



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



BRUNA MARIANA TESSARIN

**ESTUDO ULTRASSONOGRÁFICO DO TENDÃO DE AQUILES DE BAILARINOS
ASSINTOMÁTICOS: EXPLORANDO AS RELAÇÕES ENTRE ESTRUTURA E
MEDIDAS CLÍNICAS**

**SÃO CARLOS
2024**

**ESTUDO ULTRASSONOGRÁFICO DO TENDÃO DE AQUILES DE BAILARINOS
ASSINTOMÁTICOS: EXPLORANDO AS RELAÇÕES ENTRE ESTRUTURA E
MEDIDAS CLÍNICAS**

BRUNA MARIANA TESSARIN

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia (PPGFt) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Fisioterapia. Área de Concentração: Fisioterapia e Desempenho Funcional. Linha de Pesquisa: Fisioterapia em Ortopedia/Traumatologia, Esportes e Reumatologia

Orientador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão

Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Silva Nunes

Apoio Financeiro

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – **CAPES** (Código de Financiamento 001) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - **FAPESP** (2020/00020-5; 2022/06130-2, 2020/03544-5).

**SÃO CARLOS
2024**

FOLHA DE ROSTO

Este documento compõe a versão original da tese de Doutorado da aluna Bruna Mariana Tessarin, intitulada “**Estudo ultrassonográfico do tendão de Aquiles de bailarinos assintomáticos: Explorando as relações entre estrutura e medidas clínicas**”.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Bruna Mariana Tessarin, realizada em 27/08/2024.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão (UFSCar)

Prof. Dr. Rodrigo Scattone Silva (UFRN)

Profa. Dra. Caroline Silveira Bolling (AUMC)

Prof. Dr. Sergio Teixeira da Fonseca (UFMG)

Profa. Dra. Paula Rezende Camargo (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (**CAPES**) - Código de Financiamento 001 e recebeu financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (**FAPESP**) (2020/00020-5; 2022/06130-2, 2020/03544-5). O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-graduação em Fisioterapia.

DEDICATÓRIA

*Dedico esta tese à mulher que me deu a vida
e que jamais hesitou em me apoiar: minha
mãe, Marilene Crivelari Santana Tessarin*

AGRADECIMENTOS

Minha avó materna, **Dona Cida**, não poderia ler essa tese. De todas as sabedorias que lhe cabem, a das letras não teve vez em sua vida. Hoje eu, duas gerações depois, estou concluindo meu Doutorado. Essa seção é uma homenagem a todas as pessoas que vieram antes de mim abrindo passagem para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a minha mãe, **Marilene**, e meu pai, **José Mário**, por terem sido a base mais sólida e amorosa de formação de uma pessoa que eu poderia ter. Tenham certeza de que se um dia faltou recurso, nunca faltou afeto.

Além da mãe, pude ser criada por mais 4 mulheres fortes e doces. Fui amada 4 vezes mais e sou grata 40 vezes mais por ter o privilégio de ter vocês como minhas irmãs: **Marilia, Juliana, Milene e Manu**. Obrigada por me ensinarem e me apoiarem em absolutamente tudo.

Ao **Denis** meu cunhado e padrinho, que é o melhor consultor de estatística e todos os assuntos matemáticos e filosóficos da vida. Serei sempre grata por todo ensinamento e paciência.

Agradeço ao meu noivo e grande amigo, **Artur**, por ser tão parceiro nessa jornada acadêmica e da vida.

Agradeço aos meus professores de ballet, **Graziela e Itamar**, pela vida de dedicação a arte e pelas inúmeras oportunidades que me deram nesses 23 anos de história juntos.

As minhas amigas que sempre se fizeram presentes: **Camila, Carol, Gabi, Livia, Lucy**. Obrigada por tornarem minha vida mais alegre e por me permitirem vivenciar a amizade verdadeira.

As amigas que a vida acadêmica me trouxe e que a Australia aproximou, **Larissa e Eliane**, obrigada pelas risadas de alegria e de desespero quando tudo o que entendíamos de um diálogo era "*mate*".

Aos muitos colegas de laboratório que conheci ao longo desses anos que integrei o LAIOT, agradeço pelos cafés e piadas, discussões de sexta a tarde, pelas ajudas nas

tarefas de *Matlab*, pelos voluntários de pilotos, e pela convivência leve e divertida: **Adalberto Martinez, Bruna Luz, Giulia Keppe, Gabriela Vasconcelos, Malu Siqueira, Cristiano Carvalho, Natalia Tossini, André Simoes, Rafa Melo, Gustavo Viotto, Cristiane Melo, Bia Prando, Cassius Yuri, Hygor Ferreira, Vinicius Bianchini, Leticia Mancini, Décio Bueno, Victor Coelho, Gabriel Bernardi, Karoline Nazario, Maria Julia Melger.**

A **Paulinha Serrão** que é uma mulher incrível, doce e que não sei como dá conta de fazer tanta coisa. Obrigada por ser sempre tão acolhedora.

Ao **Guilherme Nunes**, meu coorientador desde a iniciação científica. Obrigada por me guiar desde os primeiros passos desse mundo louco da academia.

A **Kaanda Gontijo** e **Fernando Zikan**, que foram minhas primeiras referências no mundo da ciência da dança. Obrigada por terem sido tão gentis e transformadores. Vocês tiveram um impacto enorme na minha trajetória.

Sou profundamente grata a meu orientador, **Fabinho**, que abraçou a ideia de estudar um tema fora de sua área e me permitiu trilhar um caminho cheio de realizações. Me inspiro em você como pessoa e como professor e espero que um dia possa ensinar pessoas com a maestria que você faz. Obrigada por me incentivar em cada etapa da minha vida acadêmica, desde a iniciação científica até o doutorado, sempre me dando liberdade para escolher aquilo que mais tocasse meu coração.

Uma pessoa fundamental durante meu intercambio na Australia, foi minha supervisora **Ebonie Rio**. Eu gostaria que todas as pessoas ao meu redor pudessem conhecê-la para entender como fui recebida e acolhida na Australia. Obrigada por me fazer acreditar em mim!

Agradeço por ter tido a oportunidade de conhecer **Jill Cook**, uma senhora transparente e de fala afiada, que me surpreendeu profundamente quando me disse um dia: "*Não se esqueça, você é tão boa quanto eles!*". Você nem deve imaginar, mas sou muito sua fã.

Ao time artístico de saúde do **The Australian Ballet** que abraçou a minha pesquisa. Cada segundo com vocês foi um aprendizado adquirido. Vocês são brilhantes! **Sue**

Mayes, Sophie Emery, Michael Freeman, Shaun Bryce, Sakis Michelis, Megan Connelly, Aoife McDonnell.

Tive a sorte de encontrar uma família postiça australiana. Muito obrigada pelo carinho, passeios, *barbecues* e jantares em família: **Adrian, Bronte, Efnan, Nadia, Elena, Lara, Alexa, Felix, Thomas, Imashi, Mathew, Ana.**

Agradeço a **Capes** e **FAPESP** pelo apoio financeiro que viabilizou a realização dos estudos dessa tese.

A **banca examinadora** pelo aceite, leitura e considerações. Muito obrigada pelas contribuições.

A todos os **professores** e **funcionários** do **Programa de Pós-graduação em Fisioterapia da UFSCar** pela dedicação e excelência.

Por fim, agradeço a minha casa, **UFSCar** que desde quando eu vinha para cá quando criança fazer picnic até hoje, sempre foi um lugar acolhedor.



"Tendons are tricky"
Jill Cook

RESUMO

O tema central desta tese foi o estudo das alterações estruturais no tendão de Aquiles em bailarino clássico. Quando um tendão é exposto a cargas mecânicas, ele pode responder positivamente (adaptação) ou negativamente, causando as patologias no tendão. Essas patologias são alterações estruturais observadas por ultrassonografia, onde se percebe o espessamento do tendão e presença de áreas focais de baixa ecogenicidade, ou seja, desorganização das fibras colágenas. As patologias no tendão são um achado presente em indivíduos com tendinopatia e em pessoas assintomáticas. Neste caso, esses indivíduos têm risco aumentado em sete vezes de desenvolverem dor no tendão. Os bailarinos clássicos fazem parte desse grupo de indivíduos, apresentando altas frequências de patologia no tendão. Alguns fatores clínicos modificáveis como força dos flexores plantares, amplitude de dorsiflexão e pronação subtalar estão relacionados com a ocorrência de tendinopatia de Aquiles. Entretanto, não está clara a relação entre essas medidas com a presença de patologias no tendão em pessoas assintomáticas. Assim, a identificação dessas patologias, precocemente ao desenvolvimento de sintomas, pode proporcionar uma oportunidade adicional de prevenção. Sabe-se também, que a prática da dança imprime altas cargas ao tendão de Aquiles, mas não está claro qual o efeito a longo prazo dessa sobrecarga no desenvolvimento de sintomas no tendão. Para além do acometimento do tendão de Aquiles, a articulação do tornozelo é a região de maior incidência de lesão nos bailarinos. Assim, demais estruturas dessa região podem ser sobrecarregadas, resultando em dor na região posterior do tornozelo, uma comum apresentação clínica entre diversos acometimentos do tornozelo. Desta forma, a correta identificação da fonte de dor é uma etapa essencial para uma abordagem terapêutica efetiva e bons prognósticos. Com base no exposto, esta tese buscou responder algumas lacunas apresentadas acima. O estudo 1 foi um estudo transversal que teve como objetivo investigar o valor preditivo de medidas clínicas, comumente associadas à tendinopatia de Aquiles, na identificação de patologias no tendão de Aquiles de bailarinos assintomáticos. O estudo 2, por meio de um desenho longitudinal explorou a resposta estrutural do tendão de Aquiles, usando da ferramenta de imagem *Ultrasound Tissue Characterisation* (UTC), à temporada de ensaios e apresentações do ballet de repertório O Lago dos Cisnes. Também, investigamos os desfechos clínicos após 4 meses de sintomas na região posterior do

tornozelo, através de uma avaliação clínica abrangente e diferencial. Os resultados obtidos do estudo 1 mostraram a importância da força de quadril na estrutura do tendão de Aquiles e apontaram que interações entre o torque do quadril e amplitude de dorsiflexão do tornozelo estavam associadas à presença de patologia no tendão. Já no estudo 2, os achados mostraram que o período de ensaios e apresentações não foi prejudicial a estrutura do tendão de Aquiles, e que no longo prazo poucos bailarinos desenvolveram sinais clínicos de tendinopatia quando utilizando a ferramenta de avaliação apresentada no estudo. Esta tese traz novos conhecimentos que podem ser implementados na prática clínica e também incorporados em metodologias de pesquisa.

Palavras-chave: ultrassom de imagem; diagnóstico diferencial; ballet clássico; alterações ultrassonográficas.

ABSTRACT

The central theme of this thesis is the study of structural changes in the Achilles tendon in classical ballet dancers. When a tendon is subjected to mechanical loads, it can respond positively (adaptation) or negatively, leading to tendon pathologies. These pathologies are structural changes observed via ultrasonography, characterized by tendon thickening and the presence of focal areas of low echogenicity, indicating collagen fibre disorganization. Tendon pathologies are found in individuals with tendinopathy and asymptomatic individuals. In the latter case, these individuals have a sevenfold increased risk of developing tendon pain. Classical ballet dancers belong to this group, exhibiting high frequencies of tendon pathologies. Modifiable clinical factors, such as plantar flexor strength, dorsiflexion range of motion, and subtalar pronation, are related to the occurrence of Achilles tendinopathy. However, the relationship between these measures and the presence of tendon pathologies in asymptomatic individuals is unclear. Thus, early identification of these pathologies, before symptom development, may offer an additional prevention opportunity. It is also known that the practice of dance places high loads on the Achilles tendon, but the long-term effect of this overload on the development of tendon symptoms is not well understood. Besides Achilles tendon impairments, the ankle joint is the region with the highest incidence of injury in dancers. Therefore, other structures in this region may be overloaded, resulting in posterior ankle pain, a common clinical presentation among various ankle conditions. Correct identification of the pain source is essential for effective therapeutic approaches and good prognoses. Based on the above, this thesis aimed to address some of the gaps presented. Study 1 was a cross-sectional study aimed at investigating the predictive value of clinical measures commonly associated with Achilles tendinopathy in identifying tendon pathologies in asymptomatic dancers. Study 2, using a longitudinal design, explored the structural response of the Achilles tendon, using Ultrasound Tissue Characterization (UTC), during the rehearsal and performance season of the repertoire ballet "Swan Lake." We also investigated clinical outcomes after 4 months as symptoms in the posterior ankle region through a comprehensive and differential clinical evaluation. The results from study 1 highlighted the importance of hip strength in Achilles tendon structure and indicated that interactions between hip torque and ankle dorsiflexion were associated with the presence of tendon pathology. In study 2, findings showed that the rehearsal and

performance period did not adversely affect the Achilles tendon structure, and in the long term, few dancers developed clinical signs of tendinopathy when using the assessment tool presented in the study. This thesis provides new insights that can be implemented in clinical practice and incorporated into research methodologies.

Keywords: imaging ultrasound; differential diagnosis; classical ballet; ultrasonographic changes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. CARTAZ USADO PARA RECRUTAMENTO DE BAILARINOS AMADORES.

FIGURA 2. AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA E MEDIDAS CLÍNICAS. A, POSICIONAMENTO PARA EXAME ULTRASSONOGRÁFICO TENDÃO DE AQUILES; TESTE DA QUEDA DO NAVICULAR: B, POSIÇÃO INICIAL; C, POSIÇÃO FINAL; D: TESTE DO AVANÇO ANTERIOR; TESTE DE ELEVAÇÃO DO CALCANHAR: E, POSIÇÃO INICIAL; F, POSIÇÃO FINAL.

FIGURA 3. AVALIAÇÃO DA FORÇA ISOMÉTRICA. A, FORÇA EXTENSORA DO JOELHO; B, FORÇA FLEXORA PLANTAR DO TORNOZELO; C, FORÇA ROTADORA LATERAL DO QUADRIL; D, FORÇA EXTENSORA DO QUADRIL; E, FORÇA ABDUTORA DO QUADRIL.

FIGURA 4. MODELO CART PARA A OCORRÊNCIA DE PATOLOGIA NO TENDÃO DE AQUILES. AS PREVISÕES PARA CADA NÓ ESTÃO INDICADAS EM NEGRITO.

FIGURA 5. PANFLETO DE DIVULGAÇÃO USADO PARA RECRUTAMENTO.

FIGURA 6. POSICIONAMENTO PARA REALIZAÇÃO DO ESCANEAMENTO USANDO O UTC.

FIGURA 7. MAPAS PARA INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA DOR.

FIGURA 8. POSIÇÃO DO TESTE DE IMPACTO POSTERIOR.

FIGURA 9. MUDANÇA NO DIÂMETRO AP AO LONGO DO TEMPO.

FIGURA 10. PORCENTAGENS DE ECO TIPOS AO LONGO DO TEMPO, APRESENTADO POR MEMBRO.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de confiabilidade para todas as variáveis e braço de alavanca definido para cada teste de força isométrica.

Tabela 2. Dados descritivos dos participantes (média \pm DP) e valores de frequência de patologia no tendão. Tamanho de amostra (n) apresentados por número de participantes para dados descritivos e por número de tendões para tipo de patologia.

Tabela 3. Dados de confiabilidade para variáveis UTC (n=25 tendões).

Tabela 4. Informações de linha de base dos participantes.

Tabela 5. Dados dos sintomas autorrelatados na região do tornozelo ao longo do tempo (n = 40).

Tabela 6: Média marginal estimada (95% IC) para mudança no eco tipo ao longo do tempo. Os resultados são apresentados por membro e ajustados por sexo.

SUMÁRIO

<u>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</u>	<u>18</u>
1.1 INSERÇÃO NA LINHA DE PESQUISA DO ORIENTADOR E DO PROGRAMA	18
1.2 PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS	19
1.3 ESTÁGIO INTERNACIONAL	20
1.4 ORIGINALIDADE	21
1.5 CONTRIBUIÇÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA PARA O AVANÇO CIENTÍFICO.....	21
1.6 RELEVÂNCIA SOCIAL	22
1.7 LISTA DE REFERÊNCIAS DE ARTIGOS	23
1.7.1 ARTIGOS PUBLICADOS	23
1.7.2 ARTIGOS SUBMETIDOS OU EM FASE DE SUBMISSÃO.....	24
1.7.3 PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS.....	24
1.7.4 PRÊMIOS.....	26
1.7.5 PARTICIPAÇÃO EM PROJETOS DE PESQUISA E EXTENSÃO	26
1.7.6 CURSOS E TREINAMENTOS.....	29
1.8 LINK DO CURRÍCULO LATTES E ORCID DA ALUNA	29
1.9 DESCRIÇÃO DA TESE PARA O PÚBLICO LEIGO	29
<u>2 REVISÃO DA LITERATURA</u>	<u>31</u>
2.1 TENDÃO DE AQUILES	31
2.2 DEMAIS ESTRUTURAS DA REGIÃO POSTERIOR DO TORNOZELO	31
2.3 MODALIDADES DE IMAGEM: ULTRASSOM E UTC.....	32
2.4 DIAGNÓSTICO CLÍNICO DIFERENCIAL	34
2.5 PATOLOGIAS ULTRASSONOGRÁFICAS DO TENDÃO DE AQUILES	35
2.6 BALLET CLÁSSICO.....	37
2.7 DELINEAMENTO DA TESE.....	39
<u>3 OBJETIVOS GERAIS DA PESQUISA</u>	<u>40</u>
<u>4 ARTIGOS CIENTÍFICOS.....</u>	<u>41</u>
4.1 ARTIGO 1.....	41
4.2 ARTIGO 2.....	67
<u>5 CONCLUSÃO DA TESE</u>	<u>95</u>
<u>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</u>	<u>96</u>
<u>7 REFERÊNCIAS.....</u>	<u>98</u>
<u>8 APÊNDICE 1</u>	<u>107</u>

<u>9</u>	<u>APÊNDICE 2</u>	<u>108</u>
<u>10</u>	<u>APÊNDICE 3</u>	<u>109</u>
<u>11</u>	<u>APÊNDICE 4</u>	<u>110</u>
<u>12</u>	<u>APÊNDICE 5</u>	<u>111</u>
<u>13</u>	<u>APÊNDICE 6</u>	<u>112</u>
<u>14</u>	<u>APÊNDICE 7</u>	<u>113</u>

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Inserção na linha de pesquisa do orientador e do Programa

A presente tese é apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutora em Fisioterapia, pelo Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia (PPGFt) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), SP – Brasil. A tese está alinhada com a área de concentração “Fisioterapia e Desempenho Funcional” e com a linha de pesquisa do PPGFt “Fisioterapia em Ortopedia/Traumatologia, Esportes e Reumatologia”. O presente trabalho trata-se de uma tese de Doutorado Direto. A aluna ingressou inicialmente no curso de Mestrado, em março de 2019. Em dezembro do mesmo ano, durante o exame de qualificação, houve a indicação *Ad Referendum* dos membros da banca para passagem direta ao doutorado. Assim, em março de 2020 a aluna teve sua matrícula convertida para o curso de Doutorado, tendo bolsa Fapesp Doutorado Direto aprovada em junho de 2020. O projeto de pesquisa de doutorado foi desenvolvido no Laboratório de Avaliação e Intervenção em Ortopedia e Traumatologia (LAIOT), sob a orientação do Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão, professor titular do Departamento de Fisioterapia (DFisio) da UFSCar, e sob a coorientação do Prof. Dr. Guilherme Silva Nunes, professor adjunto do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - RS. As coletas de dados foram realizadas em dois centros: um nacional - sede da São Paulo Companhia de Dança, São Paulo; e outro internacional - na sede do *The Australian Ballet*, Melbourne e nos teatros em que a companhia esteve em turnê nas cidades de Adelaide, Brisbane e Sydney, na Austrália. O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e recebeu financiamento da

Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Processos número: 2020/00020-5, 2022/06130-2, 2020/03544-5.

1.2 Parcerias nacionais e internacionais

A coleta de dados desta tese foi realizada em parceria com a São Paulo Companhia de Dança (SPCD), uma das mais importantes companhias de dança do estado de São Paulo, com destaque nacional e internacional. Este foi o primeiro estudo de grande porte a ser realizado em parceria com a SPCD. Esta tese foi coorientada pelo Prof. Dr. Guilherme Silva Nunes, atual docente da UFSM. O primeiro artigo desta tese foi desenvolvido em colaboração com as pesquisadoras Dra. Luciana Mendonça De Michelis (Universidade Federal de Minas Gerias) e Dra. Ebonie Rio (*The Australian Ballet, Victorian Institute of Sport, La Trobe University* - Melbourne, Austrália). O segundo artigo da tese foi integralmente desenvolvido na Austrália, durante o período de doutorado sanduíche, sob orientação da Dra. Ebonie Rio. Este projeto foi executado em parceria com a *La Trobe University* e *The Australian Ballet*, e recebeu financiamento integral da agência FAPESP. Além disso, o treinamento para uso do equipamento utilizado na coleta de dados (*Ultrasound Tissue Characterization* - UTC) foi ofertado pelo pesquisador Dr. Sean Docking (*Monash University* - Melbourne, Austrália). Os pilotos e reajustes da metodologia dos dados clínicos coletados no artigo 2 foram supervisionados pela fisioterapeuta chefe do *Australian Ballet*, Dra. Susan Mayes (Austrália) e pela professora emérita, Dra. Jill Cook (Austrália). Também tive a oportunidade de realizar uma visita ao *Victorian Institute of Sport – VIS* - Melbourne, Australia. Desta visita e de conversas com o fisioterapeuta Kevin Craigie, surgiu a ideia de um novo projeto de pesquisa: "*Intra and inter-rater reliability of the Single-leg Heel Raise Test in a standing and seated position*". Atualmente, o projeto possui aprovação no Comitê de Ética da *La Trobe University* e

liberação para coleta de dados no VIS e *The Australian Ballet*. Equipe de pesquisa: Bruna M. Tessarin, Dr. Brady Green, Dra. Ebonie Rio, Ft. Kevin Craigie.

1.3 Estágio internacional

Com a aprovação da bolsa BEPE - FAPESP (processo 2022/06130-2), tive a oportunidade de realizar um ano de estágio em pesquisa na Austrália, no período de outubro de 2022 a outubro de 2023. O artigo 2 desta tese é proveniente do projeto aprovado para este fim, que teve a supervisão internacional da Dra. Ebonie Rio. Ao longo deste período, recebi o treinamento para uso do equipamento de ultrassom UTC ofertado pelo Dr. Sean Docking. Enquanto na Austrália, pude participar em duas edições da *Sports Medicine Australia - SMA Conference* (2022 e 2023), na segunda delas apresentando um pôster sobre a metodologia do artigo 2.

Realizei uma apresentação oral intitulada "*Investigating Achilles Tendon in Ballet Dancers: Perspectives of a Brazilian Research and a Dive into The Australian Ballet's Swan Lake Research*" para o grupo de pesquisa em dança *Dance Research Collaborative - DaRC*, que reúne pesquisadores de dança de toda a Austrália. O período de estágio foi majoritariamente desenvolvido na sede da companhia de dança *The Australian Ballet*. Diariamente pude acompanhar de perto o trabalho da equipe de saúde, liderada pela fisioterapeuta chefe Dra. Susan Mayes, conhecida mundialmente por atender os casos críticos de lesões de tornozelo de bailarinos profissionais. Além disso, como meu estudo acompanhou uma temporada em turnê, pude viajar com a companhia para dois diferentes estados para realizar a coleta de dados, aprendendo sobre a rotina de atendimentos durante a temporada de apresentações.

Paralelamente ao meu projeto principal, auxiliei na coleta de dados de dois outros estudos que estavam sendo desenvolvidos, além de colaborar como voluntária

para pilotos de projetos de outros colegas. Como resultado dessas colaborações, sou coautora no estudo “*Bringing the biomechanics to the ballet dancers – a study utilising wearable technology to assess impact landings between preferred and non-preferred legs*” que se encontra em revisão no periódico *Sports Biomechanics*.

1.4 Originalidade

Esta tese apresenta uma contribuição significativa na investigação da relação entre fatores clínicos e patologia do tendão, na ausência de dor. Normalmente, a literatura se concentra em explorar essas relações em populações sintomáticas. Além disso, a população estudada - bailarinos clássicos - é raramente alvo de pesquisas, e o corpo de evidências disponíveis na dança ainda possui muitas questões em aberto. A originalidade desta tese reside na abordagem de investigar uma população pouco estudada e explorar a relevância das patologias do tendão em indivíduos assintomáticos, com o objetivo principal de identificar oportunidades adicionais de prevenção.

