. L. et al. Quality of life in individuals with patellofemoral pain: A systematic review including meta-analysis. **Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine**, v. 33, p. 96–108, 1 set. 2018.

CROSSLEY, K. M. et al. Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: which are reliable and valid? **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 85, n. 5, p. 815–822, maio 2004.

CROSSLEY, K. M. 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 measures. **British Journal of Sports Medicine**, v. 50, n. 14, p. 839–843, 1 jul. 2016.

CROSSLEY, K. M. et al. Rethinking patellofemoral pain: Prevention, management and long-term consequences. **Best Practice & Research Clinical Rheumatology**, v. 33, n. 1, p. 48–65, 1 fev. 2019.

FERREIRA, C. L. et al. Muscle synergies analysis shows altered neural strategies in women with patellofemoral pain during walking. **PLOS ONE**, v. 18, n. 10, p. e0292464, 1 out. 2023.

FREDDOLINI, M. et al. Quadriceps muscles activity during gait: comparison between PFPS subjects and healthy control. **Musculoskeletal surgery**, v. 101, n. 2, p. 181–187, 1 ago. 2017.

GLAVIANO, N. R.; BAZETT-JONES, D. M.; BOLING, M. C. Pain severity during functional activities in individuals with patellofemoral pain: A systematic review with meta-analysis. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 25, n. 5, p. 399–406, 1 maio 2022.

GONÇALVES, S. B.; LAMA, S. B. C.; SILVA, M. T. DA. Three decades of gait index development: A comparative review of clinical and research gait indices. **Clinical Biomechanics**, v. 96, p. 105682, 1 jun. 2022.

HODGES, P. W. Pain and motor control: From the laboratory to rehabilitation. **Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, v. 21, n. 2, p. 220–228, abr. 2011a.

HODGES, P. W. Pain and motor control: From the laboratory to rehabilitation. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 21, n. 2, p. 220–228, 1 abr. 2011b.

HODGES, P. W.; SMEETS, R. J. Interaction between pain, movement, and physical activity: Short-term benefits, long-term consequences, and targets for treatment. **Clinical Journal of Pain**, v. 31, n. 2, p. 97–107, 21 fev. 2015.

HODGES, P. W.; TUCKER, K. Moving differently in pain: a new theory to explain the adaptation to pain. **Pain**, v. 152, n. 3 Suppl, mar. 2011.

KADABA, M. P.; RAMAKRISHNAN, H. K.; WOOTTEN, M. E. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 8, n. 3, p. 383–392, 1990.

LEVEILLE, S. G. et al. Chronic Musculoskeletal Pain and the Occurrence of Falls in an Older Population. **JAMA : the journal of the American Medical Association**, v. 302, n. 20, p. 2214, 2009.

LOPES FERREIRA, C. et al. Step down tests are the tasks that most differentiate the kinematics of women with patellofemoral pain compared to asymptomatic controls. **Gait & Posture**, v. 72, p. 129–134, 1 jul. 2019.

LOPES FERREIRA, C. et al. Women with patellofemoral pain show altered motor coordination during lateral step down. **Journal of Biomechanics**, v. 110, p. 109981, 18 set. 2020.

POWERS, C. M. et al. 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. **British journal of sports medicine**, v. 51, n. 24, p. 1713–1723, 1 dez. 2017.

SMITH, B. E. et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. **PLOS ONE**, v. 13, n. 1, p. e0190892, 1 jan. 2018.



SPECIALI, D. S. et al. Use of the Gait Deviation Index and spatiotemporal variables for the assessment of dual task interference paradigm. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 17, n. 1, p. 19–27, 1 jan. 2013.

SPECIALI, D. S. et al. Gait profile score and movement analysis profile in patients with Parkinson's disease during concurrent cognitive load. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 18, n. 4, p. 315–322, 18 jul. 2014.

THOMAS, J. et al. Comparison of Azure Kinect and optical retroreflective motion capture for kinematic and spatiotemporal evaluation of the sit-to-stand test. **Gait & Posture**, v. 94, p. 153–159, 1 maio 2022.