Adicionalmente, esta tese apresenta uma proposta inovadora de avaliação clínica que será publicada pela primeira vez. O protocolo de carga progressiva para avaliação diferencial da região posterior do tornozelo é uma ferramenta de fácil compreensão, fundamentada em um importante raciocínio clínico. Trata-se de um teste clínico de baixo custo, podendo ser amplamente implementado por clínicos em vários contextos e países. Este protocolo poderá beneficiar os clínicos e seus paciente/atletas, promovendo bons prognósticos através da correta identificação das condições.

1.5 Contribuição dos resultados da pesquisa para o avanço científico

Os achados dessa tese trazem importantes considerações clínicas a respeito da avaliação dos membros inferiores em bailarinos. Nossos resultados mostram que a

combinação de determinadas medidas clínicas avaliadas em conjunto é capaz de identificar a presença de patologia no tendão de Aquiles em bailarinos. Uma vez que essas patologias os tornam suscetíveis ao desenvolvimento de sintomas, nossos achados possuem aplicabilidade na identificação dessas alterações, precocemente ao surgimento de sintomas, e através de medidas clínicas de baixo custo. Além disso, contrariando pesquisas anteriores, encontramos que um período de treinamento de alta carga em dança não afetou negativamente a estrutura do tendão de Aquiles. Esses achados fornecem novas perspectivas para a comunidade de dança sobre os efeitos do treinamento intenso no tendão de Aquiles e sugerem que a alta carga crônica que os bailarinos são expostos pode não impactar clinicamente a estrutura do tendão. Ainda, a tese introduz uma abordagem inovadora de avaliação clínica para condições do tornozelo, que pode ser adotada tanto por clínicos quanto por pesquisadores para descrever melhor a localização da dor e a resposta a diferentes cargas, refletindo a prática clínica e podendo ser adotada em futuros estudos.

1.6 Relevância social

A relevância social desta tese se dá pela implementação de um protocolo de baixo custo e fácil uso pelos clínicos. Também, pela utilização de testes clínicos de baixo custo para identificar bailarinos com presença de patologia no tendão de Aquiles. Ao identificar a população em risco, é possível executar em manejo de carga adequado para evitar o desenvolvimento de sintomas. Apesar desta tese ter sido integralmente desenvolvida estudando a população de bailarinos, os achados provenientes dos estudos podem se aplicar a outras populações esportivas que compartilhem gestos e tipos de cargas semelhantes. Por exemplo, a tendinopatia de Aquiles é altamente incidente em corredores. Assim, a avaliação diferencial proposta nesta tese poderia ser aplicada nesses indivíduos a fim de distinguir entre as

possíveis fontes de dor. Por fim, uma vez que a arte está direta e indiretamente ligada a vida de todas as pessoas, o estudo da população de bailarinos visando maior longevidade para suas carreiras e redução de riscos, tange indiretamente no bem-estar de toda a sociedade.

1.7 Lista de referências de artigos

1.7.1 Artigos publicados

- Souto, L. R; Serrão, P; Pisani, G. K; **Tessarín, B. M**; Silva, H. F; Machado, E. M; Sato, T. O; Serrão, F. V. Comparison of the immediate effects of hip strap and foot orthosis on self-reported measures and lower limb kinematics during functional tasks in people with patellofemoral osteoarthritis: protocol for a randomized crossover clinical trial. **Trials**. 2022
- Nunes, G. S; Rodrigues, D. Z; Hörbe, L; Prates, I; **Tessarín, B. M**; Serrão, F. V; De Noronha, M. Is Postural Control Affected in People with Patellofemoral Pain and Should it be Part of Rehabilitation? A Systematic Review with Meta-analysis. **Sports Medicine-Open**, 2022.
- Nunes, G., Feldkircher, J.M., **Tessarín, B.M.**, Bender, P.U., Luz, C.M., & Noronha, M.D. Kinesio taping does not improve ankle functional or performance in people with or without ankle injuries: Systematic review and meta-analysis. **Clinical Rehabilitation**. 2020.
- Nunes, G.S., **Tessarín, B.M.**, Scattone, Silva. R., Serrão, F.V. Relationship between the architecture and function of ankle plantar flexors with Achilles tendon morphology in ballet dancers. **Human Movement Science**. 2019.

1.7.2 Artigos submetidos ou em fase de submissão

- **Tessarini, B. M;** Mayes, S; Docking, S. I; Girdwood. M; Privopoulos. M; Swords. T; Fuller, M; Silveira, A. C; Perrot, M; Anker-Petersen, A. C; Serrao, F. V; Rio, E. K. Professional ballet dancers tolerate high Achilles tendon loads: no change in structure and minimal posterior ankle symptoms over 4 months. **Artigo submetido ao periódico *Journal of Science and Medicine in Sport - JSAMS***
- **Tessarini, B. M;** Rio, E. K; Souto, L.R; Nunes, G. S; Mendonça, L. de M; Serrão, F. V. Non-linear interactions of lower limb clinical measures associated with asymptomatic Achilles tendon pathology in ballet dancers. **Artigo em revisão no periódico *Journal of Athletic Training - JAT***
- Swords, T; McClelland, J; Middleton, K; **Tessarini, B;** Bryce, S; Mayes, S.; Rio, E.R. Bringing biomechanics to ballet: A feasibility study using wearable technology during grand allegro. **Artigo em revisão no periódico *Sports Biomechanics*.**

1.7.3 Participação em Eventos

- **XXIX Simpósio de Fisioterapia da UFSCar - 2023.** São Carlos, Brasil
Avaliadora de apresentações orais
Coautora de apresentação poster: Comparação de fatores clínicos entre tendões de Aquiles com e sem alterações ultrassonográficas em bailarinos assintomáticos.
- **6th International Scientific Tendinopathy Symposium - ISTS. 2023.**
Valência, Espanha

Apresentação oral. Título: Achilles tendon pathologies in dancers: what clinical factors can tell us?

- **Sports Medicine Australia Conference - SMA. 2023.** Sunshine Coast, Australia Apresentação poster. Título: Progressive Loading Test for Posterior Ankle Conditions: a novel clinical protocol.

Oferta do workshop “*Calf endurance assessment - all the tips and tricks, from ballet to footy and everything in between*”, em conjunto com os pesquisadores Dr Ebonie Rio, Dr Brady Green, A/Prof Tania Pizzari e Dr Myles Murphy.

- **The Assessment and Management of Running Injuries Symposium. 2023** La Trobe University, Melbourne, Australia (ouvinte).
- **XX Congresso Brasileiro de Biomecânica - CBB. 2023** Bauru, Brasil. Coautora de apresentação poster. Título: Comparação de medidas clínicas entre membros inferiores com e sem alterações ultrassonográficas do tendão de Aquiles em bailarinos profissionais assintomáticos.
- **Sports Medicine Australia Conference - SMA. 2022** Gold Coast, Australia (ouvinte).
- **13º Congreso Argentino de la Asociación de Kinesiología del Deporte - AKD. 2022** Buenos Aires, Argentina. Apresentação poster. Título: Asimetría de miembros inferiores en bailarines profesionales: diferentes abordajes para la presentación de datos.
- **31st Annual Conference of the Internacional Association for Dance Medicine and Science - IADMS. 2021** evento online Apresentação oral. Título: Muscle capacity asymmetries in the lower limbs of amateur ballet dancers.

1.7.4 Prêmios

- Prêmio de melhor apresentação oral na categoria estudante no **6th International Scientific Tendinopathy Symposium - ISTS. 2023**
- Prêmio de 2º lugar no **13º Congreso Argentino de la Asociación de Kinesiología del Deporte - AKD. 2022**

1.7.5 Participação em projetos de pesquisa e extensão

1.7.5.1 Colaboração na coleta de dados:

- *The foot muscles and the association with joint health, strength and performance in runners, and dancers* usando equipamentos VALD System (*ForceDecks, Dynamo e ForceFrame*). Equipe de pesquisa: Ana Azevedo de Moraes, Susan Mayes, **Bruna M. Tessarin**, Thomas Swords, Sophie Emery, Karen Mickle, Margaret Perrot, Jill Cook, Ebonie Rio.
- *Bringing the biomechanics to the ballet dancers – a study utilising wearable technology to assess impact landings between preferred and non-preferred legs*. Equipe de pesquisa: Thomas Swords, Kane Middleton, Jodie McClelland, **Bruna M. Tessarin**, Shaun Bryce, Ebonie Rio.

1.7.5.2 Colaboração no desenvolvimento de revisões sistemáticas:

- Nunes, G. S; Rodrigues, D. Z; Hörbe, L; Prates, I; **Tessarin, B. M**; Serrão, F. V; De Noronha, M. Is Postural Control Affected in People with Patellofemoral Pain and Should it be Part of Rehabilitation? A Systematic Review with Meta-analysis. **Sports Medicine-Open**, 2022.
- Nunes, G., Feldkircher, J.M., **Tessarin, B.M.**, Bender, P.U., Luz, C.M., & Noronha, M.D. Kinesio taping does not improve ankle functional or performance in people with or without ankle injuries: Systematic review and meta-analysis. **Clinical Rehabilitation**. 2020.

1.7.5.3 *Coorientação de iniciação científica e trabalhos de conclusão de curso:*

- **Título:** Comparação de fatores clínicos entre tendões de Aquiles com e sem alterações ultrassonográficas em bailarinos assintomáticos: um estudo transversal. (2023)

Aluna: Rafaela Campos

Orientador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão

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

- **Título:** Bailarinos profissionais possuem assimetria entre os membros inferiores em relação a amplitude de movimento, força e endurance muscular? (2023)

Aluna: Fernanda Rico Angelotto

Orientador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão

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

1.7.5.4 *Participação em bancas de trabalho de conclusão de curso:*

- **Título:** Associação entre a força, cinesiofobia e cinemática do quadril e joelho durante a aterrissagem de um salto unilateral em pessoas com dor patelofemoral: um estudo transversal

- **Aluno:** Maria Eduarda Chinotti Batista da Silva

Orientador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão

Coorientador: Profa. Dra. Gabriela de Souza Vasconcelos

Ano: 2021

- **Título:** Análise cinética durante o *single-leg drop vertical jump* em atletas com reconstrução do LCA usando enxerto autógeno dos tendões flexores: um estudo de caso controle

Aluno: Caio Ventura Schiabel

Orientador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão

Coorientador: Prof. Dr. Adalberto Felipe Martinez

Ano: 2021

1.7.5.5 *Supervisão em projeto de extensão:*

- Ambulatório de Fisioterapia Esportiva. 2024 UFSCar.

Atuação: Supervisora

Coordenador: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão.

1.7.5.6 *Capacitação docente:*

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

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

Atividade: Auxílio na condução de aulas teóricas e atividades didáticas. Preparação e apresentação de uma aula expositiva sobre Lúpus, abordando sua definição, etiologia, incidência e prevalência, patofisiologia, manifestações clínicas e tratamento.

- **Estágio em docência** na disciplina Fisioterapia Esportiva,

Professor responsável: Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão.

Atividade: Auxílio na condução de aulas teóricas e práticas, elaboração e exposição de aula teórica com o tema Prevenção de Lesões.

1.7.5.7 Participação em organização de eventos

- XXVII Simpósio de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos. 2021
Atuação: Membro da Comissão de Produção e Cerimonialista do evento.

1.7.6 Cursos e treinamentos

- Treinamento sobre uso e interpretação do equipamento de ultrassom (*Ultrasound Tissue Characterization – UTC*) com Dr. Sean Docking. 3h
- Treinamento UTC: processamento das imagens geradas e análise estatística usando o *software Terason*. 3h
- Curso online introdutório ao REDCap (*Data Capture and Surveys with REDCap - La Trobe University*) 6h
- Curso online intermediário para estudos longitudinais utilizando a ferramenta REDCap (*Longitudinal Trials with REDCap - La Trobe University*) 6h
- Curso online *Data Entry and Processing with SPSS - La Trobe University* (6h)
- Curso online: *Excel for Researchers - La Trobe University* (6h)
- Curso online: *EndNote Fundamentals for Researchers - La Trobe University* (1h30)

1.8 Link do currículo Lattes e ORCID da aluna

Link do Lattes:

https://wwws.cnpq.br/cvlattesweb/PKG_MENU.menu?f_cod=AD9FDB56D8F035DBB6EE03F71EF5BC49#

Link do ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4967-1959>

1.9 Descrição da tese para o público leigo

Este trabalho estudou bailarinos clássicos sem dor para entender melhor os fatores que podem levar a problemas no tendão de Aquiles, aquele grande tendão que liga a panturrilha ao calcanhar. Descobrimos informações importantes que devem

ser avaliadas nos bailarinos que ajudam a encontrar problemas no tendão e vimos que o treino do ballet pode não ser prejudicial ao tendão de Aquiles. Os resultados ajudam na melhoria dos métodos de avaliação dos bailarinos e da sociedade em geral.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Tendão de Aquiles

O tendão de Aquiles é o maior e mais forte tendão do corpo humano¹, composto majoritariamente por uma estrutura hierárquica de colágeno tipo I e proteoglicanas^{2,3}. Ele se origina da fusão dos sub-tendões dos músculos gastrocnêmio medial, gastrocnêmio lateral e sóleo, percorre o compartimento póstero-inferior da perna até se inserir na tuberosidade do calcâneo^{1,3}. Sua origem é também chamada de junção miotendínea, seu corpo de porção intermédia e o ponto em que se anexa ao osso calcâneo de entese^{1,3}. A porção intermédia é exposta à carga tênsil, enquanto que a inserção do tendão sofre forças tênsil e compressiva, especialmente em determinadas posições da articulação do tornozelo⁴. Ao longo da sua extensão, as fibras do tendão sofrem uma torção ou rotação, que pode se apresentar de variados tipos e angulações⁵. De maneira geral, ao chegar na inserção, as fibras originalmente laterais estarão inseridas medialmente, bem como as fibras mediais estarão na parte lateral da inserção¹. A entese é considerada um “órgão” por sua complexa associação com as fibrocartilagens adjacentes, como a bursa retrocalcânea, uma bolsa de gordura com cobertura sinovial, e fibrocartilagem sesamoide e periostal⁶. Embora não possua bainha sinovial, o tendão de Aquiles é envolto pelo paratendão, uma fina membrana deslizante rica em mucopolissacarídeos¹. Sua função é permitir o livre deslizamento do tendão contra as estruturas adjacentes, além de receber inervação e irrigação¹

2.2 Demais estruturas da região posterior do tornozelo

Diversas estruturas passam próximo ao tendão de Aquiles, tais como o tendão do músculo plantar, nervos, tendões mediais do pé e tornozelo e bursas⁷. Patologias que acometem essas estruturas podem mimetizar a dor no tendão de Aquiles e, por

isso, seu entendimento é importante para o diagnóstico diferencial da região posterior do tornozelo^{7,8,9}. O tendão do músculo plantar, apesar de ausente em até 19% da população, está íntima e anatomicamente relacionado ao tendão de Aquiles, passando paralelamente ao lado medial deste tendão¹⁰. A presença de espessamento do tendão plantar parece ter um papel no desenvolvimento de dor crônica em casos de tendinopatia da porção intermédia¹⁰. Os tendões do compartimento posteromedial do tornozelo como dos músculos tibial posterior e o flexor longo do hálux são envoltos por uma bainha sinovial, podendo ser irritados por fricção ou compressão⁸. Há também a síndrome do impacto posterior do tornozelo, onde tecidos moles póstero-laterais e póstero-mediais sofrem pinçamento ósseo, sendo provocado durante repetitiva máxima flexão plantar^{8,9}. A tenossinovite do flexor longo do hálux é uma patologia que pode ocorrer concomitante à síndrome do impacto posterior do tornozelo em determinadas populações esportivas, onde os gestos envolvem repetida hiper flexão plantar e flexão dos dedos e manobras de impulsão forçada⁹. Na entese, encontra-se a bursa retrocalcânea, que possui função protetora ao tendão de Aquiles, absorvendo a compressão contra o calcâneo e garantindo vantagem mecânica à unidade musculo-tendínea^{4,6,11}. Essa estrutura raramente é acometida isoladamente^{4,6}. Sendo assim, casos de dor na região insercional do tendão de Aquiles, incluindo bursite retrocalcânea, devem ser tratados como tendinopatia insercional⁸.

2.3 Modalidades de imagem: Ultrassom e UTC

Exames de imagem são comumente usados para avaliação das estruturas da região posterior do tornozelo, principalmente o tendão de Aquiles. O equipamento de ultrassom (US) de imagem é uma das ferramentas utilizadas para este fim¹². O US oferece uma alternativa confiável, de relativo baixo custo e portátil (em alguns

modelos) em comparação com a ressonância magnética, e seu uso permite uma avaliação de propriedades morfológicas e mecânicas do tendão de maneira não invasiva^{13,14}. As vantagens do uso do US são o curto tempo para realização do exame, captura de imagens em tempo real, ausência de radiação ionizante e ampla disponibilidade¹⁵. Algumas restrições deste método são sua bidimensionalidade, não permitindo a observação de volumes e planos simultaneamente, e a alta dependência do avaliador, nas quais se podem citar experiência, protocolos não padronizados e diferenças no posicionamento do transdutor^{14,16}. O ultrassom de caracterização tecidual, do inglês *Ultrasound Tissue Characterization* - UTC é uma outra ferramenta de imagem capaz de corrigir algumas limitações encontradas no US convencional. O UTC usa as técnicas de ultrassonografia convencional para criar uma imagem tridimensional do tendão. Seu uso foi inicialmente aplicado na medicina veterinária, com o objetivo de quantificar a integridade do tendão de Aquiles em cavalos, de maneira computadorizada¹⁷. O UTC consiste em um transdutor linear de 10-MHz acoplado a um dispositivo de rastreamento que move o transdutor automaticamente, capturando 600 imagens no plano transversal em intervalos de 0,2 mm ao longo de uma distância de 12 centímetros, construindo um bloco de dados tridimensional¹⁶. Uma das vantagens deste dispositivo é a garantia de que a inclinação, ângulo, ganho, foco e profundidade do transdutor estão padronizados. Além disso, um único escaneamento produz uma visão 3D.

Os ecos criados na imagem são a resultante das reflexões das ondas emitidas pelo transdutor e as estruturas que estão sendo ecoadas. Esses ecos são divididos em “relacionados a estrutura” e “interferentes”, de acordo com o tamanho da estrutura anatômica em relação ao volume da onda emitida pelo transdutor^{16,17,18,19}. Os ecos relacionados à estrutura são gerados por estruturas grandes, criando assim uma

reflexão mais estável e consistente, são os chamados eco tipos I e II. Já os ecos interferentes são o resultado de reflexões de pequenas estruturas, sendo caracterizados por falta de estabilidade (eco tipos III e IV)^{16,17,19}. Esse algoritmo criado para o UTC foi testado e verificado usando histologia de tendões flexores isolados de cavalos¹⁷. Sendo assim, os quatro eco tipos quantificados pelo algoritmo do UTC são¹⁶: tipo I: feixes de tendão intactos e alinhados; tipo II: feixes de tendão menos íntegros e ondulantes; tipo III: tecido principalmente fibrilar; tipo IV: matriz principalmente amorfa com fibrilas soltas, células ou fluido.

As imagens criadas são analisadas usando um *software* específico do UTC. Nelas, são desenhados manualmente contornos delimitando a área do tendão, chamados de região de interesse (do inglês *region of interest: ROI*). O resultado da análise é apresentado em porcentagem relativa de cada eco tipo¹⁶. Estudos de confiabilidade intra e inter-examinador reportaram excelente confiabilidade no processamento das imagens de escaneamentos do tendão de Aquiles^{16,20}.

2.4 Diagnóstico clínico diferencial

Para além dos exames de imagem, a avaliação clínica deve ser a principal abordagem na avaliação das estruturas da região posterior do tornozelo. As condições que acometem essa região podem ser confundidas entre si, uma vez que compartilham uma mesma importante apresentação clínica: dor na região posterior do tornozelo. Como o tendão de Aquiles é a maior e mais superficial estrutura presente nessa região, pode ser inadequadamente considerado como a fonte de dor para as demais situações. Assim, o diagnóstico diferencial é uma importante ferramenta para resultados clínicos satisfatórios. A tendinopatia de Aquiles é uma condição em que há dor persistente no tendão e perda de função relacionada a carga mecânica²¹, sendo assim, subentende-se que seu diagnóstico deve ser feito de

maneira clínica, aplicando-se testes funcionais que imprimam carga ao tendão de Aquiles nas suas diferentes porções. A porção intermédia responde a força tênsil, e atua como uma mola durante o ciclo de alongamento e encurtamento que ocorre diante da contração do tríceps sural. Sendo assim, tarefas como flexão plantar e saltos unipodais devem ser usadas para testar a presença de dor no tendão durante a aplicação de carga⁷. Por outro lado, a inserção do tendão é submetida a uma combinação de forças tênsil e compressiva⁴. Assim, tarefas que envolvam dorsiflexão seguida de rápida flexão plantar irão aplicar carga nessa região: movimento de avanço - dorsiflexão com suporte de peso corporal, flexão plantar no degrau ou plano inclinado, salto com deslocamento anterior. Já o paratendão será provocado em atividades que apliquem forças de cisalhamento ou fricção⁸ - grandes amplitudes de movimento do tornozelo, não necessariamente estando relacionado a forças compressiva e tênsil. O mesmo raciocínio segue para os tendões da região posteromedial do tornozelo que são envoltos por bainha sinovial. Por fim, o impacto posterior do tornozelo é provocado quando forças compressivas são aplicadas na articulação do tornozelo, o que ocorre na posição de flexão plantar⁹. Assim, tarefas que mimetizariam esse componente seriam flexão plantar com e sem suporte de peso corporal e durante manobras de impulsão seguidas de flexão plantar.

2.5 Patologias ultrassonográficas do Tendão de Aquiles

Os tendões são estruturas formadas com o objetivo principal de armazenar e liberar energia, atuando como uma mola. Para que esse mecanismo ocorra, cargas específicas devem ser aplicadas ao tendão. Entretanto, cada tendão terá um limiar de carga que pode suportar. Excessos ou reduções recorrentes de carga podem desencadear processos catabólicos, reduzindo a tolerância à carga do tendão. Cook e Purdam descreveram um modelo que explica como os tendões respondem à carga,

no conhecido Modelo Contínuo²². Nesse modelo a patologia do tendão é apresentada em um *continuum* de três estágios: tendinopatia reativa, falha no reparo e tendinopatia degenerativa.

A tendinopatia reativa é uma resposta adaptativa às cargas tênsil e compressiva aguda, onde ocorre aumento da área de secção transversa na tentativa de reduzir o estresse. Por ser uma resposta a curto prazo a um pico de carga, o tendão pode retornar a sua forma normal se a sobrecarga for suficientemente reduzida ou se houver tempo suficiente de recuperação. Observando essas alterações por US, pode-se observar os fascículos de colágeno com alinhamento mantido, porém com hipoeogenicidade difusa, resultando em um tendão com espessamento aumentado em formato fusiforme²².

O estágio de falha no reparo representa uma tentativa de recuperação do tendão em casos de sobrecarga crônica, com maior desorganização da matriz e separação das fibras de colágeno. No US, a imagem reflete a desorganização do colágeno e da matriz com pequenas áreas hipoeóicas e espessamentos focais. Nesse estágio, pode haver um aumento da vascularização e crescimento de inervação. Apesar de menor capacidade adaptativa, ainda há possibilidade de reversão da patologia para estágios anteriores, se o manejo de carga for adequado²².

O estágio de tendinopatia degenerativa é o mais avançado do modelo de patologia e dificilmente pode se reverter aos estágios anteriores. Nesta situação, o tendão apresenta áreas de morte celular, grandes áreas de matriz desorganizada e preenchida por vasos e pouco colágeno. Essas alterações aparecem no US como regiões hipoeóicas focais e presença de vasos visíveis ao Doppler, além do espessamento do tendão. Dependendo da extensão da patologia ao longo do tendão, pode haver ruptura se o mesmo for exposto a altas cargas²².

Como uma tentativa de manter sua capacidade de tolerar carga e manter a homeostase tecidual, tendões patológicos apresentam aumento da sua porção de fibras sadias como um mecanismo de compensação²³. Sendo assim, o aumento da espessura observado no modelo patológico do tendão parece ter um papel tanto na redução do estresse (pelo aumento da área de secção transversa), como também na garantia de manter quantidades suficientes de fibras organizadas de colágeno para tolerar carga sem se romper²³.

Essa dicotomia de função nos leva a um importante tópico desta tese: a patologia do tendão em indivíduos assintomáticos. Um grande corpo da literatura tem mostrado a presença de patologias no tendão, observadas por US, presentes em indivíduos que não apresentam dor²⁴. A relevância deste achado se dá pela sua implicação clínica, uma vez que a presença de patologias assintomáticas foi identificada como um fator de risco para o desenvolvimento de sintomas no tendão²⁵.

2.6 Ballet clássico

Diversas populações esportivas apresentam altas incidências de patologia assintomática do tendão de Aquiles, dentre elas os bailarinos clássicos^{26,27}. O ballet clássico é uma arte performática e sua caracterização como modalidade esportiva permanece em debate. Entretanto, algo que deveria estar fora de questionamentos é o reconhecimento dos praticantes desta arte como verdadeiros atletas. Somado a demanda física da prática e a demanda técnica rigorosa, há ainda a exigência estética que está ausente nas modalidades esportivas não performáticas. Esta particularidade acrescenta um nível de exigência aos praticantes que deve ser levado em consideração pelos profissionais de saúde que trabalham com esta população.

A técnica clássica determina que os movimentos sejam realizados com precisão e de maneira repetitiva. Durante a execução dos movimentos, as

articulações do tornozelo e pé são expostas a altas cargas ao longo de amplitude de movimento extremas. Durante o trabalho de pontas, as bailarinas realizam deslocamentos e giros enquanto sustentam o peso corporal em hiper flexão plantar do tornozelo e dedos, com o suporte de uma sapatilha específica (sapatilha de ponta). Antes e após os saltos, o movimento *plié* é realizado, onde ocorre uma profunda dorsiflexão do tornozelo. Os saltos são rigorosamente executados mantendo o tronco em posição vertical durante todas as fases, os membros inferiores em rotação lateral e os pés e dedos em flexão plantar em todo momento que não estão em contato com o solo. Na aterrissagem, o toque inicial com o solo se dá por meio dos dedos e, então, controladamente, os pés rolam da flexão plantar para a dorsiflexão, tocando os calcanhares no solo, buscando um contato com o chão de maneira mais silenciosa possível.

Todas esses códigos presentes na técnica clássica implicam em uma biomecânica diferenciada para essa população, que apresenta altas taxas de lesão, principalmente por uso excessivo²⁸. A incidência de lesão musculoesquelética em bailarinos amadores é de 0,99 a 1,09 por 1000h de exposição a dança em homens e mulheres, respectivamente. Para os profissionais é de 1,06 a 1,46 lesões por 100h de exposição para homens e mulheres, respectivamente²⁸. Dentre as regiões do corpo, o tornozelo e pés são as articulações mais acometidas, com tendinopatias dos tendões que contribuem para a mobilidade do tornozelo apresentando uma prevalência de 19%²⁹.

2.7 Delineamento da tese

Com base nas informações apresentadas, algumas perguntas de pesquisa foram elaboradas. Sabendo que:

- 1) as patologias do tendão de Aquiles, quando presentes em indivíduos assintomáticos podem colocá-los em risco de desenvolverem sintomas no tendão;
- 2) fatores clínicos modificáveis estão relacionados com a tendinopatia de Aquiles;

Pergunta-se então: seria possível identificar a presença de alteração assintomática do tendão de Aquiles por meio de déficits clínicos, comumente avaliados por fisioterapeutas?

No artigo 1 desta tese foram estudadas as relações não lineares entre patologias assintomáticas em bailarinos clássicos e medidas clínicas comumente associadas a tendinopatia de Aquiles, a fim de verificar se pela identificação de déficits clínicos seria possível identificar indivíduos com presença de patologia no tendão e, conseqüentemente, em risco de desenvolvimento de sintomas.

Além disso, outra pergunta foi elaborada:

1) Qual seria a resposta do tendão de Aquiles ao longo de um período de treinamento de uma coreografia (O Lago dos Cisnes) que apresenta alta demanda desse tendão?

2) A carga aplicada por esse treinamento seria suficiente para gerar sintomas ao final da temporada de ensaios e apresentações?

No artigo 2 desta tese foi realizado um estudo longitudinal a fim de responder as perguntas acima mencionadas. Somado a isso, foi proposta uma metodologia de avaliação da região posterior do tornozelo de maneira mais abrangente e diferencial.

3 Objetivos gerais da pesquisa

Diante do exposto, os objetivos dessa pesquisa foram: 1: investigar o valor preditivo dos fatores clínicos que têm sido associados à dor no tendão, para identificar a presença de patologia do tendão de Aquiles em bailarinos assintomáticos; 2: explorar a resposta estrutural do tendão de Aquiles a um período de 6 semanas de treinamento de uma coreografia específica do ballet clássico, usando a ferramenta de imagem UTC; e 3: investigar a resposta clínica do tendão de Aquiles e demais estruturas da região posterior do tornozelo ao longo de 4 meses de treinamento em dança, usando um diagnóstico clínico diferencial.

4 Artigos científicos

4.1 Artigo 1

Interações não lineares entre medidas clínicas dos membros inferiores associadas com a presença de patologias assintomáticas no tendão de Aquiles de bailarinos.

Bruna M. Tessarin, FT ^a, Ebonie K. Rio, FT, Dr ^b, Larissa R. Souto, FT, Dr ^a,
Guilherme S. Nunes, FT, Dr ^d, Luciana de M. Mendonça, FT, Dr ^c, Fábio V. Serrão,
FT, Dr ^a

- a. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil. Departamento de Fisioterapia.
- b. La Trobe University, La Trobe Sport and Exercise Medicine Research Centre, Melbourne, Victoria, Australia; The Australian Ballet, Melbourne, Australia; The Victorian Institute of Sport, Melbourne, Australia.
- c. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Departamento de Fisioterapia.
- d. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. Departamento de Fisioterapia.

Artigo encontra-se em fase de revisão no periódico ***Journal of Athletic Training - JAT*** (fator de impacto: 2.6) (**Apêndice 1**)

RESUMO

Contexto: As patologias no tendão, como aumento de espessura e presença de áreas hipoecóicas, são comumente observadas em indivíduos com tendinopatia de Aquiles, mas também podem estar presentes em indivíduos assintomáticos, tornando-os mais suscetíveis à sobrecarga do tendão e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de sintomas futuros. Bailarinos, que são expostos a altas cargas no tendão de Aquiles, são particularmente vulneráveis. Compreender a relação entre medidas clínicas e patologias no tendão é essencial para essa população.

Objetivo: Investigar o valor preditivo de medidas clínicas, que tem sido associadas à tendinopatia, para identificar patologias no tendão de Aquiles em bailarinos assintomáticos, utilizando a análise de Árvore de Classificação e Regressão (*Classification and Regression Tree - CART*).

Desenho: Estudo transversal.

Métodos: Trinta e cinco bailarinos profissionais e amadores participaram deste estudo. A presença de patologia no tendão de Aquiles foi avaliada por ultrassonografia convencional. Os tendões foram classificados como tendo patologias se apresentassem espessamento fusiforme e/ou áreas hipoecóicas. As medidas clínicas coletadas foram: pronação subtalar, amplitude de dorsiflexão do tornozelo com descarga de peso corporal, torque isométrico máximo extensor, abductor e rotador lateral do quadril, extensor do joelho e flexor plantar do tornozelo, e resistência a fadiga dos músculos flexores plantares do tornozelo em apoio unipodal. A análise CART foi utilizada para explorar interações não lineares entre as medidas clínicas e verificar o papel destas variáveis na identificação de patologias no tendão. Uma curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) foi realizada para avaliar a precisão do modelo.

Resultados: Sessenta e oito tendões foram incluídos na análise. Alterações estruturais foram comuns em bailarinos assintomáticos, com 80% da amostra apresentando patologias no tendão. O torque isométrico do quadril, a amplitude de dorsiflexão do tornozelo e a resistência dos músculos flexores plantares foram medidas relacionadas à patologia no tendão. Interações entre o torque do quadril e a amplitude de dorsiflexão do tornozelo foram estatisticamente associadas à presença de patologia no tendão. O aumento do torque abductor do quadril foi associado a uma redução de 59% na probabilidade de patologia tendínea. O modelo CART classificou corretamente 88,1% dos tendões com patologias e 76,9% dos tendões normais, resultando em uma precisão total de classificação de 83,8%.

Conclusões: O torque do quadril foi uma importante medida clínica relacionada à estrutura do tendão. A avaliação dos bailarinos deve incluir todo o membro inferior, já que a combinação do torque do quadril e a amplitude de movimento de dorsiflexão do tornozelo identificou com precisão a presença de patologia no tendão.

Palavras-chave: formato fusiforme, análise não linear, artistas performáticos, fator de risco, patologias tendíneas.

Introdução

As patologias no tendão têm sido definidas na literatura como alterações na espessura (evidenciadas pelo aumento do diâmetro anteroposterior - AP) e desorganização da estrutura observadas nos exames de imagem, resultantes tanto de um processo de adaptação quanto de sobrecarga^{22,30,31}. Embora essas alterações observadas nas imagens sejam encontradas em indivíduos com diagnóstico clínico de tendinopatia, elas também podem estar presentes em pessoas assintomáticas²⁴. A presença de patologia no tendão de Aquiles aumenta em 7 vezes o risco de desenvolver tendinopatia neste tendão²⁵.

Durante o treinamento de dança, as cargas direcionadas ao tornozelo e ao tendão de Aquiles são extremamente altas³². Os movimentos do *ballet* requerem diferentes capacidades dos músculos da panturrilha (resistência, potência, controle excêntrico e contrações isométricas) ao longo de extremas amplitudes de movimento do tornozelo. Esta demanda coloca o tendão de Aquiles sob diferentes tipos de forças, tais como força de compressão (*plié* - dorsiflexão do tornozelo após cada aterrissagem), força tênsil (saltos e corridas), combinação de ambas (*sauté* – indo de dorsiflexão para a flexão plantar durante um salto de *ballet*) e forças de cisalhamento (movimentos com completa amplitude de movimento do tornozelo). A estrutura e o currículo das aulas de *ballet* são projetados para desenvolver as capacidades que os bailarinos precisam ter; no entanto, a patologia no tendão de Aquiles é um achado comum em bailarinos^{26,27}.

Vários fatores clínicos modificáveis têm sido associados à tendinopatia de Aquiles na literatura, tais como: força muscular, potência, resistência, amplitude de movimento do tornozelo, pronação do pé etc.^{33,34}. No entanto, nenhuma pesquisa explorou a associação desses fatores clínicos modificáveis com a patologia no

tendão, na ausência de dor. Além disso, a investigação dessas associações, usando métodos estatísticos não lineares oferece uma oportunidade de exploração das variáveis independentes de maneira combinada, o que melhor captura a complexidade das patologias de tendão. Considerando que a presença de patologia no tendão pode aumentar a probabilidade de sintomas futuros, compreender a relação entre esses fatores clínicos modificáveis e a presença de patologia assintomática pode proporcionar oportunidades adicionais de prevenção.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo investigar o valor preditivo de medidas clínicas, que têm sido associados à tendinopatia, para identificar a presença de patologia no tendão de Aquiles em bailarinos assintomáticos, através da análise de árvore de classificação e regressão (CART).

Métodos

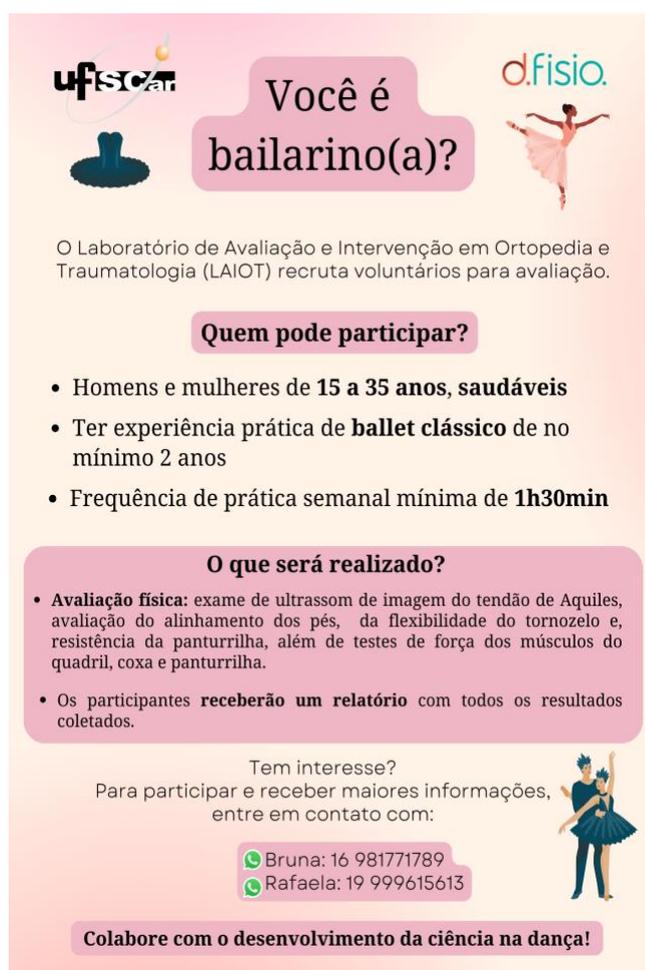
Desenho do estudo

Este foi um estudo transversal reportado de acordo com a declaração "*Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology*" (STROBE)³⁵. O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (número CAAE 24257219.4.0000.5504). Todos os participantes ou responsáveis legais assinaram um termo de consentimento informado por escrito antes da coleta de dados.

Local e Recrutamento

O recrutamento e a coleta de dados ocorreram em dois períodos devido à pandemia de COVID-19. O primeiro período de coleta de dados ocorreu em janeiro de 2020 e o segundo entre janeiro e julho de 2022. A coleta de dados foi realizada

em dois locais: nas instalações de uma companhia de dança para os bailarinos profissionais e em um laboratório de pesquisa para os bailarinos amadores. Todos os bailarinos profissionais contratados por uma mesma companhia de dança nacional foram convidados, via convite verbal, a participar do estudo. Bailarinos amadores de escolas de dança regionais foram convidados por meio de convite verbal, folhetos e anúncios em redes sociais (**Figura 1**).



O cartaz de recrutamento apresenta o logotipo da UFSCAR e o d.fisio. O texto principal pergunta 'Você é bailarino(a)?'. Abaixo, informa que o Laboratório de Avaliação e Intervenção em Ortopedia e Traumatologia (LAIOT) recruta voluntários. O cartaz detalha quem pode participar (homens e mulheres de 15 a 35 anos, saudáveis, com experiência prática de ballet clássico de no mínimo 2 anos e frequência de prática semanal mínima de 1h30min). Também descreve o que será realizado, incluindo uma avaliação física com ultrassom e testes de força, e a entrega de um relatório com todos os resultados. Para quem tem interesse, fornece os contatos de Bruna (16 981771789) e Rafaela (19 999615613). O cartaz termina com o convite 'Colabore com o desenvolvimento da ciência na dança!'.

ufscar **d.fisio**

Você é bailarino(a)?

O Laboratório de Avaliação e Intervenção em Ortopedia e Traumatologia (LAIOT) recruta voluntários para avaliação.

Quem pode participar?

- Homens e mulheres de **15 a 35 anos, saudáveis**
- Ter experiência prática de **ballet clássico** de no mínimo 2 anos
- Frequência de prática semanal mínima de **1h30min**

O que será realizado?

- **Avaliação física:** exame de ultrassom de imagem do tendão de Aquiles, avaliação do alinhamento dos pés, da flexibilidade do tornozelo e, resistência da panturrilha, além de testes de força dos músculos do quadril, coxa e panturrilha.
- Os participantes **receberão um relatório** com todos os resultados coletados.

Tem interesse?
Para participar e receber maiores informações,
entre em contato com:

WhatsApp: Bruna: 16 981771789
WhatsApp: Rafaela: 19 999615613

Colabore com o desenvolvimento da ciência na dança!

Figura 1. Cartaz usado para recrutamento de bailarinos amadores.

Participantes

Os participantes elegíveis foram bailarinos profissionais e amadores, de ambos os sexos, com idades entre 15 e 35 anos. Para este estudo, um profissional foi definido como um bailarino contratado por uma companhia³⁶, enquanto um amador

foi definido como um bailarino não profissional com pelo menos dois anos de prática de dança e treinamento semanal mínimo de 1,5 horas³⁷. Os critérios de exclusão foram os mesmos para todos os bailarinos: presença de dor atual ou histórico de dor no tendão de Aquiles nos últimos 12 meses, doenças metabólicas ou reumatológicas, qualquer alteração vestibular, neurológica ou musculoesquelética que impedisse os procedimentos de avaliação do estudo.

Procedimentos

Os critérios de elegibilidade foram verificados para cada participante por um fisioterapeuta. Os dados foram coletados por dois investigadores, ambos fisioterapeutas registrados e treinados nos métodos adotados. Um examinador realizou a coleta dos dados demográficos, o exame de ultrassonografia, a avaliação da pronação subtalar, a amplitude de movimento (ADM) de dorsiflexão do tornozelo e a avaliação da resistência a fadiga dos flexores plantares do tornozelo. Um segundo examinador realizou a bateria de testes de força isométrica máxima utilizando um dinamômetro manual portátil. A avaliação por ultrassom foi a primeira avaliação realizada para que o examinador estivesse cego quanto aos resultados das medidas clínicas. A confiabilidade intra-examinador da medida da espessura do tendão e das medidas clínicas foi verificada em um estudo de teste-reteste. Para isso, todas as medidas foram realizadas, pelo mesmo examinador, em dois momentos separados por 3-7 dias, em 5 participantes (idade: $26,4 \pm 4,1$; peso: $61,36 \pm 8,4$; altura: $1,63 \pm 0,1$). O Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI) foi obtido utilizando efeitos mistos bidirecionais, consistência e média das medidas³⁸, e o Erro Padrão da Medida (EPM) foi calculado utilizando a fórmula $EPM = \text{desvio padrão (DP)} \times \sqrt{1 - CCI}$ ³⁹. Os resultados são apresentados na **Tabela 1**.

Avaliações

O mesmo protocolo de coleta de dados foi seguido para todos os participantes. As avaliações foram feitas na seguinte ordem: avaliação demográfica, ultrassonografia do tendão de Aquiles, avaliação da pronação subtalar, ADM de dorsiflexão do tornozelo, sequência de testes de força isométrica máxima, e avaliação da resistência a fadiga dos flexores plantares do tornozelo. Todos os dados foram registrados usando uma ficha de avaliação padronizada. A ordem de avaliação de cada membro inferior foi definida aleatoriamente por lançamento de moeda. Todas as medidas foram realizadas com os participantes descalços.

Avaliação Demográfica: Informações demográficas, antropométricas e relacionadas à dança foram coletadas. A presença de sintomas no tendão de Aquiles foi examinada por meio da palpação do tendão e por perguntas abertas sobre sintomas no tendão durante atividades de carga. A versão brasileira do questionário *Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles* (VISA-A-Br) foi utilizada para caracterizar a amostra em relação à dor e função do tendão de Aquiles⁴⁰.

Ultrassonografia do Tendão de Aquiles: A avaliação ultrassonográfica do tendão de Aquiles foi feita por uma fisioterapeuta treinada. Foi utilizado um equipamento de ultrassom portátil (*LOGIQ V2, GE Medical Systems, China Co., Ltd*), com uma sonda linear modelo 12L-RS, frequência de 12 MHz. Foi selecionada uma profundidade de 2 cm⁴¹. Os participantes foram posicionados em decúbito ventral, com os pés fora da maca, em contato com uma parede para manter o tornozelo em posição neutra (ângulo de 90° entre perna e pé)⁴¹ (**FIGURA 2, A**). Os tendões foram escaneados bilateralmente, da inserção no calcâneo até a junção miotendínea, no eixo

longitudinal, procurando por áreas hipoeecóicas. Se uma área hipoeecóica fosse identificada, a varredura era repetida no plano transversal para confirmar os achados. Para este estudo, patologia no tendão foi definida como a presença de áreas hipoeecóicas (desorganização focal das fibras de colágeno) e espessamento fusiforme do tendão (detalhes em “Processamento de Dados”)⁴². Três imagens de cada porção do tendão (inserção e porção média) foram obtidas para futuras medições de espessura.

Avaliação da Pronação Subtalar: A pronação subtalar foi avaliada utilizando o Teste da Queda do Navicular, conforme Barton et al. ⁴³. O aspecto mais medial da tuberosidade navicular foi marcado usando um lápis dermatográfico, com os participantes sentados em uma cadeira, com os quadris e joelhos flexionados a 90° e os pés relaxados no chão. Nesta posição foi medida a altura do osso navicular em relação ao solo (**FIGURA 2, B**) usando um cartão fixo em um suporte metálico de ângulo reto. Em seguida, com o participante em pé na posição de apoio unipodal, a altura do osso navicular foi medida novamente (**FIGURA 2, C**). O deslocamento vertical foi documentado em centímetros, e a média de três tentativas foi usada para análise.

Amplitude de Dorsiflexão do Tornozelo com Suporte do Peso Corporal: A ADM de dorsiflexão do tornozelo foi medida durante o teste do avanço anterior, conforme descrito por Bennell et al. ⁴⁴. Usando fita adesiva, foram feitas uma linha no chão e uma na parede, de forma contínua. Os participantes foram posicionados com o pé avaliado sobre a linha feita no chão, de modo que a bissecção do calcâneo e o segundo dedo ficassem alinhados com a fita para evitar a hiperpronação da

articulação subtalar ⁴⁵. Os participantes foram instruídos a flexionar o joelho para frente, até que a patela tocasse a linha na parede à frente, mantendo o calcanhar no chão. Na posição de máxima dorsiflexão do tornozelo, um inclinômetro (aplicativo instalado em um *smartphone*) foi colocado na superfície anteromedial da tíbia (evitando o ventre do músculo tibial anterior) 15 cm abaixo da tuberosidade tibial (**FIGURA 2, D**). O ângulo entre a tíbia e a linha vertical foi registrado três vezes, e a média foi usada na análise estatística.

Resistência a Fadiga dos Flexores Plantares do Tornozelo em Apoio

Unipodal: A resistência a fadiga dos músculos flexores plantares do tornozelo foi avaliada usando o teste de Elevação do Calcanhar Unilateral (*Single Leg Heel Raise* - SLHR) de acordo com as recomendações de Sman et al. ⁴⁶. Para isso, foi utilizado o dispositivo *Ankle Measure for Endurance and Strength (AMES)*, desenvolvido por Sman et al. (2014). Esse dispositivo possui uma plataforma com duas hastas verticais e uma faixa elástica amarrada a elas, na posição horizontal. A altura da faixa elástica pode ser ajustada de forma que ela seja colocada imediatamente abaixo do calcâneo quando o participante está em flexão plantar máxima. Os participantes foram instruídos a permanecerem em apoio unipodal sobre a plataforma em frente a uma parede. Foi permitido que o participante tocasse a parede com as pontas dos dedos apenas para manutenção do equilíbrio. Inicialmente, os participantes foram instruídos a ficar na ponta do pé, realizando a flexão plantar máxima do tornozelo, e manterem essa posição para que a faixa elástica pudesse ser ajustada logo abaixo do calcanhar. Os participantes foram instruídos a manter o joelho estendido e o tronco alinhado com a vertical durante toda a duração do teste. Na posição inicial (calcanhar do membro inferior testado tocando o solo e o tornozelo em posição neutra; membro inferior não

testado com o joelho flexionado de forma que o pé não tocasse a plataforma), o metrônomo, ajustado a 46 batidas por minuto (bpm), foi iniciado. Após se familiarizar com a cadência, ao ritmo de uma batida o participante iniciava o teste realizando a máxima flexão plantar e, na segunda batida, abaixava o calcanhar tocando o solo novamente (**FIGURA 2, E e F**). Esse movimento era repetido até a fadiga muscular. O teste era interrompido se o participante decidisse parar, ou se um dos seguintes critérios ocorresse duas vezes consecutivas: a) o participante não conseguia atingir a flexão plantar máxima controlada pela faixa elástica, b) o participante inclinava-se excessivamente na parede com clara flexão de tronco, c) flexão do joelho do membro avaliado durante a flexão plantar ou d) perda do ritmo determinado pelo metrônomo. O número máximo de repetições foi registrado e o teste foi realizado uma vez para cada membro inferior.