THOMEÉ, R.; AUGUSTSSON, J.; KARLSSON, J. Patellofemoral pain syndrome: a review of current issues. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 28, n. 4, p. 245–262, 1999.

VAN DEN HOORN, W. et al. Effect of acute noxious stimulation to the leg or back on muscle synergies during walking. **Journal of neurophysiology**, v. 113, n. 1, p. 244–254, 1 jan. 2015.

VAN DIEST, M. et al. Quantifying Postural Control during Exergaming Using Multivariate Whole-Body Movement Data: A Self-Organizing Maps Approach. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, 31 jul. 2015.

WILLY, R. W. et al. Patellofemoral pain clinical practice guidelines linked to the international classification of functioning, disability and health from the academy of orthopaedic physical therapy of the American physical therapy association. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 49, n. 9, p. CPG1–CPG95, 1 set. 2019.

ZENI, J. A.; RICHARDS, J. G.; HIGGINSON, J. S. Two simple methods for determining gait events during treadmill and overground walking using kinematic data. [s.d.].

## ANEXOS

### ANEXO A: ESCALA VISUAL ANALÓGICA



## APÊNDICES

### APÊNDICE A

Arquivo de Submissão à revista.

**Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**  
**Patellofemoral pain is associated with complex gait deviations captured by an AI-**  
**derived gait index**  
 --Manuscript Draft--

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Manuscript Number:</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Article Type:</b>         | Original Research                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Keywords:</b>             | Patellofemoral pain; Movement Deviation Profile; Gait analysis; Joint kinematics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Corresponding Author:</b> | Paulo Roberto Garcia Lucareli, PhD<br>Universidade Nove de Julho - Campus Vergueiro<br>Sao Paulo, SP BRAZIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>First Author:</b>         | Gabriel J Navarro, Msc                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Order of Authors:</b>     | Gabriel J Navarro, Msc<br>Tadeu AB de Albuquerque, PhD<br>Cid A Fidelis-de-Paula-Gomes, PhD<br>Cintia L Ferreira, PhD<br>João CF Correa, PhD<br>Gabor J Barton, PhD<br>Paulo Roberto Garcia Lucareli, PhD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Abstract:</b>             | <p><b>Objective:</b> Investigate the association between MDP and pain intensity in women with Patellofemoral Pain (PFP) during gait.</p> <p><b>Design:</b> Retrospective chart review.</p> <p><b>Setting:</b> Institutional practice and research laboratory</p> <p><b>Participants:</b> This retrospective study included data from 571 women with PFP (age: 26.97±6.3 years; height: 1.65±0.5 m; mass: 60.5±3.1 kg) and 571 asymptomatic women, collected between 2012 and 2020.</p> <p><b>Interventions:</b> The participants with PFP reported retro or peripatellar pain for at least three months, with a minimum pain intensity of 3 on the Visual Analog Scale (VAS). Gait was assessed using an eight-camera Vicon system, with data processed through the Plug-in Gait model. The Movement Deviation Profile (MDP) was used to quantify gait deviations in the PFP group compared to the control group, which exhibited a typical gait pattern.</p> <p><b>Results:</b> The mean and 95% confidence intervals for the NPRS were 6.03 (5.91–6.15), while the average MDP was 13.17° (12.73°–13.61°). A strong positive correlation (<math>r=0.959</math>, <math>p&lt;0.001</math>) between pain intensity and average MDP, suggests that higher pain levels are associated with greater gait deviations.</p> <p><b>Conclusions:</b> Pain can alter movement, but abnormal movement can also cause pain. Tools like the MDP are crucial for assessing gait deviations and correlating them with pain severity in PFP patients. Our findings show that higher MDP mean scores align with greater pain, indicating compensatory gait changes. Clinically, PFP involves various adaptations impacting function and quality of life. This study emphasizes the importance of integrating movement analysis and targeted interventions for effective PFP management and rehabilitation.</p> |