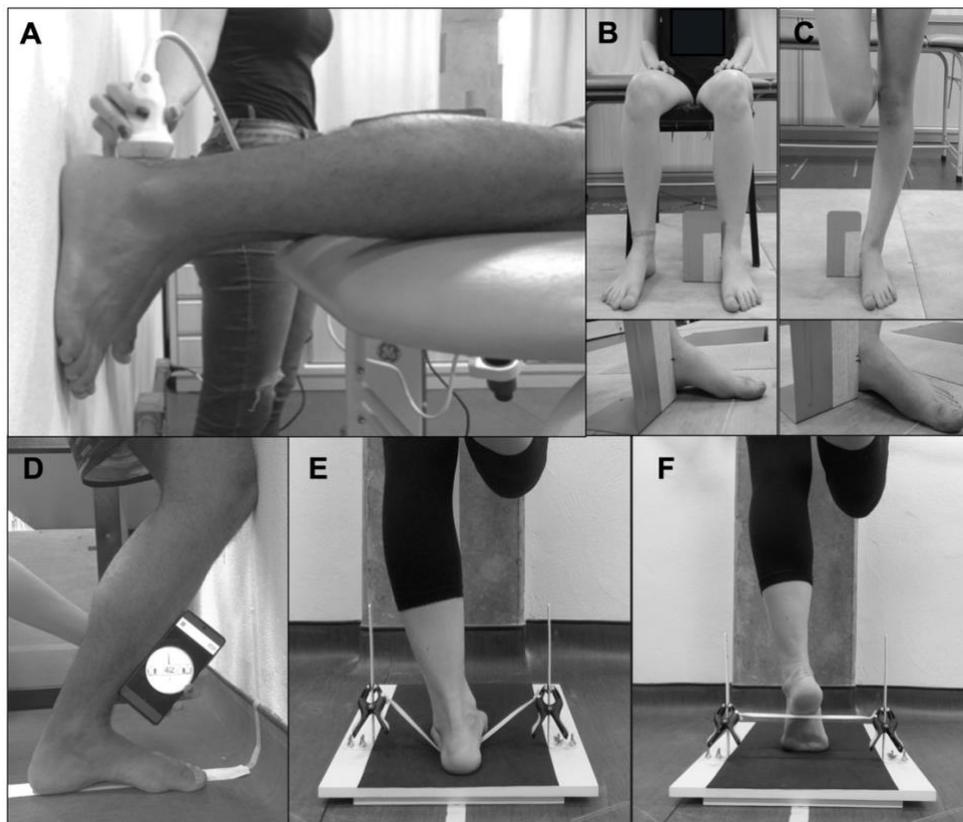


Figura 2. Avaliação ultrassonográfica e medidas clínicas. A, Posicionamento para exame ultrassonográfico tendão de Aquiles; Teste da queda do navicular: B, posição

inicial; C, posição final; D: Teste do avanço anterior; Teste de elevação do calcanhar: E, posição inicial; F, posição final.

Força Isométrica Máxima: Um dinamômetro manual portátil (*Lafayette Manual Muscle Test System, Lafayette Instruments, IN, EUA*) foi utilizado para medir a força isométrica máxima dos extensores, abdutores e rotadores laterais do quadril, extensores do joelho e flexores plantares do tornozelo. Faixas inelásticas foram usadas para estabilizar os participantes e o dinamômetro, eliminando o efeito da força do examinador nos testes⁴⁷. Após uma contração submáxima e uma máxima para familiarização, foram registradas três tentativas válidas com contração isométrica voluntária máxima mantida por 5 segundos. Se houvesse uma variação maior que 10% entre as contrações, uma quarta tentativa era realizada⁴⁸. Os membros inferiores foram avaliados alternadamente, com pelo menos um minuto de descanso entre as contrações no mesmo lado. Incentivo verbal vigoroso e padronizado foi dado pelo mesmo examinador para todos os testes⁴⁹. Os valores de pico de força obtidos pelo dinamômetro em quilogramas (Kg) foram convertidos em Newtons (Kg x 9,81). Para o cálculo do torque, a força (N) foi multiplicada pelo braço de alavanca (metros) específico para cada grupo muscular ([força (N) x braço de alavanca (m)] (**TABELA 1**). Em seguida, o valor de torque foi normalizado pela massa corporal dos participantes e multiplicado por 100 para obter a porcentagem do peso corporal (PC) (Torque (Nm) / Massa Corporal (Kg) x 100 = % PC). A média do pico de torque obtido durante as três tentativas válidas foi usada para análise.

Força Extensora do Joelho: A força extensora do joelho foi obtida com os participantes em decúbito dorsal, braços cruzados sobre o peito, e o joelho testado flexionado a 30° para simular o ângulo que os atletas precisam gerar força durante saltos^{47,49}. O dinamômetro foi colocado no ponto médio entre os maléolos medial e

lateral (**FIGURA 3, A**). Os participantes foram instruídos a empurrar tentando estender o joelho⁴⁹.

Força Flexora Plantar do Tornozelo: A força flexora plantar do tornozelo foi avaliada em decúbito ventral com os pés fora da maca em posição neutra⁵⁰. Duas faixas foram usadas para estabilização dos participantes, uma na pelve e outra no terço distal da coxa. Uma terceira faixa inelástica foi usada para estabilizar o dinamômetro na região plantar das articulações metatarsofalangeanas e fornecer resistência ao movimento de flexão plantar⁵⁰ (**FIGURA 3, B**). Os participantes foram instruídos a segurar na maca para evitar que o corpo deslizasse no sentido craniano e a empurrar o dinamômetro, tentando mover o pé para baixo (sentido caudal)⁴⁹.

Força Rotadora Lateral do Quadril: Para medida da força rotadora lateral do quadril, os participantes sentaram-se na maca com quadris e joelhos fletidos a 90°. Para prevenir compensação do movimento de rotação lateral pela contração dos adutores, um rolo de toalha foi colocado entre os joelhos. O dinamômetro foi colocado 5 centímetros proximal ao maléolo medial⁵¹. O dinamômetro foi fixado ao redor da perna da maca usando uma faixa (**FIGURA 3, C**). Os participantes foram instruídos a manter os braços cruzados sobre o peito e a empurrar o pé para dentro.

Força Extensora do Quadril: A força extensora do quadril foi medida com os participantes em decúbito ventral, com os quadris em posição neutra em todos os três planos. O joelho do lado testado foi flexionado a 90°⁵⁰. A pelve do participante foi estabilizada usando uma faixa presa ao redor da maca. O dinamômetro foi posicionado proximal à fossa poplíteia e estabilizado por uma segunda faixa (**FIGURA 3, D**). Os participantes foram instruídos a segurar a maca e a empurrar o pé em direção ao teto, com esforço máximo⁴⁹.

Força Abdutora do Quadril: A força abdução do quadril foi medida com os participantes em decúbito lateral, com um travesseiro entre os membros inferiores para manter os quadris neutros nos três planos⁴⁸. Uma faixa foi colocada proximal à crista ilíaca e fixada firmemente ao redor da maca para estabilizar o tronco dos participantes, e o dinamômetro foi colocado 5 centímetros proximal à linha articular lateral do joelho (**FIGURA 3, E**). Os participantes foram instruídos a produzir força máxima tentando empurrar a perna para cima⁵¹.

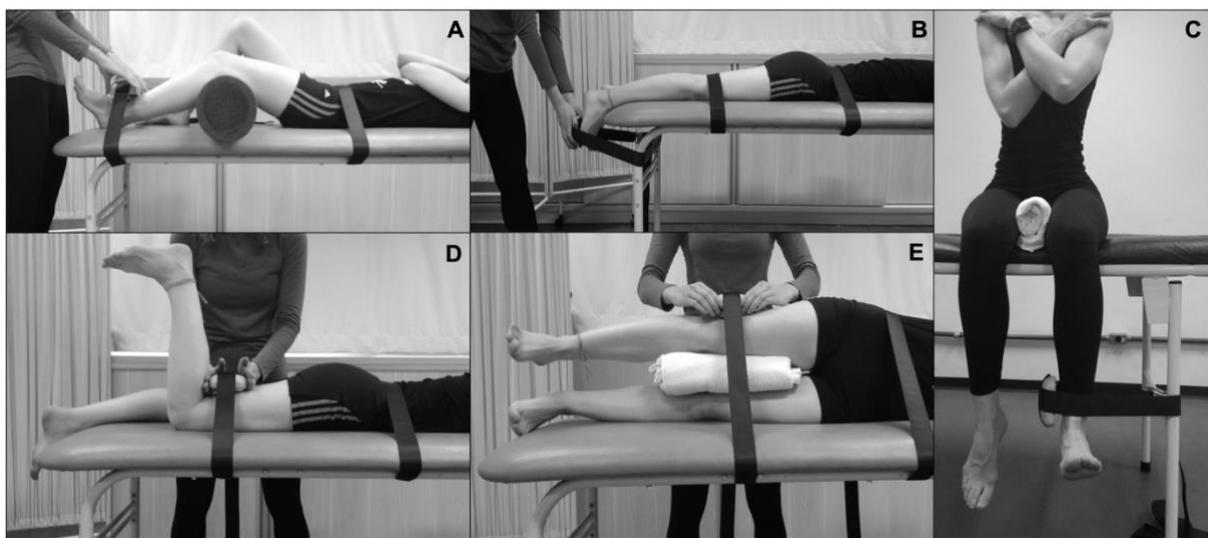


Figura 3. Avaliação da força isométrica. A, força extensora do joelho; B, força flexora plantar do tornozelo; C, força rotadora lateral do quadril; D, força extensora do quadril; E, força abdução do quadril.

Tabela 1. Dados de confiabilidade para todas as variáveis e braço de alavanca definido para cada teste de força isométrica.

Variável	CCI (95% IC)	EPM	Braço de alavanca
Razão da espessura do tendão (centímetros)	0.94 (0,79 - 0,93)	0.03	NA
Teste de queda navicular (centímetros)	0.67 (-0,32 - 0,91)	0.07	NA
ADM dorsiflexão do tornozelo (graus)	0.98 (0,92 - 0,99)	0.79	NA
Resistência da panturrilha (número de repetições)	0.91 (0,64 - 0,97)	1.77	NA
Torque extensor do quadril (% PC)	0.87 (0,50 - 0,96)	7.87	Distância entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur
Torque abductor do quadril (% PC)	0.89 (0,56 - 0,97)	10.04	Distância entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur
Torque rotador lateral do quadril (% PC)	0.76 (0,05 - 0,94)	6.01	Distância entre o epicôndilo lateral do fêmur e o maléolo lateral
Torque extensor do joelho (% PC)	0.91 (0,65 - 0,97)	8.22	Distância entre o epicôndilo lateral do fêmur e o maléolo lateral
Torque flexor plantar do tornozelo (% PC)	0.62 (-0,51 - 0,90)	12.60	Distância entre a face posterior do calcâneo e a primeira articulação metatarsofalangeana

Abreviações: CCI, coeficiente de correlação intraclasse; IC, intervalo de confiança; EPM, erro padrão da medida; NA, não aplicável; ADM, amplitude de movimento; PC, peso corporal.

Processamento das Imagens Ultrassonográficas

Medida da Espessura do Tendão de Aquiles: Após a conclusão da coleta de dados, as imagens ultrassonográficas foram exportadas para um computador para processamento dos dados. A espessura do tendão de Aquiles foi medida utilizando o software *ImageJ* (*National Institutes of Health, Bethesda, MD*) de acordo com Malliaras et al. ⁴². A máxima distância anteroposterior foi medida (em centímetros) na enteses do tendão e na porção intermédia, na vista longitudinal. O valor médio de três

imagens de cada porção foi utilizado no cálculo. Em seguida, foi realizado o cálculo para obtenção da razão entre a espessura na porção intermédia e na entese. Para isso, o valor médio da espessura na porção intermédia foi dividido pelo valor médio da espessura na entese. Medidas dos tendões que obtiveram uma razão superior a 1,2 ou 20% foram categorizados como tendo formato fusiforme (patologia no tendão), enquanto que tendões com razão compreendida abaixo deste valor foram considerados com espessura paralela (normal)⁴². Para fins de análise estatística, a variável espessura do tendão foi dicotomizada, categorizando os tendões em dois grupos: tendões com patologias (presença de formato fusiforme e/ou áreas hipoecóicas) e tendões normais (espessura paralela e ausência de focos hipoecóicos).

Análise Estatística

Um investigador independente conduziu a análise estatística. O método estatístico utilizado foi a Árvore de Classificação e Regressão (*CART*). Este é um método estatístico robusto, não-paramétrico e multivariável amplamente utilizado na pesquisa em saúde^{52,53,54,55}. O resultado desta análise gera um modelo em formato de fluxograma, que explora o desfecho principal (no caso deste estudo a ocorrência de patologia no tendão) analisando as variáveis independentes (pronação subtalar, amplitude de dorsiflexão do tornozelo, torque isométrico do quadril, joelho e tornozelo, e resistência a fadiga dos flexores plantares do tornozelo) de forma combinada, ou seja, de maneira não linear^{52,53}.

A análise se inicia com a amostra inteira agrupada no nó 0 (nó parental). Em seguida, o modelo identifica a variável mais forte associada ao desfecho principal e determina um ponto de corte que melhor divide a amostra em dois subgrupos (nós

filhos) que são o mais homogêneo dentre si e o mais heterogêneo entre si. Essas partições binárias continuam recursivamente, até que os critérios pré-estabelecidos não sejam mais atendidos (nó terminal)^{52,53}. Os seguintes critérios foram utilizados para gerar a árvore: um n mínimo de seis em cada nó parental, um n mínimo de três em cada nó filho, e um índice de Gini de 0,0001 para maximizar a homogeneidade dos nós. Foi estabelecida uma profundidade máxima de cinco níveis, uma validação cruzada de seis vezes foi realizada e um procedimento de poda foi aplicado para evitar partições superajustadas.

A área sob a curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) foi calculada para verificar a precisão do modelo de predição. O nível de significância foi estabelecido em 0,5 para verificar se o modelo era preciso para indicar as categorias de desfecho⁵⁴. Os tamanhos de efeito para cada nó terminal foram estimados calculando as razões de prevalência (RP) e os 95% dos intervalos de confiança (95% IC) por meio de tabelas de contingência com o *OpenEpi* (www.OpenEpi.com)⁵⁶. Para o nó terminal 4, onde em um dos grupos o n = 0, foi aplicada uma correção de Haldane, adicionando 0,5 a todas as células antes do cálculo da RP⁵⁷.

Resultados

De todos os bailarinos convidados, um total de 37 bailarinos concordaram em participar do estudo; dois participantes não atenderam aos critérios de elegibilidade (doença metabólica e condição musculoesquelética que impedia a realização dos testes clínicos), e outros dois participantes tiveram apenas um membro inferior avaliado devido à presença de cirurgia no membro inferior contralateral (reconstrução do LCA). Portanto, 35 bailarinos foram incluídos na análise (23 do sexo feminino, 12 do sexo masculino), sendo 20 profissionais e 15 amadores.

A **Tabela 2** descreve as características demográficas da amostra. Apesar das diferenças no nível técnico, bailarinos profissionais e amadores não apresentaram diferenças estatísticas em relação ao tempo total de experiência na dança ($p = 0,147$), que é um fator importante que influencia a presença de patologia no tendão (carga acumulada ao longo do tempo)⁵⁸.

Dos 35 bailarinos avaliados, 68 tendões foram incluídos na análise ultrassonográfica (42 tendões com patologia e 26 tendões normais). Pelo menos um tipo de patologia (por exemplo, formato fusiforme e/ou área hipoecóica) foi encontrado em 80% dos participantes: 16 participantes apresentaram patologia bilateralmente, 12 possuíam alterações unilaterais (6 direita/6 esquerda) e 7 participantes tinham tendões normais bilateralmente. O tipo de patologia mais comum encontrado foi o formato fusiforme. A **Tabela 2** descreve a ocorrência de patologias no tendão.

Tabela 2. Dados descritivos dos participantes (média \pm DP) e valores de frequência de patologia no tendão. Tamanho de amostra (n) apresentados por número de participantes para dados descritivos e por número de tendões para tipo de patologia.

	Geral	Profissionais	Amadores
Dados descritivos	(n=35)	(n=20)	(n=15)
Idade (anos)	24,4 \pm 5	25,7 \pm 4,3	22,8 \pm 5,4
Massa corporal (Kg)	57,1 \pm 9,2	59,6 \pm 8,9	53,8 \pm 8,7
Altura (m)	1,66 \pm 0,07	1,68 \pm 0,07	1,62 \pm 0,06
Sexo biológico (feminino/masculino)	23/12	10/10	13/2
IMC (Kg/m ²)	20,6 \pm 2,1	20,8 \pm 1,9	20,3 \pm 2,4
Volume de treinamento (horas/semana)	28,7 \pm 18,3	44 \pm 0	8,4 \pm 6,8
Tempo total de treinamento (anos)	14,4 \pm 6,1	15,7 \pm 5,6	12,6 \pm 6,5
Experiência profissional (anos)	3,8 \pm 4,1	6,3 \pm 3,5	-
VISA-A-Br (pontuação)	95 \pm 7	92 \pm 8	98 \pm 2
Tipo de patologia	(n=68)	(n=38)	(n=30)
Formato fusiforme ^a	40 / 58,7%	22 / 58,0%	18 / 60,0%
Área hipoecóica ^a	1 / 1,5%	1 / 2,6%	0 / 0%
Formato fusiforme + Área hipoecóica	1 / 1,5%	1 / 2,6%	0 / 0%
Total ^b	42 / 61,7%	24 / 63,2%	18 / 60,0%

Abreviações: DP, desvio padrão; Kg, quilogramas; m, metros; IMC, índice de massa corporal; VISA-A-Br, *Victorian Institute of Sport Assessment-Aquiles* - versão brasileira.

^a Valores expressos em frequência/porcentagem.

^b Número total de tendões com algum tipo de patologia

De todas as variáveis independentes incluídas, o modelo CART identificou o torque abductor do quadril, o torque extensor do quadril, a ADM de dorsiflexão do tornozelo, o torque rotador lateral do quadril e a resistência da panturrilha como preditores hierárquicos e inter-relacionados para patologia no tendão de Aquiles

(Figura 4). O modelo CART classificou corretamente 88,1% dos tendões com patologias e 76,9% dos tendões normais, resultando em uma porcentagem total de classificação de 83,8% [RP (95% IC) = 4.302 (1.946-9.509)]. A área sob a curva obtida pela curva ROC foi de 0,84; 95% IC: 0,74-0,95; $p < 0,0001$.

Lista de variáveis clínicas incluídas no modelo:

- Teste de Queda Navicular (cm)
- ADM de dorsiflexão do tornozelo (graus)
- Resistência da Panturrilha (nº repetições)
- Torque Rotador Lateral do Quadril (%PC)
- Torque Abdutor do Quadril (%PC)
- Torque Extensor do Quadril (%PC)
- Torque Extensor do Joelho (%PC)
- Torque dos Flexores Plantares (%PC)

✓ Patologia no tendão: presença de patologia do tendão
 X Patologia no tendão: ausência de patologia do tendão

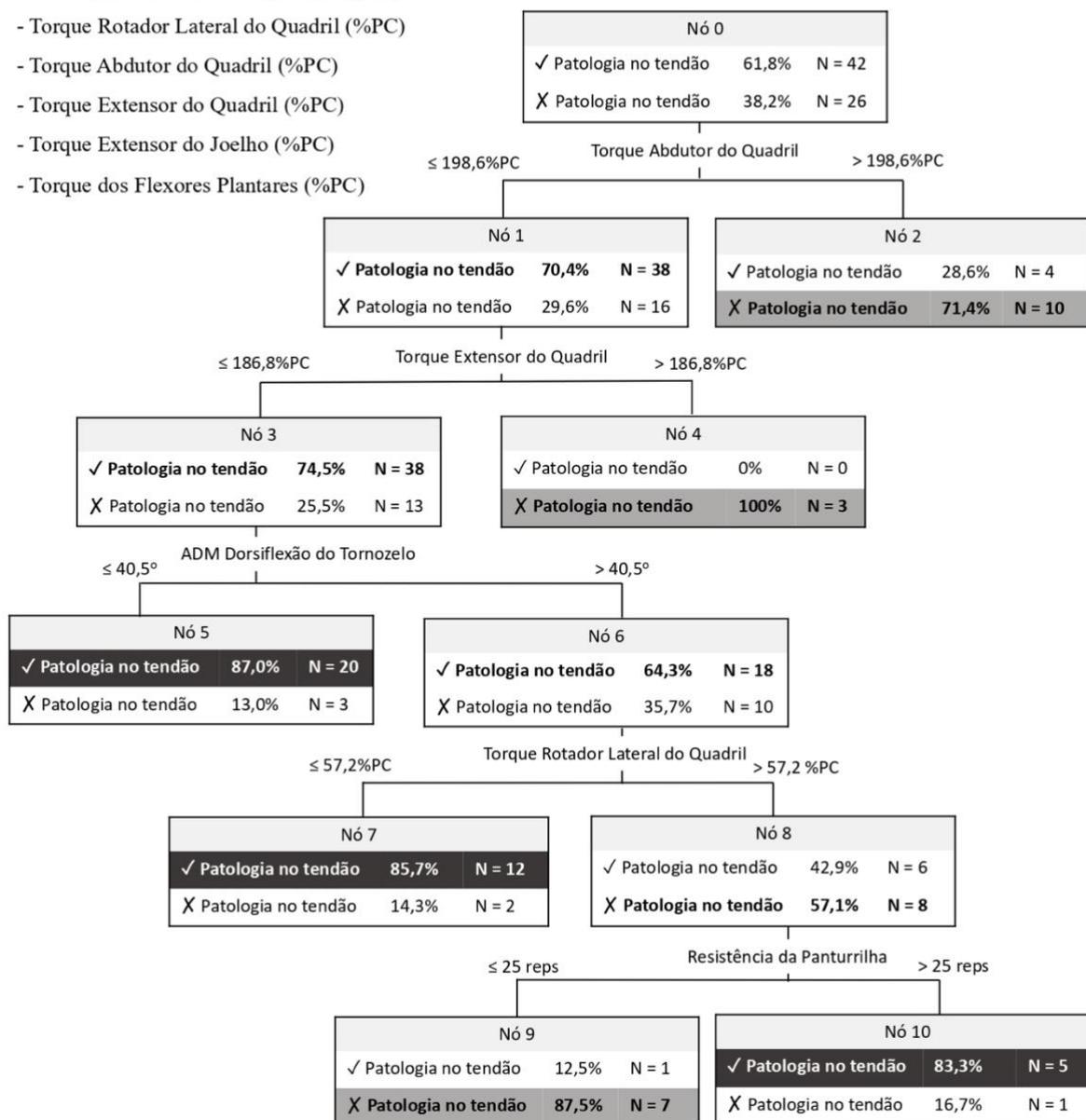


Figura 4. Modelo CART para a ocorrência de patologia no tendão de Aquiles. As previsões para cada nó estão indicadas em negrito.

O modelo identificou três perfis de risco para a presença de patologia no tendão de Aquiles. As variáveis torque abductor do quadril ≤198,6%PC, torque extensor do quadril ≤186,8%PC e a ADM de dorsiflexão do tornozelo ≤40,5°, quando combinados, estavam relacionados à presença de patologia no tendão de Aquiles [nó

5; n = 20; 87%; RP (95% IC) = 1,779 (1,268-2,494)]. Interessantemente, o nó 7 sugeriu que, mesmo com uma maior ADM de dorsiflexão do tornozelo (acima do valor de corte), ainda há risco de patologia quando associada a um torque do quadril (abdutor, extensor e rotador lateral) abaixo do valor de corte [nó 7; n = 12; 85%; RP (95% IC) = 1,543 (1,12-2,125)]. Quando o torque abdutor e extensor do quadril estava abaixo do valor de corte, e a ADM de dorsiflexão do tornozelo, o torque rotador lateral do quadril e a resistência da panturrilha estavam acima dos valores de corte, essas variáveis em associação estavam relacionadas à presença de patologia no tendão de Aquiles; no entanto, essa associação não foi estatisticamente significativa [nó 10; n = 5; 83%; RP (95% IC) = 1,396 (0,09247-2,109)].

O modelo também mostrou três perfis identificando tendões normais (fatores de proteção). O primeiro deles, inesperadamente, selecionou como fator de proteção apenas o torque abdutor do quadril, com um valor de corte de 198,6%PC, sem demais interações entre variáveis. Torque abdutor do quadril acima do valor de corte estava diretamente associado a tendões normais (fator de proteção para a patologia no tendão de Aquiles) [nó 2; n = 10; 70%; RP (95% IC) = 0,406 (0,1742-0,9462)]. No nó 4, uma interação entre menor torque abdutor do quadril ($\leq 198,6\%PC$) e maior torque extensor do quadril ($> 186,8\%PC$) classificou três tendões como normais, mas sem significância estatística [nó 4; n = 3; 100%; RP (95% IC) = 0,1941 (0,01443-2,61)]. A combinação entre baixo torque abdutor ($\leq 198,6\%PC$) e extensor do quadril ($\leq 186,8\%PC$), quando associada a uma maior ADM de dorsiflexão do tornozelo ($> 40,5^\circ$), maior torque rotador lateral do quadril ($> 57,2\%PC$) e menor resistência da panturrilha (≤ 25 repetições), foi associada a tendões normais, porém também sem significância estatística [nó 9; n = 7; 87%; RP (95% IC) = 0,182 (0,02901-1,153)].

Discussão

O objetivo deste estudo foi investigar a interação entre fatores clínicos comumente associados à tendinopatia de Aquiles, e a presença de patologia no tendão de Aquiles, que é um conhecido fator de risco para tendinopatia (Docking e Cook 2019), em bailarinos assintomáticos. Esse estudo foi o primeiro a explorar como a interação de medidas clínicas pode identificar a patologia no tendão de Aquiles, na ausência de dor, em uma população com alta prevalência de alterações no tendão^{26,27}, utilizando uma análise estatística que inclui interações não lineares. Nossos achados mostraram a importância de considerar a força proximal como um fator influente para a patologia no tendão de Aquiles e destacam o impacto de uma avaliação combinada, incluindo toda a cadeia cinética, para melhor compreender a carga no tendão de Aquiles em bailarinos assintomáticos.

Oitenta por cento da amostra apresentou patologia no tendão de Aquiles em um ou ambos os tendões, apoiando a conhecida desconexão entre achados de imagem e sintomas. Isso também concorda com pesquisas que demonstram que mudanças no tendão podem refletir uma adaptação à carga^{31,59}.

A análise CART identificou três perfis de risco e três perfis de proteção. Entretanto, apenas os nós estatisticamente significativos serão abordados nesta discussão (nós 2, 5 e 7). O perfil de risco para a presença de patologia no tendão de Aquiles com maior força de interação foi observado no nó 5, sugerindo que um reduzido torque abductor e extensor do quadril, associado a um tornozelo rígido, está associado a uma probabilidade 77% maior de desenvolver patologia no tendão de Aquiles. Este achado possui uma lógica clínica coerente.

Durante a aterrissagem, a contribuição dos músculos do quadril é crucial para controlar excentricamente as forças externas, assim como uma boa excursão de

dorsiflexão do tornozelo é necessária para dissipar a força de reação do solo^{60,61,62}. Por outro lado, na presença de reduzido torque abductor e extensor do quadril, associado a um tornozelo rígido, as forças de impacto seriam mal dissipadas pelas articulações e pobremente absorvidas pelos músculos do membro inferior, potencialmente causando sobrecarga no tendão de Aquiles ao longo do tempo⁶³, o que pode levar ao desenvolvimento da patologia. Em uma coorte de corredores do sexo masculino com tendinopatia de Aquiles, Sancho et al.⁶⁴ encontraram que a força isométrica dos extensores e abdutores do quadril estava reduzida no grupo com tendinopatia de Aquiles. Apesar das variações populacionais, nossos achados se relacionam com os resultados citados, sugerindo que a redução do torque do quadril possa ser um fator de risco modificável que precede o início da tendinopatia de Aquiles.

Ainda sobre o torque do quadril, nosso modelo destaca que não apenas o torque reduzido do quadril pode comprometer o tendão de Aquiles, como também maiores valores desta variável podem ter um papel protetor. Apesar de não apresentar nenhuma associação entre outras variáveis, o nó 2 reforça a importância do torque do quadril na carga aplicada no tendão, onde um maior torque abductor do quadril foi associado a uma redução de 59% na probabilidade de patologia no tendão de Aquiles. Isso destaca a relevância da avaliação da força do quadril para a estrutura desse tendão.

Considerando o nó 7, mesmo com uma maior ADM de dorsiflexão do tornozelo, ainda houve um aumento de 54% na probabilidade de ocorrência de patologia no tendão de Aquiles quando associado a um torque geral reduzido do quadril. Até o momento, as evidências sobre a ADM de dorsiflexão do tornozelo e sua associação com a tendinopatia de Aquiles são inconclusivas, com estudos relatando tanto um

aumento quanto uma diminuição da ADM como fatores de risco^{65,66,67}. Considerando nossos achados, podemos argumentar que as discrepâncias na literatura podem surgir da avaliação isolada da ADM de dorsiflexão do tornozelo. Ao interpretar os resultados dos nós 5 e 7 em conjunto, é possível verificar como as medidas clínicas sofrem influência mútua, levando a diferentes desfechos. Nossos achados indicam que avaliações direcionadas apenas à ADM de dorsiflexão do tornozelo podem não ser suficientes para compreender a carga no tendão de Aquiles, se não acompanhadas por uma avaliação mais ampla do membro inferior.

Um achado que chama atenção nos nossos resultados é que, dentre todos os grupos musculares avaliados, o modelo CART não selecionou o torque dos flexores plantares do tornozelo com um preditor para patologia no tendão, apesar de sua importância reconhecida na literatura para a estrutura e dor do tendão de Aquiles^{68,69}. Um estudo prospectivo em uma população militar identificou o torque dos flexores plantares do tornozelo como um preditor para a tendinopatia de Aquiles, com maior risco se o torque fosse inferior a 50,0 Nm⁶⁸. Além disso, Nunes et al.⁶⁹ investigaram em um estudo transversal a relação entre a função e a arquitetura dos músculos flexores plantares do tornozelo com a morfologia do tendão de Aquiles em bailarinos assintomáticos. Esses autores mostraram que o torque dos flexores plantares do tornozelo e a arquitetura do músculo gastrocnêmio medial explicavam 24% da variância da espessura do tendão⁶⁹. Apesar das expectativas da literatura, o modelo CART selecionou o torque do quadril ao invés do torque dos flexores plantares do tornozelo.

Limitações

Este estudo apresenta limitações que precisam ser consideradas. A população estudada é específica e de difícil acesso, o que nos levou a empregar estratégias para alcançar um tamanho amostral razoável, apesar de ainda ser relativamente pequeno. A inclusão de ambos os tendões por participante de forma independente, embora uma prática comum na literatura, é reconhecida como uma limitação do estudo. Por outro lado, esta abordagem permite uma interpretação e aplicação individualizada dos resultados na prática clínica, considerando que bailarinos apresentam assimetrias importantes entre os membros. Outra limitação é a inclusão tanto de bailarinos profissionais quanto amadores para aumentar o tamanho da amostra. No entanto, a duração similar da experiência em ballet entre os grupos garante uma carga acumulada homogênea. Por fim, enquanto a palpação está alinhada com parte da literatura existente para definir os sintomas do tendão de Aquiles, um método mais preciso, como saltos em uma perna só ou testes progressivos de carga, poderia aprimorar a investigação dos sintomas.

Conclusão

A presença de patologia no tendão de Aquiles foi altamente frequente entre os bailarinos assintomáticos avaliados. A combinação de torque do quadril e ADM de dorsiflexão do tornozelo identificou com precisão a presença de patologia no tendão de Aquiles. Incluir essas medidas clínicas combinadas no processo de avaliação de bailarinos assintomáticos pode ser uma estratégia interessante para identificar indivíduos com alterações estruturais e, a partir disso, fazer um manejo adequado de carga imposta no tendão de Aquiles.

4.2 Artigo 2

Bailarinos profissionais toleram altas cargas no tendão de Aquiles: nenhuma mudança na estrutura e sintomas mínimos no tornozelo após 4 meses.

Bruna M. Tessarin ^{a,c}, FT; Susan Mayes ^{b,c}, FT, PhD; Sean I. Docking ^d, PhD; Michael Girdwood ^b, FT; Melinda Privopoulos ^e, FT; Thomas Swords ^c. ExSc; Melanie Fuller ^{c,f}, FT, PhD; Anelise M. C. Silveira ^g, FT, Me; Margaret Perrot ^b, FT, PhD; Charlotte Anker-Petersen ^h, FT, PhD; Fabio V. Serrão ^a, FT; PhD; Ebonie K. Rio ^{b,c,i}, FT, PhD.

- ^e. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil. Departamento de Fisioterapia.
- ^f. La Trobe University, Melbourne, Victoria, Australia. La Trobe Sport and Exercise Medicine Research Centre
- ^g. The Australian Ballet, Melbourne, Victoria, Australia.
- ^h. Monash University, Melbourne, Victoria, Australia. Department of Epidemiology and Preventative Medicine
- ⁱ. Bodycentric Dance & Vocal Physiotherapy, Adelaide, South Australia, Australia
- ^j. University of Southern Queensland, Brisbane, Queensland, Australia
- ^k. University of Sydney, Sydney, New South Wales, Australia
- ^l. Sports Orthopaedic Research Centre-Copenhagen, Department of Orthopaedic Surgery, Amager-Hvidovre Hospital, Copenhagen University Hospital, Denmark
- ^m. Victorian Institute of Sport, Melbourne, Australia

Artigo submetido ao periódico *Journal of Science and Medicine in Sport - JSAMS* (fator de impacto 3.0) (Apêndice 2)

RESUMO

Introdução: A quantidade e as características da carga são fatores-chave no desenvolvimento de adaptação ou patologias no tendão. "O Lago dos Cisnes" é uma coreografia de *ballet* conhecida que impõe alta carga no tendão de Aquiles. A *ultrasound tissue characterisation* (UTC) é uma ferramenta de imagem confiável para detectar mudanças sutis na estrutura do tendão. Um estudo anterior identificou efeitos negativos após seis semanas de treinamento de "O Lago dos Cisnes", concluindo que sinais iniciais de mudanças estruturais podem preceder o início de sintomas no tendão de Aquiles em bailarinos profissionais.

Objetivos: Investigar a mudança estrutural do tendão de Aquiles usando UTC após 6 semanas de ensaios de "O Lago dos Cisnes" em bailarinos profissionais. Além disso, examinar se os bailarinos desenvolveram sintomas na região posterior do tornozelo ao longo de um período de 4 meses, utilizando questionários autorrelatados e uma avaliação clínica abrangente da região posterior do tornozelo.

Métodos: Este foi um estudo longitudinal, composto por três avaliações em diferentes momentos: linha de base, 6 semanas e 4 meses. Uma coorte de 40 bailarinos profissionais teve ambos os tendões de Aquiles escaneados usando UTC. Os testes clínicos compreenderam um protocolo de carga progressiva para condições da região posterior do tornozelo, teste da síndrome do impacto posterior do tornozelo e palpação do tendão de Aquiles. Três questionários autoadministrados foram aplicados. Percentuais de eco tipos e diâmetro anteroposterior (AP) foram extraídos dos dados de UTC. Os resultados clínicos foram relatados descritivamente. Modelos lineares mistos generalizados com efeitos aleatórios para membros agrupados para cada participante foram usados para medir a mudança na estrutura do tendão da linha de base para 6 semanas, usando o *R Studio*.

Resultados: Para o diâmetro AP, encontramos uma interação sexo*tempo, com os homens mostrando um aumento no diâmetro AP da linha de base para 6 semanas (mudança média 0,27mm, 95%IC 0,10 a 0,43), não visto nas mulheres (mudança média 0,03mm, 95%IC -0,11 a 0,18). Houve interações significativas membro*tempo para os eco tipos I, II e III, indicando piora da estrutura do tendão no membro direito (diminuição do eco tipo I, aumento dos eco tipos II e III). Embora estatisticamente significativas, todas as mudanças observadas na estrutura estavam abaixo da diferença mínima detectável. Apenas três bailarinos mostraram sinais clínicos de comprometimento do tendão de Aquiles. O único sintoma autorrelatado foi instabilidade no tornozelo na linha de base.

Conclusões: Seis semanas de treinamento de "O Lago dos Cisnes" não afetaram clinicamente a estrutura do tendão de Aquiles nesta coorte de bailarinos profissionais constantemente submetidos a altas cargas. A maioria dos bailarinos não desenvolveu problemas no tendão de Aquiles após o período de 4 meses.

Palavras-chave: Caracterização do Tecido por Ultrassom; mudança estrutural; artistas performáticos; diagnóstico diferencial; avaliação do tornozelo.

Introdução

O Lago dos Cisnes é um *ballet* de repertório icônico, apresentado ao redor do mundo. A coreografia envolve corridas na meia-ponta (flexão plantar), momentos de posturas estáticas seguidos de grandes saltos repetidos, especialmente no corpo de baile (um grupo de bailarinos que trabalha como um único corpo, com movimentos sincronizados). Durante as corridas e saltos, os músculos e tendões dos membros inferiores são altamente sobrecarregados, com o tendão de Aquiles desempenhando um papel crucial no armazenamento e liberação de energia e contribuindo para o trabalho mecânico dos músculos do tornozelo^{70,71}. Essa característica de mola (ciclo de alongamento-encurtamento) é essencial para que os bailarinos alcancem o movimento desejado de maneira eficiente e absorvam a carga para reduzir o risco de lesões.

A quantidade de carga aplicada em um tendão é um fator chave para o desenvolvimento da tolerância/adaptação do tendão ou de lesões tendíneas, frequentemente chamadas de patologia^{22,23}. Embora fatores como idade, genética e sexo possam contribuir para o surgimento de patologias, outros fatores como volume, intensidade e frequência de carga também podem influenciar se os tendões responderão positiva (adaptação) ou negativamente (desenvolvimento de patologia)^{22,31}. Portanto, é importante investigar qual a resposta do tendão de Aquiles à coreografia do Lago dos Cisnes para melhorar o gerenciamento de carga. Também é essencial avaliar a relação entre as mudanças na estrutura do tendão e os sintomas da região posterior do tornozelo.

A tendinopatia de Aquiles descreve a apresentação clínica de dor persistente e disfunção do tendão de Aquiles relacionada à carga mecânica²¹. Embora as porções insercional e intermédia façam parte da mesma estrutura, as duas regiões são

morfologicamente distintas e experimentam cargas diferentes (por exemplo, porção intermédia = carga tênsil; inserção = combinação de carga tênsil e compressiva)^{72,73}. Isso significa que cada porção responderá de maneira específica à carga e também terá diferentes apresentações clínicas²². Além da tendinopatia de Aquiles, várias outras condições clínicas podem causar dor na região posterior do tornozelo, como síndrome de impacto posterior, tenossinovite, bursite calcânea superficial etc.^{8,9}. As estruturas envolvidas nessas condições são altamente sobrecarregadas durante o *ballet*, pois a técnica exige extrema amplitude de movimento do tornozelo, flexão dos dedos e trabalho de pontas (hiper flexão plantar com descarga de peso corporal, usando sapatilhas específicas). Devido à complexa anatomia do tornozelo, a identificação precisa da fonte de dor pode ser desafiadora, entretanto pode influenciar a tomada de decisões clínicas⁸.

Existem testes clínicos projetados para identificar essas condições individualmente, como o teste de provocação de dor na flexão plantar, palpação do tendão etc. Apesar de amplamente utilizado na prática clínica e em pesquisas, o teste de provocação de dor na flexão plantar não possui propriedades clinimétricas publicadas. Já a palpação do tendão de Aquiles mostrou-se imprecisa no diagnóstico de dor no tendão, com muitos atletas relatando dor à palpação, mas não experimentando dor durante o teste de carga⁷⁴. Além disso, a palpação não foi incluída nas publicações de consenso recentes para resultados relatados pelos participantes para tendinopatia^{75,76}. Como o tendão de Aquiles é um tecido viscoelástico e pode receber cargas de maneiras diferentes ao longo da sua extensão^{72,73}, sua avaliação deve compreender uma combinação de testes clínicos que visem aplicar cargas mecânicas específicas nas suas diferentes porções. Até onde sabemos, não existe um protocolo abrangente disponível na literatura que possa

tanto evocar dor relacionada à carga quanto diferenciar entre as condições de dor na região posterior do tornozelo.

O monitoramento e a gestão da carga de treinamento podem ajudar a reduzir a alta prevalência de lesões por uso excessivo do tornozelo na dança, uma vez que essas lesões são consequência de carga repetitiva no tecido^{28,29,77}. O UTC é uma ferramenta eficiente para medir o efeito da carga no tendão, pois pode detectar mudanças sutis na sua estrutura, fornecendo informações quantificáveis e objetivas para diagnosticar e monitorar condições do tendão^{78,79}.

Um estudo prévio utilizou o UTC para investigar a resposta do tendão de Aquiles após seis semanas de ensaios do Lago dos Cisnes em uma companhia de ballet dinamarquesa⁸⁰. O estudo encontrou que a estrutura do tendão foi negativamente afetada pelo treinamento de pré-temporada, possivelmente devido a característica de treinamento com períodos reduzidos de descanso combinados com altas cargas pliométricas; no entanto, não foram encontradas mudanças ao longo do tempo nos sintomas autorrelatados e nas medidas clínicas (dor no tendão à palpação) de tendinopatia de Aquiles. O estudo concluiu que sinais iniciais de mudança estrutural no UTC podem ser detectados antes do início dos sintomas autorrelatados, porém, não foi possível confirmar isso devido à falta de acompanhamento prolongado.

Este estudo teve como objetivo estender o estudo dinamarquês anterior do Lago dos Cisnes, incluindo um acompanhamento mais longo para determinar se as mudanças no tendão observadas pelo UTC estavam relacionadas aos sintomas. Além disso, nós incluímos uma nova proposta de diagnóstico clínico, utilizando uma avaliação abrangente para diferenciar entre patologias da região posterior do tornozelo.

Objetivos

Investigar a mudança estrutural do tendão de Aquiles usando a UTC após seis semanas de ensaios do Lago dos Cisnes em bailarinos profissionais. Em segundo lugar, buscamos examinar se os bailarinos desenvolveram sintomas na região posterior do tornozelo ao longo de um período de 4 meses, utilizando questionários autorrelatados e uma avaliação clínica abrangente.

Métodos

Desenho do Estudo

Este foi um estudo longitudinal com duração de 4 meses. Os dados foram coletados em três momentos ao longo da temporada de ensaios e apresentações do Lago dos Cisnes: agosto (linha de base), outubro (6 semanas) e dezembro (*follow-up* de 4 meses) de 2023. O recrutamento de voluntários ocorreu duas semanas antes do início da coleta de dados.

Participantes, Critérios de Elegibilidade e Local

Os participantes foram recrutados de uma mesma companhia nacional australiana de *ballet* (n=73). Todos os bailarinos profissionais (de ambos os sexos), que estivessem ensaiando e se apresentando em plena capacidade, eram potencialmente elegíveis para inclusão neste estudo. Os critérios de exclusão foram qualquer lesão na pele que impedisse a coleta de dados com UTC e a presença de lesões no membro inferior que impedisse os testes clínicos. Os bailarinos foram convidados por e-mail, panfletos (**Figura 5**) e comunicação verbal. A coleta de dados ocorreu no local da companhia de dança (linha de base) e em teatros interestaduais (6 semanas e *follow-up* de 4 meses).



Figura 5. Panfleto de divulgação usado para recrutamento.

Ética

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da *La Trobe University* (HEC 23031), e todos os participantes forneceram consentimento informado por escrito antes da avaliação.

Procedimentos

Os participantes elegíveis receberam informações sobre os procedimentos do estudo e, em seguida, responderam a avaliação demográfica. Os tendões de Aquiles foram escaneados bilateralmente com UTC enquanto os participantes completavam três questionários sobre problemas no tornozelo. Os testes clínicos foram realizados por uma equipe de fisioterapeutas treinados e consistiram em um teste de carga progressiva para condições da região posterior do tornozelo, teste de síndrome de

impacto posterior do tornozelo e palpação do tendão de Aquiles. Todos os dados foram coletados e documentados usando uma plataforma segura de web *Research Electronic Data Capture* (REDCap)⁸¹. Nas coletas de linha de base e 6 semanas foram coletados dados do UTC, testes clínicos e questionários. Na coleta de 4 meses, foram realizados os testes clínicos e os questionários.

Cegamento

Um único avaliador treinado realizou, analisou e processou os exames de UTC e foi cegado para os dados demográficos e clínicos dos participantes. A equipe responsável pelos testes clínicos também estava cegada para os achados do UTC. Para o processamento das imagens do UTC, o conjunto de dados completo foi codificado e randomizado para manter o examinador cego quanto à identificação do participante, membro e momento de coleta (linha de base ou 6 semanas). Todos os exames foram processados após a conclusão da coleta de dados.

Medidas de desfecho

Desfecho Primário: porcentagem de eco tipo extraído do UTC

Os participantes tiveram os tendões de Aquiles escaneados na posição prona com os pés para fora da maca e o tornozelo em uma posição neutra (90°), estabilizado pelo joelho do examinador (**Figura 5**). Um transdutor de ultrassom com arranjo linear (*Smart Probe 10L5, Terason 2000+, Teratech, EUA*) montado em um dispositivo de rastreamento personalizado com acionamento motor e almofada acústica incorporada (*UTC Tracker, UTC Imaging, The Netherlands*) foi colocado na parte posterior da perna. O dispositivo de rastreamento garante inclinação, ângulo e ganho do transdutor⁸². Um gel de acoplamento foi aplicado entre a pele e a almofada para

garantir o contato durante o escaneamento⁸³. O transdutor, acoplado ao dispositivo foi posicionado perpendicular ao eixo longitudinal do tendão, garantindo que a junção miotendínea fosse visível. A partir desse ponto, o transdutor moveu-se automaticamente de proximal para distal, capturando 600 imagens transversais em escala de cinza com um intervalo de 0,2 mm ao longo de 12 cm. As imagens registradas foram usadas para reconstruir um bloco de dados tridimensionais em escala de cinza por meio do software UTC (*UTC Analyzer v2.0.0; UTC Imaging, Stein, The Netherlands*). Os parâmetros de ultrassom foram padronizados em 12 MHz, foco = 1,3 cm e profundidade = 3 cm⁸⁴.

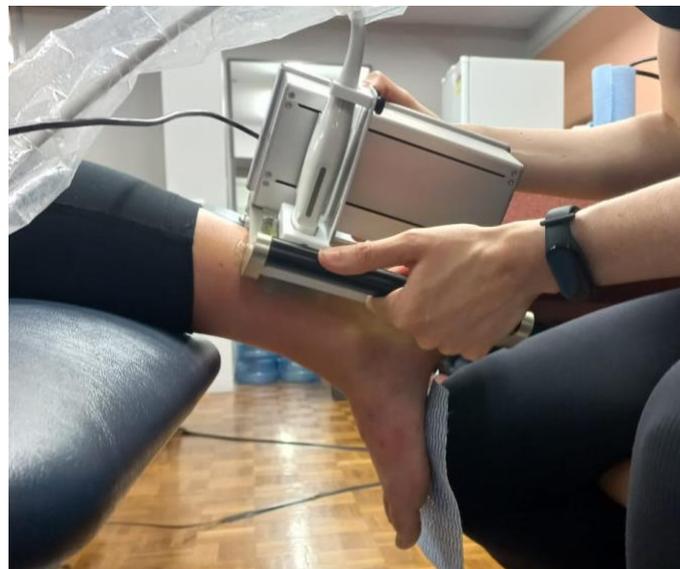


Figura 6. Posicionamento para realização do escaneamento usando o UTC.

Processamento dos Dados UTC

Os dados do UTC foram processados utilizando o algoritmo publicado e validado por van Schie et al.¹⁶, que fornece informações sobre a estrutura do tendão. Esse algoritmo quantifica a estabilidade do padrão de eco observado nas imagens transversais contíguas¹⁶. O tamanho da janela foi estabelecido em 17 imagens (3,2 mm)⁸⁰. A análise resultante categoriza o tendão em quatro eco tipos com base na intensidade e estabilidade dos níveis de cinza. O eco tipo I é considerado fibras

altamente estáveis (fascículos tendíneos organizados e alinhados), o eco tipo II é representado por feixes de tendão ondulados (estabilidade média), o eco tipo III é gerado por um tecido principalmente fibrilar (altamente variável) e o eco tipo IV é altamente variável e desorganizado, indicando principalmente matriz celular e fluído¹⁶. Os quatro eco tipos foram quantificados usando porcentagens relativas de pixels totais na região de interesse (do inglês: *region of interest* - ROI) de cada tendão. A ROI foi determinada manualmente, contornando as bordas do tendão, desde a inserção até a junção miotendínea, na visão transversal com intervalos não superiores a 5 mm⁸³. O diâmetro AP foi calculado no ponto médio entre a inserção e a junção miotendínea no plano transversal. O diâmetro AP foi medido em pixels e, em seguida, convertido para milímetros.

Desfechos Secundários

Medidas autorrelatadas pelo participante (PROMs):

Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles (VISA-A): O VISA-A é um questionário autoaplicável que contém oito perguntas relacionadas a dor, função e atividade. A pontuação varia de 0 a 100, sendo que uma pessoa assintomática pontuaria 100⁸⁵. Os participantes foram solicitados a responder ao questionário uma vez para cada lado.

Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT): O CAIT é uma escala de 30 pontos composta por nove perguntas projetadas para medir a severidade da instabilidade funcional do tornozelo⁸⁶. Uma pontuação mais baixa indica um pior resultado, com um ponto de corte de ≤ 25 indicando instabilidade do tornozelo autorrelatada⁸⁷. O questionário já é discriminado por membro; portanto, os participantes responderam apenas uma vez.

Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC): O questionário OSTRC foi desenvolvido e validado para fornecer informações sobre lesões por uso excessivo⁸⁸. As quatro questões chave de múltipla escolha visam quantificar as consequências de uma lesão na participação, volume de treinamento, desempenho e dor. A pontuação para cada pergunta varia de 0 a 25, com pontuações mais altas indicando um impacto severo na participação. A versão modificada específica para dança do OSTRC para problemas de tornozelo foi utilizada neste estudo⁸⁹. A terminologia esportiva foi alterada para termos específicos da dança, como: “treinamento e competição” para “aulas de dança, ensaios e/ou apresentações.” No entanto, a estrutura da versão original foi mantida. Os participantes foram solicitados a responder ao questionário uma vez para cada tornozelo.

Testes Clínicos:

Protocolo de Carga Progressiva para Avaliação das Condições da Região Posterior do Tornozelo

O Protocolo de Carga Progressiva é um teste clínico ainda não publicado desenvolvido e pilotado por clínicos especialistas (Tessarini et al. em preparação - um manuscrito está sendo preparado para publicação do protocolo detalhado). Trata-se de uma série de testes de provocação da dor que visa diferenciar as condições do tornozelo ao testar cargas crescentes progressivamente e medir a severidade/provocação da dor, localização da dor e o momento de início da dor. O protocolo completo está disponível neste link: https://youtu.be/yUZLDU_hjg8. O teste envolve uma sequência de tarefas realizadas na ordem estabelecida:

- Cinco repetições de dorsiflexão e flexão plantar do tornozelo sem suporte de peso corporal,

- Cinco repetições de dorsiflexão do tornozelo com suporte de peso (posição de avanço),
- Cinco repetições de elevações de calcanhar em apoio bipodal a 60 batidas por minuto (bpm),
- Cinco elevações de calcanhar em apoio unipodal (60 bpm),
- Três elevações de calcanhar unipodal em amplitude média com o calcanhar fora de um degrau (de dorsiflexão completa para posição neutra),
- Vinte elevações de calcanhar bipodal rápidas em amplitude média - 150 bpm,
- Vinte elevações de calcanhar unipodal rápidas em amplitude média - 150 bpm,
- Cinco saltos verticais submáximos bipodal,
- Cinco saltos verticais submáximos unipodal,
- Três saltos de altura máxima unipodal,
- Cinco saltos unipodal sem movimento do tornozelo (manter tornozelo em amplitude média de flexão plantar e calcanhar não tocando o chão entre os saltos),
- Três saltos unipodal com deslocamento anterior.

Os participantes usaram uma Escala Numérica de Dor (END) para relatar a intensidade da dor ao final de cada tarefa, usando uma barra deslizante no REDCap (via *iPad*). A escala variava de 0 a 10, com 0 indicando nenhuma dor e 10 refletindo a pior dor possível⁹⁰. Mapas de dor foram usados para guiar os participantes na indicação da localização da dor através de desenho à mão livre (**Figura 7**). Depois, os participantes relataram em qual posição sentiram dor (por exemplo, ao aterrissar, no máximo da elevação). A sequência do teste era interrompida se a intensidade da

dor aumentasse mais de 2 pontos na END de uma tarefa para a seguinte, ou se a intensidade relatada fosse superior a 7 pontos.



Figura 7. Mapas para indicação da localização da dor.

Avaliação da Síndrome do Impacto Posterior do Tornozelo

A presença de sinais clínicos da síndrome do impacto posterior do tornozelo foi investigada por meio do teste de provocação de dor na flexão plantar com compressão manual para diferenciar da dor do tendão (**Figura 8**). O teste foi realizado com o participante em posição prona, joelho em flexão de 90 graus⁹¹. O examinador moveu o tornozelo para a flexão plantar máxima, aplicando compressão axial em três posições: tornozelo neutro, inversão e eversão^{91,92}. Um teste positivo foi definido pela reprodução da dor do participante na região posterior do tornozelo em qualquer posição (reportando sim ou não), indicando que o impacto era a fonte da dor, e não a tendinopatia do tendão de Aquiles (uma vez que esta posição não impõe carga de tensão, compressão ou fricção no tendão de Aquiles).



Figura 8. Posição do teste de impacto posterior.

Palpação do Tendão de Aquiles

A palpação de ambos os tendões de Aquiles para detectar dor foi realizada com os participantes em posição prona, com os pés relaxados para fora da maca. Todo o tendão foi palpado em ambos os lados, usando o polegar e o dedo indicador, perguntando aos participantes se sentiam algum sintoma (sim ou não)⁸⁰.

Critérios do Estudo para Definição de Tendinopatia de Aquiles

A tendinopatia do tendão de Aquiles foi definida à priori para este estudo. A tendinopatia da porção intermédia foi definida como a presença de dor focal na porção intermédia durante tarefas de carga do tendão no protocolo de carga progressiva, com aumento da intensidade da dor com o incremento da carga e localização da dor correspondendo à região intermédia do tendão no mapa de dor. As tarefas destinadas a aplicar carga suficiente no tendão de Aquiles incluíram: saltos, saltos máximos e saltos com deslocamento anterior. A tendinopatia de Aquiles insercional foi definida como dor focal na inserção do tendão durante tarefas que impõem combinação de forças (tênsil e compressiva) na porção insercional do tendão de Aquiles durante o

protocolo de carga progressiva, como dorsiflexão do tornozelo com descarga de peso corporal, flexão plantar no degrau (de dorsiflexão para posição neutra) e salto com deslocamento anterior, com dor correspondente à localização insercional no mapa de dor. A dor na palpação do tendão de Aquiles (sim/não) foi registrada para comparação com os sintomas durante o protocolo de carga progressiva e com os relatos clínicos de Anker-Petersen et al. (2021), mas não foi usada como diagnóstico clínico de tendinopatia, pois a sensibilidade do tendão está presente em outras apresentações clínicas^{74,75,76,92}.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada por um autor independente aos procedimentos de coleta de dados. A distribuição dos dados foi verificada para o diâmetro AP e eco tipos usando assimetria, curtose e análise de histogramas. Para medir a mudança na estrutura do tendão (diâmetro AP e eco tipos) entre a linha de base e após 6 semanas, utilizamos modelos lineares mistos generalizados com efeitos aleatórios para o membro agrupado em cada participante. Esta estrutura permite múltiplas medições agrupadas (incluir o membro esquerdo e direito) do mesmo participante ao longo do tempo (linha de base e 6 semanas). Efeitos fixos para cada momento de avaliação (linha de base e 6 semanas), membro e sexo foram adicionados junto com uma interação de três vias (sexo * membro * ponto no tempo). Os resultados estratificados foram relatados para quaisquer interações significativas, caso contrário, o termo foi removido. Devido à natureza limitada dos dados de eco tipo (proporção variando de 0 a 100%), a regressão linear usando mínimos quadrados ordinários não é apropriada (pois pode levar a estimativas previstas além do possível intervalo da escala⁹³). Portanto, os modelos para dados de eco tipo utilizaram uma

distribuição beta com dados transformados para a escala beta (0,1) dividindo porcentagens por 100. Modelos separados foram executados para cada um dos 4 eco tipos (tipo I, tipo II, tipo III, tipo IV). A análise de dados foi realizada no *R Studio* (Team, 2020), com modelos ajustados usando o pacote '*glmmTMB*'⁹⁴. O pacote '*DHARMA*' foi utilizado para garantir um ajuste e diagnóstico adequados do modelo⁹⁵. Os resultados estão relatados como médias marginais estimadas e intervalos de confiança (ou seja, os valores médios, ajustando para outras variáveis nos modelos) usando o pacote '*ggeffects*'. Os efeitos marginais médios (EMMs) foram usados para relatar a mudança ao longo do tempo utilizando o pacote '*marginaleffects*'.

A confiabilidade teste-reteste foi realizada em 25 tendões (15 participantes) para as variáveis de UTC. Um coeficiente de correlação intraclassa (CCI) de medida única, modelo misto de duas vias, e acordo absoluto foi executado. Todas as variáveis apresentaram boa confiabilidade (**Tabela 3**). O erro padrão da medida (EPM = DP x $\sqrt{1-CCI}$) e a mínima mudança detectável (MMD = 1.96 x EPM x $\sqrt{2}$) também foram calculados³⁸.

Tabela 3. Dados de confiabilidade para variáveis UTC (n=25 tendões).

Variável	CCI (95% IC)	Valor de p	EPM	MMD
Tipo I (%)	0.853 (0.694 – 0.933)	<0,001	3.0	8.4
Tipo II (%)	0.793 (0.584 – 0.904)	<0,001	2.5	7.0
Tipo III (%)	0.776 (0.511 – 0.900)	<0,001	0.7	1.9
Tipo IV (%)	0.774 (0.502 – 0.899)	<0,001	1.3	3.7
Diâmetro AP (mm)	0,831 (0,562 - 0,930)	<0,001	0.3	0.8

CCI: coeficiente de correlação intraclassa; IC: intervalo de confiança; EPM: erro padrão da medida; MMD: mínima mudança detectável; AP: anteroposterior; mm: milímetros.

Resultados

Dos 73 participantes convidados, 40 concordaram em participar deste estudo, sendo 23 do sexo feminino e 17 masculino, de diferentes níveis hierárquicos (Primeiro Bailarino: 6; Artistas Seniores: 5; *Coryphées*: 2; Corpo de Baile: 27). Vinte e um dançarinos (52,5%) relataram preferir a perna direita para aterrissar após um grande salto de *ballet*, enquanto sete (17,5%) escolheram a perna esquerda e 12 (30%) escolheram "qualquer uma". As informações de base dos participantes estão apresentadas na **Tabela 4**.

Tabela 4. Informações de linha de base dos participantes.

	Todos (n=40)	Feminino (n=23)	Masculino (n=17)
Idade (anos) (mediana/IIQ)	24,0 (8)	22,0 (9)	26 (6)
Altura (cm) (média/DP)	174,5 (9,2)	168,1 (4,8)	183,2 (5,9)
Massa corporal (Kg)* (mediana/IIQ)	58,0 (20)	53,0 (6)	74,0 (11)
IMC (Kg/m ²)* (mediana/IIQ)	19,84 (3,30)	18,99 (1,27)	22,53 (2,03)
Experiência profissional (anos) (mediana/IIQ)	5,5 (9)	5 (11)	7 (6)

**Dados faltantes: um participante não relatou a massa corporal; IIQ: intervalo interquartil; DP: desvio padrão.*

Sintomas na Região do Tornozelo Relatados pelos Participantes

Em relação aos sintomas autorrelatados na região do tornozelo, não houve comprometimentos do tendão de Aquiles (VISA-A > 80) ou lesões por uso excessivo no tornozelo (pontuações baixas no OSTRC) durante o período de 4 meses. Quanto à instabilidade do tornozelo, houve um escore limítrofe indicando a presença de instabilidade na linha de base [CAIT ≤ 25 direito: n = 20 (50%), esquerdo: n = 21 (52,5%)], que suavemente mudou para um escore normal durante o acompanhamento [6 semanas CAIT ≤ 25 direito: n = 17 (42,5%), esquerdo: n = 19

(47,5%); 4 meses CAIT \leq 25 direito: n = 15 (37,5%), esquerdo: n = 16 (40%)] (**Tabela 5**).

Tabela 5. Dados dos sintomas autorrelatados na região do tornozelo ao longo do tempo (n = 40).

		Membro	Linha de base	6 semanas	4 meses
VISA-A	(pontos) (mediana/IIQ)	Direito	96,6 (13)	96,5 (12)	99,0 (10)
		Esquerdo	96,5 (10)	99,5 (10)	99,0 (10)
CAIT	(pontos) (mediana/IIQ)	Direito	25,5 (7)	26,5 (6)	28,0 (5)
		Esquerdo	25,0 (6)	26,0 (6)	27,0 (5)
OSTRC	(pontos) (mediana/IQR)	Direito	0,0 (17)	0,0 (8)	0,0 (0)
		Esquerdo	0,0 (8)	0,0 (21)	0,0 (8)

VISA-A: *Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles*; CAIT: *Cumberland Ankle Instability Tool*; OSTRC: *Oslo Sports Trauma Research Centre*; IIQ: *intervalo interquartil*.

Dados do UTC

Todos os participantes tiveram ambos os membros inferiores escaneados em dois momentos (n=160 escaneamentos); no entanto, as medidas de eco tipo e o diâmetro AP não puderam ser calculados em sete escaneamentos devido a artefatos de imagem: três da linha de base [2 direito (1 masculino, 1 feminino); 1 esquerdo (masculino)], quatro da avaliação de 6 semanas (2 direito, 2 esquerdo; 4 femininos). Com base no Teste de *Little*, os dados faltantes podem ser considerados dados faltantes completamente ao acaso (MCAR) ($p = 0,997$). Os dados do eco tipo apresentaram uma distribuição beta, portanto, são apresentados como mediana e intervalo interquartil (IIQ), enquanto o diâmetro AP apresentou distribuição normal e os dados são apresentados como média e desvio padrão (DP). As variáveis descritivas UTC estão disponíveis no **Apêndice 3**.

Diâmetro AP

Para o diâmetro AP, encontramos uma interação sexo * tempo ($\beta = 3,81$, SE = 1,79, $t = 2,13$), com os homens mostrando um aumento no diâmetro AP após 6 semanas (mudança média de 0,27 mm, 95%IC 0,10 a 0,43), não observado nas mulheres (mudança média de 0,03 mm, 95%IC -0,11 a 0,18, **Figura 9**). No entanto, as mudanças observadas não atingiram a MMD e são menores que o EPM (MMD: 0,8 mm; EPM: 0,3 mm). Não houve diferenças significativas entre os membros ($\beta = -0,57$, SE = 1,18, $t = -0,48$). Dados individuais para o diâmetro AP ao longo do tempo, por sexo e membros, estão disponíveis no **Apêndice 4**.

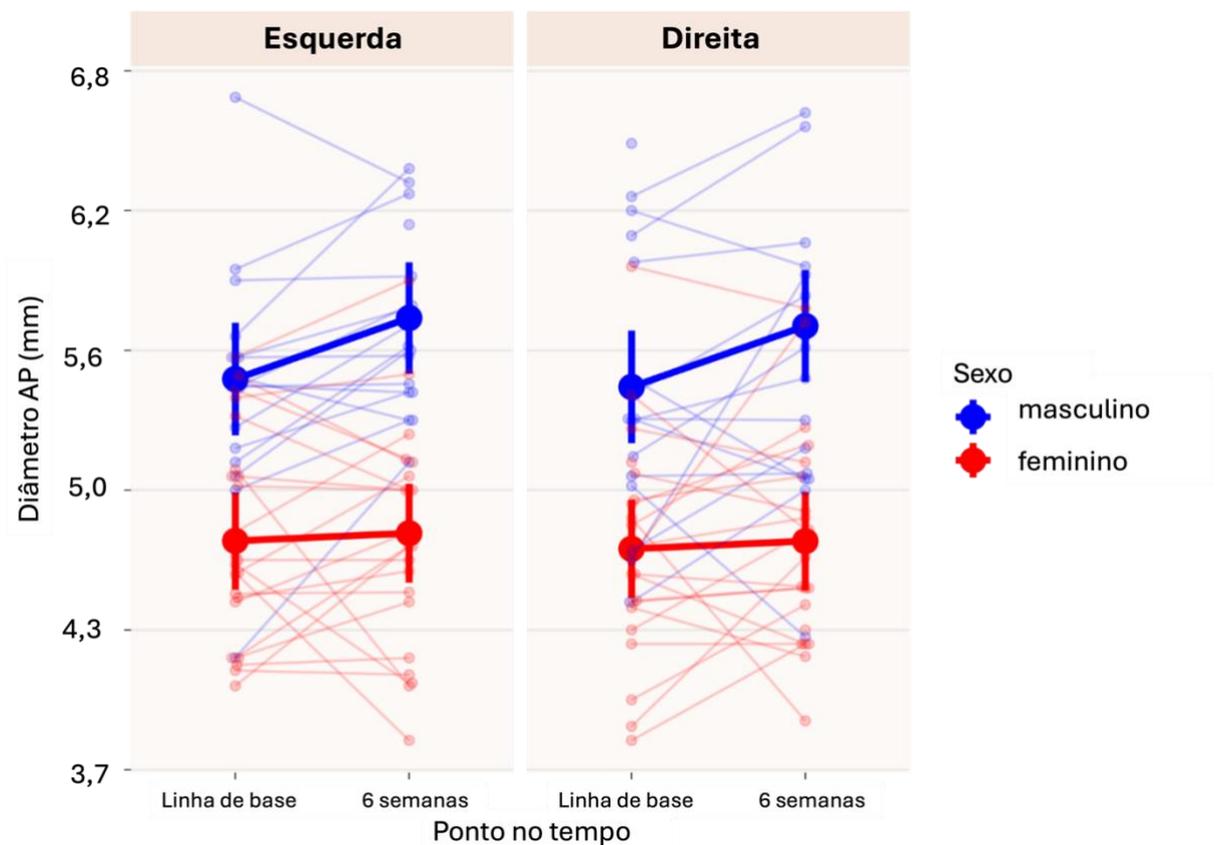


Figura 9. Mudança no diâmetro AP ao longo do tempo.

Eco tipos

Não encontramos evidências de interação sexo * tempo para todos os eco tipos. Os modelos executados para cada eco tipo assumindo uma distribuição beta foram considerados apropriados. Houve interações significativas para membro * tempo para o eco tipo I ($\beta = -0,40$, SE = 0,10, $z = -3,826$, $p < 0,001$), eco tipo II ($\beta = 0,32$, SE = 0,08, $z = 3,745$, $p \leq 0,05$) e eco tipo III ($\beta = 0,63$, SE = 0,18, $z = 3,460$, $p < 0,001$). De modo geral, isso indicou um agravamento na estrutura do tendão no membro direito (diminuição no eco tipo I, aumento nos eco tipos II, III e IV), sem mudanças significativas observadas no membro esquerdo para qualquer eco tipo. Embora estatisticamente significativas, as mudanças na estrutura estavam abaixo da MMD para todos os eco tipos (**Tabela 6, Figura 10**). Dados individuais para os eco tipos UTC ao longo do tempo, por sexo e membros, estão disponíveis no **Apêndice 5**.

Tabela 6: Média marginal estimada (95% IC) para mudança no eco tipo ao longo do tempo. Os resultados são apresentados por membro e ajustados por sexo.

	Membro Esquerdo	Membro Direito	MMD / EPM
Tipo I	+1,1% (-1,4 a 3,6%)	-6,9% (-4,1 a -9,7%)	8,4 / 3,0
Tipo II	-1,5% (-3,0 a +0,1%)	+3,3% (+1,5 a +5,1%)	7,0 / 2,5
Tipo III	0,0% (-0,5% a 0,3%)	+1,4% (+0,9 a +2,0%)	1,9 / 0,7
Tipo IV	+0,6% (-0,2 a 1,5%)	+2,1% (+1,1 a 3,1%)	3,7 / 1,3

MMD: mínima mudança detectável; EPM: erro padrão da medida.

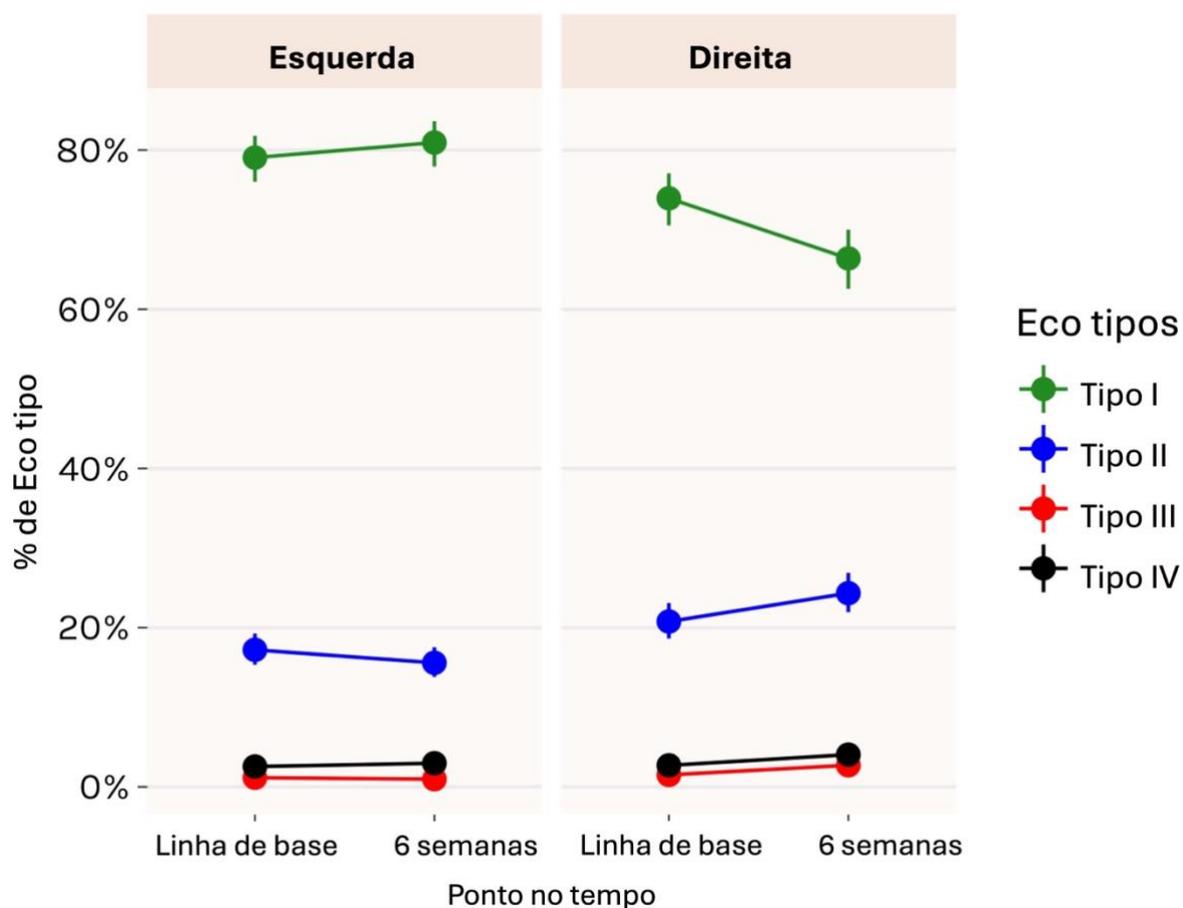


Figura 10. Porcentagens de eco tipos ao longo do tempo, apresentado por membro.

Teste Provocativo de Dor Posterior no Tornozelo

A porcentagem de bailarinos que relataram teste de impacto posterior positivo variou de 7,5% a 12,5%, enquanto a palpação positiva do tendão de Aquiles variou de 2,5% a 10% ao longo do estudo (**Apêndice 6**). Na linha de base, cinco dos 40 bailarinos (todos do sexo masculino) relataram dor na palpação do tendão de Aquiles (seis tendões: um bilateral, dois à direita e dois à esquerda). Em quatro dos seis tendões que apresentaram dor na palpação não houve sintomas durante o protocolo de carga progressiva. Dois dos seis casos que apresentaram dor na palpação relataram dor nos testes de carga, porém os mapas da dor não correspondiam à região do tendão de Aquiles. Nenhum dos casos de palpação positiva do tendão de Aquiles foi diagnosticado como tendinopatia do tendão de Aquiles seguindo os

critérios definidos a priori para este estudo. Os casos em que houve dor durante o teste de carga sugeriram comprometimento articular e tendões/bainha da região posterolateral do tornozelo.

Na avaliação de 6 semanas, apenas dois bailarinos (1 feminino, 1 masculino) relataram dor na palpação do tendão de Aquiles (três tendões: 1 bilateral, 1 direito). O caso de palpação bilateral positiva apresentou dor durante o protocolo de carga progressiva; no entanto, a localização no mapa de dor não correspondia ao tendão de Aquiles. O caso de palpação unilateral apresentou sintomas bilaterais durante o teste de carga, porém não correspondendo aos critérios de tendinopatia. Dois tendões foram negativos à palpação, com evidência de tendinopatia do tendão de Aquiles ou paratendinite, com base nos critérios do estudo, reforçando a imprecisão relatada na literatura da palpação para discriminar sintomas do tendão.

Na avaliação de 4 meses, seis dos 40 bailarinos (4 feminino, 2 masculino) relataram dor na palpação do tendão de Aquiles (8 tendões: 1 bilateral, 3 à direita, 3 à esquerda). Cinco dos oito tendões foram casos isolados de dor à palpação, sem dor relatada durante as tarefas de carga. Dois casos tiveram sintomas positivos na palpação e na carga, com mapas de dor não correspondendo à região do tendão de Aquiles. Um caso foi sugestivo de tendinopatia da porção intermédia do tendão de Aquiles, com base nos critérios definidos para este estudo. Nenhum desvio do protocolo foi documentado para este ponto de avaliação.

Discussão

Nossa hipótese era de que a estrutura do tendão de Aquiles mudaria ao longo do período de 6 semanas, mas que achados clínicos de tendinopatia de Aquiles não estariam associados a alterações no UTC. Contrariando nossa hipótese, não

encontramos mudanças reais ou clinicamente significativas na estrutura do tendão de Aquiles no UTC em bailarinos profissionais durante a temporada de O Lago dos Cisnes. Os sintomas clínicos foram consistentemente baixos, com apenas três bailarinos apresentando sinais de comprometimento do tendão de Aquiles. O único sintoma autorrelatado na linha de base foi a instabilidade do tornozelo.

Nossos achados de UTC contrastam com o estudo dinamarquês sobre O Lago dos Cisnes, que relatou um efeito de sexo e membro, no entanto, para mulheres (diminuição do eco tipo I e aumento do tipo II) e membros esquerdos (diminuição do eco tipo I e aumento dos tipos II e IV)⁸⁰. Alguns fatores podem explicar esses resultados divergentes. Em primeiro lugar, diferenças metodológicas podem ter influenciado os resultados. Conduzimos nossa própria análise de confiabilidade para as variáveis de UTC, o que é crucial, pois a MMD é sensível aos valores de CCI, tornando as implicações clínicas dos achados de UTC dependentes do examinador. Em nosso estudo, embora algumas mudanças tenham sido estatisticamente significativas, elas não atingiram os limiares clinicamente significativos. Em segundo lugar, as ROI para análise de UTC diferiram entre os estudos. Analisamos o tendão desde a inserção até a junção miotendínea, garantindo que todo o comprimento fosse investigado em todos os momentos de avaliação. Em contraste, o grupo dinamarquês selecionou uma região de 2 centímetros ao redor do ponto com os maiores valores de eco tipo III. Essa abordagem pode não ter garantido que a mesma ROI fosse examinada ao longo do tempo, potencialmente levando a comparações inconsistentes.

Além disso, não encontramos literatura que apoie um viés de membro na coreografia de O Lago dos Cisnes, nem mesmo através de comunicação pessoal com a equipe de dança e bailarinos participantes deste estudo. Embora evidências

sugiram que os bailarinos possam ter uma preferência de membro durante as aulas^{96,97,98}, a coreografia de O Lago dos Cisnes é estritamente pré-definida, potencialmente mitigando a influência do viés de membro e apoiando nossos achados.

Quanto ao viés de sexo, a coreografia de O Lago dos Cisnes inclui mais papéis femininos. Estudos sobre diferenças de sexo em performances clássicas e contemporâneas^{99,100} descobriram que os bailarinos do sexo masculino realizam significativamente mais levantamentos, como esperado no ballet clássico, o que não é uma tarefa de carga para o tendão de Aquiles. Para saltos, *pliés* e mudanças de direção, houve pequenas diferenças não significativas entre os sexos^{99,100}. Essas evidências sugerem que os bailarinos do sexo masculino, apesar de terem menos papéis, experimentam cargas no tendão de Aquiles semelhantes às das bailarinas uma vez que estejam no palco.

Os efeitos agudos e cumulativos da carga no tendão de Aquiles têm sido investigados em várias populações esportivas usando o UTC^{83,101,102,103}. Rosengarten et al.¹⁰² observaram uma mudança aguda transitória, com redução da estrutura organizada dois dias após uma partida de futebol australiano, retornando aos valores de linha de base no quarto dia. Rabello et al.¹⁰¹ notaram um padrão tardio em maratonistas, onde o efeito negativo da carga da maratona foi observado apenas após sete dias. Dois estudos investigaram a resposta do tendão de Aquiles ao treinamento pré- e durante a temporada em jogadores de futebol australiano⁸³ e corredores de *cross-country*¹⁰³, respectivamente. Durante os 5 meses de treinamentos de pré-temporada e ao longo de 4 meses da temporada, a estrutura do tendão de Aquiles respondeu positivamente à carga, com aumento das porcentagens do eco tipo I e concomitante diminuição do tipo II (sem mudança no diâmetro AP para

os jogadores da AFL)^{83,103}. Esses estudos mostram o efeito paradoxal da carga: picos de cargas podem preceder respostas negativas no tendão, enquanto cargas cumulativas podem ser bem acomodadas por atletas altamente treinados. Os níveis constantes de alta carga experimentados por bailarinos profissionais podem aumentar sua tolerância à carga de treinamento, possivelmente sendo uma razão para o baixo número de bailarinos desenvolvendo sintomas no tendão de Aquiles e a ausência de resposta negativa no tendão apesar da alta carga.

Tivemos apenas três bailarinos com sinais clínicos de tendinopatia de Aquiles. Isso reforça o conhecimento de que a resposta à carga também depende de fatores individuais²², alguns dos quais não foram considerados neste estudo. Mesmo com todos os bailarinos expostos à mesma carga, muito poucos desenvolveram mudanças negativas e dor no tendão. Além das razões mencionadas anteriormente para nossa amostra majoritariamente assintomática, acreditamos que outra explicação para os baixos números de tendinopatia de Aquiles pode ser o uso do protocolo de carga progressiva ao invés da palpação como critério diagnóstico para nosso estudo. Como mostrado na literatura e em nossos achados, muitos testes de palpação positivos foram negativos para testes de carga, assim, a palpação deve ser empregada não mais que como um critério de exclusão⁷⁴.

Forças e Limitações

Conduzimos um estudo de acompanhamento de 4 meses durante a temporada de turnê de uma companhia australiana nacional de ballet e concluímos o estudo sem desistências entre os participantes. Além disso, os métodos utilizados neste estudo foram intensivamente pilotados por um período de 4 meses. A metodologia contém um protocolo robusto e inédito. As ROI para análise de UTC, embora abrangentes

(todo o tendão de Aquiles), podem não representar as diferenças intrínsecas entre a porção intermédia e a inserção. Análises segmentadas entre as duas porções podem trazer diferentes percepções. Também não analisamos os diferentes níveis hierárquicos (posições do bailarino dentro da companhia) separadamente, o que talvez poderia apontar diferenças substanciais. Infelizmente, não pudemos realizar a avaliação de UTC no acompanhamento de 4 meses. Mais pesquisas são necessárias para investigar as mudanças estruturais ao longo do tempo.

Conclusão

Nossos achados fornecem novos conhecimentos para a comunidade de dança sobre o efeito do treinamento de "O Lago dos Cisnes" na estrutura do tendão de Aquiles. Seis semanas de treinamento de deste ballet de repertório não afetaram clinicamente a estrutura do tendão de Aquiles nesta coorte de bailarinos profissionais submetidos a cargas constantes e elevadas. A maioria dos bailarinos não desenvolveu problemas no tendão de Aquiles após um período de 4 meses. Estudos futuros devem considerar a metodologia empregada em nosso estudo para melhor descrever as condições da região posterior do tornozelo, utilizando testes clínicos.

Implicações Clínicas

- O treinamento de O Lago dos Cisnes não impactou negativamente a estrutura do tendão de Aquiles desta coorte de bailarinos profissionais. Isso pode refletir a alta carga crônica a que esses bailarinos estão habituados.
- Uma nova abordagem de avaliação visando avaliar de forma abrangente as condições da região posterior do tornozelo permite que clínicos e pesquisadores

descrevam melhor a localização da dor e a resposta a diferentes cargas para futuros subgrupos. Isso reflete a prática clínica e poderia ser adotado.

- Embora estejamos relatando as frequências de desenvolvimento de sintomas ao longo do tempo, destacamos que nenhuma associação direta pode ser feita entre sintomas clínicos e estrutura do tendão, já que o número de pessoas desenvolvendo dor foi muito baixo.

5 CONCLUSÃO DA TESE

Um dos objetivos gerais desta tese foi investigar o valor preditivo de medidas clínicas usualmente aplicadas na prática de fisioterapeutas na identificação de alterações estruturais ultrassonográficas do tendão de Aquiles de bailarinos assintomáticos. Para executar essa investigação, desenvolvemos um estudo transversal que permitiu a identificação de alterações no tendão de Aquiles em bailarinos assintomáticos por meio da avaliação combinada de medidas clínicas. Nossos achados indicaram o aumento do torque abductor do quadril isoladamente como uma variável importante na redução da probabilidade de patologias no tendão, e a interação entre torque do quadril e amplitude de dorsiflexão estatisticamente associadas a presença de patologia no tendão.

Para além da identificação de alterações estruturais, nos propomos a estudar qual a resposta do tendão de Aquiles à uma coreográfica específica e tradicional do ballet - O Lago do Cisnes, usando a ferramenta de imagem UTC. Para isso, desenvolvemos um estudo de 4 meses de duração, acompanhando uma companhia de dança em turnê, durante a temporada de ensaios e apresentações. De forma curiosa e contrária ao esperado, não encontramos efeitos clinicamente significativos que indicassem piora da estrutura do tendão.

Por fim, foi também objetivo desta tese propor um protocolo de avaliação que pudesse identificar e diferenciar as diversas condições clínicas que geram dor na região posterior do tornozelo. Usamos essa abordagem para acompanhar a coorte de bailarinos nos três momentos de avaliação ao longo dos 4 meses de acompanhamento do Lago dos Cisnes. Usando este protocolo, identificamos um baixo número de bailarinos apresentando tendinopatia de Aquiles ao final da temporada. Nossos resultados mostram que, se tivéssemos utilizado a palpação para

o mesmo fim, este número seria muito maior. Assim, nossos resultados mostram a relevância do protocolo apresentado em diagnosticar e diferenciar as diferentes condições que acometem a região posterior do tornozelo, em uma população com alta incidência de lesões nessa articulação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados apresentados nesta tese apresentam diversas implicações clínicas. No primeiro estudo, nossos resultados mostraram a relevância de avaliar o membro inferior como um todo, e não apenas realizar avaliações isoladas, uma vez que a interação entre o torque do quadril e a amplitude de dorsiflexão do tornozelo identificou com precisão a presença de patologia no tendão. Além disso, a forma como os resultados são apresentados - na forma de fluxograma, contendo valores de corte - facilitam a leitura, interpretação e aplicação dos dados pelos clínicos.

Do segundo estudo, podemos retirar novas perspectivas para a comunidade clínica e da dança, uma vez que O Lago dos Cisnes, embora exponha o tendão de Aquiles a altas cargas, não levou a uma desorganização estrutural nesse tendão. Isso se deve provavelmente ao constante treinamento de alto nível da coorte de bailarinos avaliados, que permitiu que as cargas fossem acomodadas de maneira positiva. Também deste estudo ofertamos aos clínicos uma ferramenta de avaliação clínica de fácil aplicação e baixo custo. O Protocolo de Carga Progressiva nunca havia sido publicado, entretanto é de comum aplicação na prática clínica da companhia de dança na qual o estudo foi realizado. A concepção da ideia foi desenvolvida pelas fisioterapeutas especialistas Dra. Ebonie Rio, Dra. Susan Mayes e Dra. Jill Cook. Sua primeira aplicação em pesquisa científica se deu no estudo 2 desta tese e um artigo a parte está sendo preparado para divulgação detalhada. A implementação deste protocolo deve ser incentivada para avaliação diagnóstica diferencial da região

posterior do tornozelo no ambiente clínico, mas também pode ter aplicação na pesquisa como critérios de inclusão e identificação de subgrupos de tratamento.

Podemos ainda considerar a utilização combinada dos achados dos estudos desta tese na prática clínica. Considerando uma companhia de ballet diante de preparação para uma temporada de apresentações, os bailarinos seriam beneficiados de uma avaliação de pré-temporada dos membros inferiores usando os valores de corte apresentados no estudo 1. Apesar de se saber que a carga imposta pela coreografia, à priori, não causaria alterações estruturais negativas no tendão, caso algum bailarino fosse identificado com maior risco de apresentar patologias no tendão de Aquiles, ou seja, se encaixasse no perfil de risco delineado pelo modelo da CART, o manejo de carga ao longo da temporada deveria ser realizado mais cuidadosamente para esse indivíduo. Além disso, o treinamento de força dos músculos do quadril, principalmente de abdutores, deveria ser encorajado e enfatizado. Indo além, o protocolo de carga progressiva poderia ser empregado esporadicamente ao longo da temporada para monitoramento e diferenciação de possíveis sintomas da região posterior do tornozelo. Toda essa abordagem reduziria o risco de desenvolvimento de sintomas no tendão de Aquiles de maneira simples e de baixo custo.

7 REFERÊNCIAS

- 1 O'Brien, M. The anatomy of the Achilles tendon. **Foot Ankle Clin**, v. 10, n. 2, p. 225-38, 2005. 10.1016/j.fcl.2005.01.011
- 2 Waggett, A. D. et al. Characterization of collagens and proteoglycans at the insertion of the human achilles tendon. **Matrix Biology**, v. 16, n. 8, p. 457-470, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0945-053X\(98\)90017-8](https://doi.org/10.1016/S0945-053X(98)90017-8)
- 3 Winnicki, K. et al. Functional anatomy, histology and biomechanics of the human Achilles tendon — A comprehensive review. **Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger**, v. 229, p. 151461, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151461>
- 4 Cook, J. L.; Purdam, C. Is compressive load a factor in the development of tendinopathy? **Br J Sports Med**, v. 46, n. 3, p. 163-8, 2012. 10.1136/bjsports-2011-090414
- 5 Pękala, P. A. et al. The twisted structure of the Achilles tendon unraveled: A detailed quantitative and qualitative anatomical investigation. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 27, n. 12, p. 1705-1715, 2017. 10.1111/sms.12835
- 6 Benjamin, M. et al. The "enthesis organ" concept: why enthesopathies may not present as focal insertional disorders. **Arthritis Rheum**, v. 50, n. 10, p. 3306-13, 2004. 10.1002/art.20566
- 7 Cook, J. L.; Khan, K. M.; Purdam, C. Achilles tendinopathy. **Man Ther**, v. 7, n. 3, p. 121-30, 2002. 10.1054/math.2002.0458
- 8 Rio, E.; Mayes, S.; Cook, J. Heel pain: a practical approach. **Focus**, v. 44, n. 3, 2015.
- 9 Sharpe, B. D. et al. Posterior Ankle Impingement and Flexor Hallucis Longus Pathology. **Clin Sports Med**, v. 39, n. 4, p. 911-930, 2020. 10.1016/j.csm.2020.06.001
- 10 Spang, C. et al. The plantaris tendon: a narrative review focusing on anatomical features and clinical importance. **Bone Joint J**, v. 98-B, n. 10, p. 1312-1319, 2016. 10.1302/0301-620X.98B10.37939
- 11 Rufai, A.; Ralphs, J. R.; Benjamin, M. Structure and histopathology of the insertional region of the human achilles tendon. **Journal of orthopaedic research**, v. 13, n. 4, p. 585-593, 1995. 10.1002/jor.1100130414
- 12 Obst, S. J.; Newsham-West, R.; Barrett, R. S. In vivo measurement of human achilles tendon morphology using freehand 3-D ultrasound. **Ultrasound Med Biol**, v. 40, n. 1, p. 62-70, 2014. 10.1016/j.ultrasmedbio.2013.08.009
- 13 Zhang, X. et al. Sex Differences in the Morphological and Mechanical Properties of the Achilles Tendon. **Int J Environ Res Public Health**, v. 18, n. 17, 2021. 10.3390/ijerph18178974

- 14 Stenroth, L. et al. Does Magnetic Resonance Imaging Provide Superior Reliability for Achilles and Patellar Tendon Cross-Sectional Area Measurements Compared with Ultrasound Imaging? **Ultrasound Med Biol**, v. 45, n. 12, p. 3186-3198, 2019. 10.1016/j.ultrasmedbio.2019.08.001
- 15 Gellhorn, A. C.; Carlson, M. J. Inter-rater, intra-rater, and inter-machine reliability of quantitative ultrasound measurements of the patellar tendon. **Ultrasound Med Biol**, v. 39, n. 5, p. 791-6, 2013. 10.1016/j.ultrasmedbio.2012.12.001
- 16 van Schie, H. T. M. et al. Ultrasonographic tissue characterisation of human Achilles tendons: quantification of tendon structure through a novel non-invasive approach. **British journal of sports medicine**, v. 44, n. 16, p. 1153-1159, 2010. 10.1136/bjsm.2009.061010
- 17 van Schie, H. T. et al. Efficacy of computerized discrimination between structure-related and non-structure-related echoes in ultrasonographic images for the quantitative evaluation of the structural integrity of superficial digital flexor tendons in horses. **Am J Vet Res**, v. 62, n. 7, p. 1159-66, 2001. 10.2460/ajvr.2001.62.1159
- 18 van Schie, H. T. et al. Computerized ultrasonographic tissue characterization of equine superficial digital flexor tendons by means of stability quantification of echo patterns in contiguous transverse ultrasonographic images. **Am J Vet Res**, v. 64, n. 3, p. 366-75, 2003. 10.2460/ajvr.2003.64.366
- 19 van Schie, H. T.; Bakker, E. M. Structure-related echoes in ultrasonographic images of equine superficial digital flexor tendons. **Am J Vet Res**, v. 61, n. 2, p. 202-9, 2000. 10.2460/ajvr.2000.61.202
- 20 Paantjens, M. A. et al. Intra- and Inter-Rater Reliability of Processing Ultrasound Tissue Characterization Scans in Midportion Achilles Tendinopathy. **Transl Sports Med**, v. 2022, p. 9348298, 2022. 10.1155/2022/9348298
- 21 Scott, A. et al. ICON 2019: International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: Clinical Terminology. **Br J Sports Med**, v. 54, n. 5, p. 260-262, 2020. 10.1136/bjsports-2019-100885
- 22 Cook, J. L.; Purdam, C. R. Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. **Br J Sports Med**, v. 43, n. 6, p. 409-16, 2009. 10.1136/bjsm.2008.051193
- 23 Docking, S. I.; Cook, J. Pathological tendons maintain sufficient aligned fibrillar structure on ultrasound tissue characterization (UTC). **Scand J Med Sci Sports**, v. 26, n. 6, p. 675-83, 2016. 10.1111/sms.12491
- 24 Docking, S. I. et al. Explaining Variability in the Prevalence of Achilles Tendon Abnormalities: A Systematic Review With Meta-analysis of Imaging Studies in Asymptomatic Individuals. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 51, n. 5, p. 232-252, 2021. 10.2519/jospt.2021.9970

- 25 McAuliffe, S. et al. Can ultrasound imaging predict the development of Achilles and patellar tendinopathy? A systematic review and meta-analysis. **Br J Sports Med**, v. 50, n. 24, p. 1516-1523, 2016. 10.1136/bjsports-2016-096288
- 26 Comin, J. et al. The prevalence and clinical significance of sonographic tendon abnormalities in asymptomatic ballet dancers: a 24-month longitudinal study. **Br J Sports Med**, v. 47, n. 2, p. 89-92, 2013. 10.1136/bjsports-2012-091303
- 27 de-la-Cruz-Torres, B. et al. Ultrasound imaging features of the Achilles tendon in dancers. Is there a correlation between the imaging and clinical findings? A cross-sectional study. **Phys Ther Sport**, v. 43, p. 181-187, 2020. 10.1016/j.ptsp.2020.03.004
- 28 Smith, P. J. et al. Incidence and Prevalence of Musculoskeletal Injury in Ballet: A Systematic Review. **Orthop J Sports Med**, v. 3, n. 7, p. 2325967115592621, 2015. 10.1177/2325967115592621
- 29 Smith, T. O. et al. Prevalence and profile of musculoskeletal injuries in ballet dancers: A systematic review and meta-analysis. **Phys Ther Sport**, v. 19, p. 50-6, 2016. 10.1016/j.ptsp.2015.12.007
- 30 Cook, J. L. et al. Revisiting the continuum model of tendon pathology: what is its merit in clinical practice and research? **Br J Sports Med**, v. 50, n. 19, p. 1187-91, 2016. 10.1136/bjsports-2015-095422
- 31 Docking, S. I.; Cook, J. How do tendons adapt? Going beyond tissue responses to understand positive adaptation and pathology development: A narrative review. **J Musculoskelet Neuronal Interact**, v. 19, n. 3, p. 300-310, 2019.
- 32 Ivanova, V.; Todd, N. W.; Yurgelon, J. Dance-Related Foot and Ankle Injuries and Pathologies. **Clin Podiatr Med Surg**, v. 40, n. 1, p. 193-207, 2023. 10.1016/j.cpm.2022.07.013
- 33 Carcia, C. R. et al. Achilles Pain, Stiffness, and Muscle Power Deficits: Achilles Tendinitis. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 40, n. 9, p. A1-A26, 2010. 10.2519/jospt.2010.0305
- 34 O'Neill, S.; Watson, P. J.; Barry, S. A Delphi study of risk factors for Achilles tendinopathy - opinions of world tendon experts. **Int J Sports Phys Ther**, v. 11, n. 5, p. 684-697, 2016.
- 35 von Elm, E. et al. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: Guidelines for Reporting Observational Studies. **PloS One**, v. 4, n. 10, p. 1623 - 1627, 2007.
- 36 Vassallo, A. J. et al. Differences in the occurrence and characteristics of injuries between full-time and part-time dancers. **BMJ Open Sport Exerc Med**, v. 4, n. 1, p. e000324, 2018. 10.1136/bmjsem-2017-000324

- 37 Lin, C. W. et al. Effects of leg dominance on performance of ballet turns (pirouettes) by experienced and novice dancers. **J Sports Sci**, v. 31, n. 16, p. 1781-8, 2013. 10.1080/02640414.2013.803585
- 38 Koo, T. K.; Li, M. Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. **J Chiropr Med**, v. 15, n. 2, p. 155-63, 2016. 10.1016/j.jcm.2016.02.012
- 39 Weir, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **J Strength Cond Res**, v. 19, n. 1, p. 231-40, 2005. 10.1519/15184.1
- 40 de Mesquita, G. N. et al. Cross-cultural Adaptation and Measurement Properties of the Brazilian Portuguese Version of the Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles (VISA-A) Questionnaire. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 48, n. 7, p. 567-573, 2018. 10.2519/jospt.2018.7897
- 41 Ho, K. Y. et al. Factors related to intra-tendinous morphology of Achilles tendon in runners. **PLoS One**, v. 14, n. 8, p. e0221183, 2019. 10.1371/journal.pone.0221183
- 42 Malliaras, P. et al. Achilles tendon shape and echogenicity on ultrasound among active badminton players. **Scand J Med Sci Sports**, v. 22, n. 2, p. 149-55, 2012. 10.1111/j.1600-0838.2010.01156.x
- 43 Barton, C. J. et al. Foot and ankle characteristics in patellofemoral pain syndrome: a case control and reliability study. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 40, n. 5, p. 286-96, 2010. 10.2519/jospt.2010.3227
- 44 Bennell, K. L. et al. Intra-rater and inter-rater reliability of a weight-bearing lunge measure of ankle dorsiflexion. **Aust J Physiother**, v. 44, n. 3, p. 175-180, 1998. 10.1016/s0004-9514(14)60377-9
- 45 Munteanu, S. E. et al. A weightbearing technique for the measurement of ankle joint dorsiflexion with the knee extended is reliable. **J Sci Med Sport**, v. 12, n. 1, p. 54-9, 2009. 10.1016/j.jsams.2007.06.009
- 46 Sman, A. D. et al. Design and reliability of a novel heel rise test measuring device for plantarflexion endurance. **Biomed Res Int**, v. 2014, p. 391646, 2014. 10.1155/2014/391646
- 47 Willson, J. D.; Davis, I. S. Lower Extremity Strength and Mechanics during Jumping in Women with Patellofemoral Pain. **J Sport Rehabil**, v. 18, n. 1, p. 76-90, 2009. 10.1123/jsr.18.1.76
- 48 Bolgla, L. A. et al. Hip Strength and Hip and Knee Kinematics During Stair Descent in Females With and Without Patellofemoral Pain Syndrome. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 38, n. 1, p. 12-18, 2008. 10.2519/jospt.2008.2462
- 49 Scattone Silva, R. et al. Lower limb strength and flexibility in athletes with and without patellar tendinopathy. **Phys Ther Sport**, v. 20, p. 19-25, 2016. 10.1016/j.ptsp.2015.12.001

- 50 Fukuchi, R. K. et al. Flexibility, muscle strength and running biomechanical adaptations in older runners. **Clin Biomech (Bristol, Avon)**, v. 29, n. 3, p. 304-10, 2014. 10.1016/j.clinbiomech.2013.12.007
- 51 Ireland, M. L. et al. Hip strength in females with and without patellofemoral pain. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 33, n. 11, p. 671-6, 2003. 10.2519/jospt.2003.33.11.671
- 52 Breiman, L. et al. **Classification and Regression Trees**. 1984.
- 53 Lemon, S. C. et al. Classification and regression tree analysis in public health: methodological review and comparison with logistic regression. **Ann Behav Med**, v. 26, n. 3, p. 172-81, 2003. 10.1207/S15324796ABM2603_02
- 54 Bittencourt, N. F. et al. Foot and hip contributions to high frontal plane knee projection angle in athletes: a classification and regression tree approach. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 42, n. 12, p. 996-1004, 2012. 10.2519/jospt.2012.4041
- 55 Mendonca, L. D. et al. Association of Hip and Foot Factors With Patellar Tendinopathy (Jumper's Knee) in Athletes. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 48, n. 9, p. 676-684, 2018. 10.2519/jospt.2018.7426
- 56 Mendonça, L. M. et al. The Accuracy of the VISA-P Questionnaire, Single-Leg Decline Squat, and Tendon Pain History to Identify Patellar Tendon Abnormalities in Adult Athletes. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 46, n. 8, p. 673-80, 2016. 10.2519/jospt.2016.6192
- 57 Ruxton, G. D.; Neuhäuser, M.; Freckleton, R. Review of alternative approaches to calculation of a confidence interval for the odds ratio of a 2×2 contingency table. **Methods Ecol Evol**, v. 4, n. 1, p. 9-13, 2013. 10.1111/j.2041-210x.2012.00250.x
- 58 Lieberthal, K. et al. Prevalence and factors associated with asymptomatic Achilles tendon pathology in male distance runners. **Phys Ther Sport**, v. 39, p. 64-68, 2019. 10.1016/j.ptsp.2019.06.006
- 59 Mackey, A. L. et al. Dynamic Adaptation of Tendon and Muscle Connective Tissue to Mechanical Loading. **Connect Tissue Res**, v. 49, n. 3-4, p. 165-168, 2008. 10.1080/03008200802151672
- 60 Devita, P.; Skelly, W. A. Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. **Med Sci Sports Exerc**, v. 24, p. 108-115, 1992.
- 61 Mason-Mackay, A. R.; Whatman, C.; Reid, D. The effect of reduced ankle dorsiflexion on lower extremity mechanics during landing: A systematic review. **J Sci Med Sport**, v. 20, n. 5, p. 451-458, 2017. 10.1016/j.jsams.2015.06.006
- 62 Martinez, A. F. et al. Association of Ankle Dorsiflexion and Landing Forces in Jumping Athletes. **Sports Health**, v. 14, n. 6, p. 932-937, 2022. 10.1177/19417381211063456

- 63 Whitting, J. W. et al. Dorsiflexion Capacity Affects Achilles Tendon Loading during Drop Landings. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 4, p. 706-713, 2011. 10.1249/MSS.0b013e3181f474dd
- 64 Sancho, I. et al. Recreational runners with Achilles tendinopathy have clinically detectable impairments: A case-control study. **Phys Ther Sport**, v. 55, p. 241-247, 2022. 10.1016/j.ptsp.2022.05.002
- 65 Rabin, A.; Kozol, Z.; Finestone, A. S. Limited ankle dorsiflexion increases the risk for mid-portion Achilles tendinopathy in infantry recruits: a prospective cohort study. **Journal of Foot and Ankle Research**, v. 7, n. 1, p. 48, 2014. 10.1186/s13047-014-0048-3
- 66 Martin, R. L. et al. Achilles Pain, Stiffness, and Muscle Power Deficits: Midportion Achilles Tendinopathy Revision 2018. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 48, n. 5, p. A1-A38, 2018. 10.2519/jospt.2018.0302
- 67 van der Vlist, A. C. et al. Clinical risk factors for Achilles tendinopathy: a systematic review. **Br J Sports Med**, v. 53, n. 21, p. 1352-1361, 2019. 10.1136/bjsports-2018-099991
- 68 Mahieu, N. N. et al. **Intrinsic risk factors for the development of achilles tendon overuse injury: a prospective study**. 2006. 226-35 (34). *Am J Sports Med*,
- 69 Nunes, G. S. et al. Relationship between the architecture and function of ankle plantar flexors with Achilles tendon morphology in ballet dancers. **Hum Mov Sci**, v. 67, p. 102494, 2019. 10.1016/j.humov.2019.102494
- 70 Lai, A. et al. Tendon elastic strain energy in the human ankle plantar-flexors and its role with increased running speed. **Journal of experimental biology**, v. 217, n. Pt 17, p. 3159-3168, 2014. 10.1242/jeb.100826
- 71 Silbernagel, K. G. et al. Evaluation of lower leg function in patients with Achilles tendinopathy. **Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA**, v. 14, n. 11, p. 1207-1217, 2006. 10.1007/s00167-006-0150-6
- 72 Maganaris, C. N.; Narici, M. V.; Maffulli, N. Biomechanics of the Achilles tendon. **Disabil Rehabil**, v. 30, n. 20-22, p. 1542-7, 2008. 10.1080/09638280701785494
- 73 Matsui, T. et al. Effect of Ankle Motion and Tensile Stress at the Achilles Tendon on the Contact Pressure Between the Achilles Tendon and the Calcaneus. **J Foot Ankle Surg**, v. 60, n. 4, p. 753-756, 2021. 10.1053/j.jfas.2021.02.008
- 74 Rio, E. K. et al. Where is Your Pain? Achilles Tendinopathy Pain Location on Loading Is Different to Palpation, Imaging and Recall Location. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 54, n. 1, p. 1-9, 2024. 10.2519/jospt.2023.12131
- 75 Vicenzino, B. et al. ICON 2019—International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: There are nine core health-related domains for tendinopathy (CORE

- DOMAINS): Delphi study of healthcare professionals and patients. **British Journal of Sports Medicine**, v. 54, n. 8, p. 444, 2020. 10.1136/bjsports-2019-100894
- 76 Rio, E. K. et al. ICON PART-T 2019—International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: recommended standards for reporting participant characteristics in tendinopathy research (PART-T). **British journal of sports medicine**, v. 54, n. 11, p. 627-630, 2020. 10.1136/bjsports-2019-100957
- 77 Ekegren, C. L.; Quedsted, R.; Brodrick, A. Injuries in pre-professional ballet dancers: Incidence, characteristics and consequences. **Journal of science and medicine in sport**, v. 17, n. 3, p. 271-275, 2014. 10.1016/j.jsams.2013.07.013
- 78 Docking, S. I. et al. Structural integrity is decreased in both Achilles tendons in people with unilateral Achilles tendinopathy. **Journal of science and medicine in sport**, v. 18, n. 4, p. 383-387, 2015. 10.1016/j.jsams.2014.06.004
- 79 Rabello, L. M. et al. Substantiating the Use of Ultrasound Tissue Characterization in the Analysis of Tendon Structure: A Systematic Review. **Clinical journal of sport medicine**, v. 31, n. 3, p. e161-e175, 2021. 10.1097/JSM.0000000000000749
- 80 Anker-Petersen, C. et al. Six weeks of intensive rehearsals for the Swan Lake ballet shows ultrasound tissue characterization changes of the Achilles tendons in dancers. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 31, n. 11, p. 2133-2143, 2021. 10.1111/sms.14034
- 81 Harris, P. A. et al. Research electronic data capture (REDCap)—A metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support. **Journal of biomedical informatics**, v. 42, n. 2, p. 377-381, 2009. 10.1016/j.jbi.2008.08.010
- 82 Heyward, O. W. et al. The effect of load on Achilles tendon structure in novice runners. **Journal of science and medicine in sport**, v. 21, n. 7, p. 661-665, 2018. 10.1016/j.jsams.2017.11.007
- 83 Docking, S. I.; Rosengarten, S. D.; Cook, J. Achilles tendon structure improves on UTC imaging over a 5-month pre-season in elite Australian football players. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 26, n. 5, p. 557-563, 2016. 10.1111/sms.12469
- 84 Docking, S. I. et al. Quantification of Achilles and patellar tendon structure on imaging does not enhance ability to predict self-reported symptoms beyond grey-scale ultrasound and previous history. **J Sci Med Sport**, v. 22, n. 2, p. 145-150, 2019. 10.1016/j.jsams.2018.07.016
- 85 Robinson, J. M. et al. The VISA-A questionnaire: a valid and reliable index of the clinical severity of Achilles tendinopathy. **British journal of sports medicine**, v. 35, n. 5, p. 335-341, 2001. 10.1136/bjism.35.5.335

- 86 Hiller, C. E. et al. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 87, n. 9, p. 1235-41, 2006. 10.1016/j.apmr.2006.05.022
- 87 Wright, C. J. et al. Recalibration and validation of the Cumberland Ankle Instability Tool cutoff score for individuals with chronic ankle instability. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 95, n. 10, p. 1853-9, 2014. 10.1016/j.apmr.2014.04.017
- 88 Clarsen, B.; Myklebust, G.; Bahr, R. Development and validation of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology: the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) overuse injury questionnaire. **Br J Sports Med**, v. 47, n. 8, p. 495-502, 2013. 10.1136/bjsports-2012-091524
- 89 Kenny, S. J. et al. The Influence of Injury Definition on Injury Burden in Preprofessional Ballet and Contemporary Dancers. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 48, n. 3, p. 185-193, 2018. 10.2519/jospt.2018.7542
- 90 Karcioglu, O. et al. A systematic review of the pain scales in adults: Which to use? **The American journal of emergency medicine**, v. 36, n. 4, p. 707-714, 2018. 10.1016/j.ajem.2018.01.008
- 91 Baillie, P. et al. Posterior Ankle Impingement Syndrome Clinical Features Are Not Associated With Imaging Findings in Elite Ballet Dancers and Athletes. **Clinical journal of sport medicine**, v. 32, n. 6, p. 600-607, 2022. 10.1097/JSM.0000000000001021
- 92 Rio, E.; Mayes, S.; Cook, J. Heel pain: A practical approach. **Australian family physician**, v. 44, n. 3, p. 96-101, 2015.
- 93 Smithson, M.; Verkuilen, J. A better lemon squeezer? Maximum-likelihood regression with beta-distributed dependent variables. **Psychol Methods**, v. 11, n. 1, p. 54-71, 2006. 10.1037/1082-989x.11.1.54
- 94 Brooks, M. E. et al. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. **The R Journal**, v. 9, n. 2, p. 378-400, 2017. 10.32614/RJ-2017-066
- 95 Hartig, F.; Lohse, L. **DHARMA: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level / mixed) regression models [manual]**. <http://florianhartig.github.io/DHARMA/>: 2022.
- 96 Farrar-Baker, A.; Wilmerding, V. Prevalence of Lateral Bias in the Teaching of Beginning and Advanced Ballet. **Journal of dance medicine & science**, v. 10, n. 3, p. 81-84, 2006. 10.1177/1089313X06010003-402
- 97 Kimmerle, M. Lateral Bias, Functional Asymmetry, Dance Training and Dance Injuries. **Journal of dance medicine & science**, v. 14, n. 2, p. 58-66, 2010. 10.1177/1089313X1001400204
- 98 Mertz, L.; Docherty, C. Self-Described Differences Between Legs in Ballet Dancers: Do They Relate to Postural Stability and Ground Reaction Force Measures? **Journal**

- of dance medicine & science**, v. 16, n. 4, p. 154-160, 2012. 10.1177/1089313X1201600402
- ⁹⁹ Twitchett, E. et al. Video Analysis of Classical Ballet Performance. **Journal of dance medicine & science**, v. 13, n. 4, p. 124-128, 2009. 10.1177/1089313x0901300405
- ¹⁰⁰ Wyon, M. A. et al. Time motion and video analysis of classical ballet and contemporary dance performance. **Int J Sports Med**, v. 32, n. 11, p. 851-5, 2011. 10.1055/s-0031-1279718
- ¹⁰¹ Rabello, L. M. et al. Running a Marathon-Its Influence on Achilles Tendon Structure. **J Athl Train**, v. 55, n. 2, p. 176-180, 2020. 10.4085/1062-6050-49-19
- ¹⁰² Rosengarten, S. D. et al. Australian football players' Achilles tendons respond to game loads within 2 days: an ultrasound tissue characterisation (UTC) study. **British Journal of Sports Medicine**, v. 49, n. 3, p. 183, 2015. 10.1136/bjsports-2013-092713
- ¹⁰³ Stanley, L. E. et al. Achilles tendon adaptation in cross-country runners across a competitive season. **Scand J Med Sci Sports**, v. 28, n. 1, p. 303-310, 2018. 10.1111/sms.12903

8 APÊNDICE 1

Status de submissão do Artigo 1

JAT0275-24

29/7/2024, 9:14 am



[Manuscript Home](#) [Author Instructions](#) [Reviewer Instructions](#) [Help](#) [Tips](#) [Logout](#) [Journal Home](#)

Manuscript #	JAT0275-24
Current Revision #	0
Submission Date	05-03-2024 13:39:00
Current Stage	Under Review
Title	Non-linear interactions of lower limb clinical measures associated with asymptomatic Achilles tendon pathology in ballet dancers
Manuscript Type	Original Research
Special Section	N/A
Corresponding Author	Prof. Fábio Serrão (Universidade Federal de São Carlos)
Contributing Authors	Miss Bruna Tessarín , Dr. Ebonie Rio , Ms. Larissa Souto , Dr. Guilherme Nunes , Dr. Luciana Mendonça
Abstract	<p>Context: Tendon pathologies are commonly observed in individuals with Achilles tendinopathy, but also can be present in asymptomatic individuals, making them more susceptible to tendon overload, therefore developing future symptoms. Ballet dancers who are exposed to high Achilles tendon loads are particularly vulnerable. Understanding the relationship between clinical measures and tendon pathologies is essential for this population.</p> <p>Objective: To investigate the predictive value of clinical measures that have been associated with tendinopathy to identify Achilles tendon pathology in asymptomatic ballet dancers through Classification and Regression tree (CART) analysis.</p> <p>Design: Cross-sectional study.</p> <p>Setting: Dance company facility and research laboratory.</p> <p>Patients: Thirty-five asymptomatic professional and amateur ballet dancers enrolled.</p> <p>Main Outcome Measures: Presence of Achilles tendon pathology were investigated using grey-scale ultrasound. Tendons were classified as having pathology if presenting fusiform shape and/or hypoechoic areas. Clinical measures assessed were; foot pronation, ankle dorsiflexion angle, hip, knee, and ankle isometric torque, and standing calf endurance. CART analysis was used to explore nonlinear interactions among clinical measures and their role in identifying tendon pathology. Results: 68 tendons were included in analysis. Structural change was common in asymptomatic dancers, with 80% presenting tendon pathology. The CART model correctly classified 88.1% of tendons with pathologies, and 76.9% of tendons without pathology, for a total classification percentage of 83.8%. Hip isometric torque, ankle dorsiflexion range of motion, and calf endurance were measures related to tendon pathology. Interactions between hip torque and ankle dorsiflexion range of motion were statistically associated with presence of tendon pathology. Increased hip abductor torque was linked to a 59% reduction in the probability of tendon pathology.</p> <p>Conclusions: Hip torque was an important clinical measure related to tendon structure. Assessment of dancers should include the whole lower limb as combination of hip torque and ankle dorsiflexion range of motion accurately identified presence of pathology.</p>
Section Editor	Assigned
Author Reviewer Suggestions to Include	Sean Docking (Monash University), Carolyn Emery (University of Calgary), Rodrigo Scattone (Federal University of Rio Grande do Norte)
Author Reviewer Suggestions to Exclude	N/A
Key Points: Take-Home Messages	Prediction value, clinical measures, Achilles tendon pathology, Asymptomatic, Ballet dancers
Prevention and Risk Management	Risk factor identification: Medical risk conditions
Pathology	Musculoskeletal trauma (acute and chronic): Ankle, Musculoskeletal trauma (acute and chronic): Foot
Physiology	
Biodynamics	Biodynamics measurement techniques: Dynamometry, Joint biomechanics: Ankle or foot, Tissue biomechanics: Mechanical properties

https://jat.msubmit.net/cgi-bin/main.plex?el=A1a6EFU4A6NcA6F1A9ftdzwLVUA12lJHpcSwVUUuuSQZ

Page 1 of 3

APÊNDICE 2

Comprovante de submissão artigo 2

Gmail - Confirming submission to Journal of Science and Medicine in Sport

26/7/2024, 11:21 am



Bruna <tessarin.physio@gmail.com>

Confirming submission to Journal of Science and Medicine in Sport

1 message

Journal of Science and Medicine in Sport <em@editorialmanager.com> Fri, Jul 26, 2024 at 10:34 AM
Reply-To: Journal of Science and Medicine in Sport <support@elsevier.com>
To: Bruna Mariana Tessarin <tessarin.physio@gmail.com>

This is an automated message.

Professional ballet dancers tolerate high Achilles tendon loads: no change in structure and minimal posterior ankle symptoms over 4 months

Dear Miss Tessarin,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Journal of Science and Medicine in Sport.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/jsams/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Journal of Science and Medicine in Sport

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?
https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/
For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

At Elsevier, we want to help all our authors to stay safe when publishing. Please be aware of fraudulent messages requesting money in return for the publication of your paper. If you are publishing open access with Elsevier, bear in mind that we will never request payment before the paper has been accepted. We have prepared some guidelines (<https://www.elsevier.com/connect/authors-update/seven-top-tips-on-stopping-apc-scams>) that you may find helpful, including a short video on Identifying fake acceptance letters (<https://www.youtube.com/watch?v=o5I8thD9XtE>). Please remember that you can contact Elsevier's Researcher Support team (<https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>) at any time if you have questions about your manuscript, and you can log into Editorial Manager to check the status of your manuscript (https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/29155/c/10530/supporthub/publishing/kw/status/).
#AU_JSAMS#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/jsams/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

9 APÊNDICE 3

Tabela. Dados descritivos do UTC apresentados por membro e sexo. Os eco tipos são expressos como mediana (IIQ) e o diâmetro AP como média (DP).

Eco tipo	Membro Direito			Membro Esquerdo		
	Grupo	Masculino	Feminino	Grupo	Masculino	Feminino
Linha de base	n = 38 ^a	n = 16 ^a	n = 22 ^a	n = 39 ^a	n = 16 ^a	n = 23 ^a
% Tipo I	75,2 (12,1)	75,0 (13,9)	75,7 (14,0)	79,9 (7,6)	81,9 (9,0)	79,2 (7,1)
% Tipo II	18,3 (10,0)	15,8 (8,7)	19,2 (12,6)	14,9 (5,0)	13,2 (6,6)	16,1 (5,7)
% Tipo III	1,5 (2,2)	1,9 (2,4)	1,3 (1,9)	0,9 (1,2)	0,8 (0,8)	1,1 (1,4)
% Tipo IV	2,8 (4,6)	6,1 (6,0)	1,9 (3,1)	3,6 (3,2)	4,0 (1,5)	2,6 (3,6)
Diâmetro AP (mm)	4,96 (0,65)	5,40 (0,62)	4,68 (0,48)	5,02 (0,58)	5,41 (0,53)	4,75 (0,45)
6 semanas	n = 38 ^a	n = 17 ^a	n = 21 ^a	n = 38 ^a	n = 17 ^a	n = 21 ^a
% Tipo I	68,9 (8,3)	68,1 (13,3)	69,0 (9,4)	80,1 (7,9)	78,9 (6,3)	82,0 (10,2)
% Tipo II	23,1 (12,5)	16,1 (11,4)	26,8 (8,2)	13,4 (5,4)	12,2 (4,1)	14,7 (6,8)
% Tipo III	2,3 (3,1)	2,8 (3,1)	2,1 (3,4)	0,9 (1,6)	1,3 (1,8)	0,8 (1,4)
% Tipo IV	6,0 (6,9)	7,3 (6,6)	3,1 (5,3)	3,9 (5,9)	6,6 (6,6)	2,1 (2,7)
Diâmetro AP (mm)	5,16 (0,89)	5,71 (0,99)	4,72 (0,48)	5,16 (0,66)	5,69 (0,39)	4,74 (0,50)

^aDados faltantes.

10 APÊNDICE 4

Tabela. Dados individuais para o diâmetro AP (mm) ao longo do tempo, por sexo e membro. Os resultados são apresentados como média prevista (95% IC).

Sexo	Membro	Linha de base	6 semanas
Feminino	Direito	4,70 (4,48–4,92)	4,73 (4,52–4,95)
	Esquerdo	4,74 (4,52–4,95)	4,77 (4,55–4,99)
Masculino	Direito	5,42 (5,17–5,67)	5,69 (5,44–5,94)
	Esquerdo	5,45 (5,20–5,70)	5,72 (5,48–5,97)

11 APÊNDICE 5

Tabela. Os dados individuais para eco tipo ao longo do tempo, por membro. Os resultados são apresentados como média prevista (95% IC).

Eco tipo	Membro	Linha de base	6 semanas
Tipo I	Direito	74,52 (71,55 - 77,27)	67,56 (64,25 - 70,70)
	Esquerdo	78,69 (76,01 - 81,15)	79,74 (77,08 - 82,16)
Tipo II	Direito	20,77 (18,63 - 23,09)	24,33 (21,94 - 26,89)
	Esquerdo	17,21 (15,34 - 19,26)	15,58 (13,80 - 17,55)
Tipo III	Direito	1,48 (1,09 - 2,00)	2,59 (1,97 - 3,41)
	Esquerdo	1,14 (0,83 - 1,56)	1,07 (0,78 - 1,48)
Tipo IV	Direito	2,70 (2,06 - 3,53)	4,05 (3,14 - 5,19)
	Esquerdo	2,55 (1,95 - 3,35)	2,97 (2,28 - 3,85)

12 APÊNDICE 6

Tabela. Os dados individuais para eco tipo ao longo do tempo, por membro. Os resultados são apresentados como média prevista (95% IC).

Eco tipo	Membro	Linha de base	6 semanas
Tipo I	Direito	74,52 (71,55 - 77,27)	67,56 (64,25 - 70,70)
	Esquerdo	78,69 (76,01 - 81,15)	79,74 (77,08 - 82,16)
Tipo II	Direito	20,77 (18,63 - 23,09)	24,33 (21,94 - 26,89)
	Esquerdo	17,21 (15,34 - 19,26)	15,58 (13,80 - 17,55)
Tipo III	Direito	1,48 (1,09 - 2,00)	2,59 (1,97 - 3,41)
	Esquerdo	1,14 (0,83 - 1,56)	1,07 (0,78 - 1,48)
Tipo IV	Direito	2,70 (2,06 - 3,53)	4,05 (3,14 - 5,19)
	Esquerdo	2,55 (1,95 - 3,35)	2,97 (2,28 - 3,85)

13 APÊNDICE 7

Tabela. Valores numéricos e percentuais (%) para desfecho positivo no teste de impacto posterior do tornozelo, palpação do tendão de Aquiles e protocolo de carga progressiva.

		Linha de base	6 semanas	4 meses
Testes passivos de provocação da dor				
Impacto Posterior do Tornozelo	Direto	3 (7,5%)	3 (7,5%)	3 (7,5%)
	Esquerdo	4 (10%)	5 (12,5%)	3 (7,5%)
Palpação de Aquiles	Direto	3 (7,5%)	2 (5%)	4 (10%)
	Esquerdo	3 (7,5%)	1 (2,5%)	4 (10%)
Protocolo de Carga Progressiva				
ADM completa do tornozelo sem descarga de peso	Direto	1(2,5%)	1 (2,5%)	1 (2,5%)
	Esquerdo	3 (7,5%)	3 (7,5%)	0 (0%)
Dorsiflexão do tornozelo com descarga de peso	Direto	5 (12,5%)	1 (2,5%)	4 (10%)
	Esquerdo	2 (5%)	3 (7,5%)	1 (2,5%)
Elevações de calcânhar em apoio bipodal	Direto	2 (5%)	1 (2,5%)	0 (0%)
	Esquerdo	1 (2,5%)	3 (7,5%)	2 (5%)
Elevações de calcânhar em apoio unipodal	Direto	2 (5%)	1 (2,5%)	0 (0%)
	Esquerdo	0 (0%)	3 (7,5%)	1 (2,5%)
Elevações de calcânhar bipodal rápidas em amplitude média	Direto	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Esquerdo	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Elevações de calcanhar unipodal rápidas em amplitude média	Direto	0 (0%)	2 (5%)	0 (0%)
	Esquerdo	0 (0%)	1 (2,5%)	1 (2,5%)
Saltos submáximos bipodal	Direto	1 (2,5%) *1(2,5%)	2 (5%)	1 (2,5%)
	Esquerdo	2 (5%) *1(2,5%)	1 (2,5%)	1 (2,5%)
Saltos submáximos unipodal	Direto	1 (2,5%) *1(2,5%)	5(12,5%)	4 (10%)
	Esquerdo	2 (5%) *1 (2,5%)	3 (7,5%)	3 (7,5%)
Salto máximo unipodal	Direto	1 (2,5%) *3 (7,5%)	3 (7,5%) *1 (2,5%)	0 (0%)
	Esquerdo	1 (2,5%) *3 (7,5%)	4 (10%) *1 (2,5%)	3 (7,5%)
Salto unipodal sem movimento do tornozelo	Direto	0 (0%) *3 (7,5%)	1 (2,5%)	0 (0%)
	Esquerdo	2 (5%) *3 (7,5%)	3 (7,5%)	1 (2,5%)
Salto unilateral com deslocamento anterior	Direto	0 (0%) *3 (7,5%)	3 (7,5%)	1 (2,5%)
	Esquerdo	0 (0%) *3(7,5%)	4 (10%)	2 (5%)
	Direto	1 (2,5%)	2 (5%)	0 (0%)

**Elevações de
calcanhar
unipodal em
amplitude
média com o
calcanhar
fora de um
degrau**

		*2(5%)		
	Esquerdo			
		0 (0%)		
			2 (5%)	1 (2,5%)
		*2(5%)		

ADM: amplitude de movimento.

*Dados faltantes.