

Rafael Barban Sposeto

Estudo radiográfico axial do antepé para a avaliação do alinhamento da cabeça dos metatarsais no plano coronal

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Ciências

Programa de Ortopedia e Traumatologia

Orientador: Prof. Dr. Túlio Diniz Fernandes

São Paulo

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Sposeto, Rafael Barban

Estudo radiográfico axial do antepé para a
avaliação do alinhamento da cabeça dos metatarsais no
plano coronal / Rafael Barban Sposeto. -- São
Paulo, 2018.

Dissertação (mestrado) -- Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo.

Programa de Ortopedia e Traumatologia.

Orientador: Tulio Diniz Fernandes.

Descritores: 1.Antepé humano 2.Arco transversal
do pé 3.Radiografia 4.Radiografia axial do antepé
5.Metatarsalgia 6.Ossos do metatarso 7.Metatarsal
8.Doenças do pé 9.Articulação metatarsofalângica

USP/FM/DBD-039/18

Responsável: Kátia Maria Bruno Ferreira - CRB-8/6008

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Marcia e Ronald, e avôs, Maria Aparecida e Eugênio (*in memoriam*), pelos exemplos de otimismo, honestidade e perseverança.

Ao meu irmão Tiago, presente em todos os momentos.

À minha querida esposa Valdinélia, incansável companheira, me dando suporte, amor, carinho e tranquilidade nos momentos mais difíceis.

Às minhas duas preciosas filhas, Laís e Clara, fonte de motivação para ser uma pessoa melhor.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Tulio Diniz Fernandes, não apenas por me orientar nessa dissertação, com seus ensinamentos científicos e acadêmicos, mas principalmente, por toda ajuda na minha formação como ortopedista e traumatologista.

Aos Professores Doutores Tarcísio E. P. Barros Filho, Olavo Pires de Camargo e Gilberto Luis Camanho, Titulares do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realizar a dissertação.

À minha banca de qualificação, formada pela Profa. Dra. Ana Lúcia Lei Munhoz Lima, Dr. Mauro Emilio Conforto Gracitelli e Dr. Riccardo Gomes Gobbi, pelas orientações e comentários preciosos.

Ao Dr. Marcos Hideyo Sakaki, por seu espírito crítico, estimulando a ideia inicial desse projeto.

Ao Prof. Dr. Alexandre Leme Godoy dos Santos, pelas sugestões relevantes na fase final da dissertação.

Aos amigos e mestres Dr. Marcos de Andrade Corsato, Dr. Rafael Trevisan Ortiz, pelos importantes ensinamentos para essa dissertação e para a minha atuação profissional.

Aos amigos Dr. Jorge Henrique Assunção, Dr. Bruno Sergio Ferreira Massa e Dr. Tiago Lazzaretti Fernandes pelas sugestões no projeto.

Ao amigo Dr. Rodrigo Sousa Macedo, pela ajuda no recrutamento dos indivíduos do estudo.

A todos os residentes e estagiários que ajudaram no estudo.

Aos Srs. Carlos, Horácio e Ronaldo, pelo empenho em melhorar a metodologia radiográfica e executá-la de forma adequada.

Às secretárias Rosana Moreno da Costa e Tania Borges e às bibliotecárias Andressa da Costa Santos Souza e Camila Gomes da Rocha pela disposição e auxílio durante a confecção desse trabalho.

Ao Sr. Henry Dan Kyomoto pelo auxílio na análise estatística.

A todos os pacientes que participaram do estudo e colaboraram com a ciência.

NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Esta dissertação de mestrado está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Divisão de Biblioteca e Documentação. Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Júlia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3a ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

Terminologia Anatômica da Sociedade Brasileira de Anatomia - CTA-SBA, 1ª edição, 2001, Editora Manole.

Vocabulário ortográfico da língua portuguesa, 5ª edição, 2009, elaborado pela Academia Brasileira de Letras, em consonância com o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa, promulgado pelo decreto nº 6583/2008.

SUMÁRIO

	Lista de Figuras	
	Lista de Tabelas	
	Lista de Gráficos	
	Lista de Abreviaturas, Símbolos e Siglas	
	RESUMO	
	ABSTRACT	
1	INTRODUÇÃO.....	2
2	OBJETIVOS.....	10
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	12
3.1	Biomecânica do antepé na marcha.....	12
3.2	Controvérsias sobre o alinhamento das cabeças metatarsais no plano coronal.....	15
3.2.1	Estudos ultrassonográficos do plano coronal.....	18
3.2.2	Estudos radiográficos do plano coronal.....	20
3.3	Estudos radiográficos do plano axial.....	25
3.4	Aplicação dos achados radiográficos nas osteotomias corretivas dos metatarsais.....	30
4	MÉTODOS.....	37
4.1	Seleção dos participantes.....	37
4.2	Avaliação radiográfica.....	39
4.3	Análise estatística.....	48

5	RESULTADOS.....	51
5.1	Resultados do estudo piloto.....	51
5.2	Análise da população estudada.....	53
5.3	Resultados das radiografias axiais com carga do antepé.....	54
5.3.1	Comparação das alturas dos metatarsais entre o mesmo grupo.....	54
5.3.2	Comparação das alturas dos metatarsais entre os grupos.....	58
5.4	Resultados das radiografias anteroposteriores com carga do pé....	62
6	DISCUSSÃO.....	69
6.1	Avaliação do estudo piloto.....	69
6.2	Caracterização da casuística utilizada.....	72
6.3	Considerações finais.....	78
7	CONCLUSÃO.....	86
8	ANEXOS.....	88
9	REFERÊNCIAS.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1A	Posicionamento do paciente para a aquisição da radiografia axial com carga do pé com a ampola à 1 m de distância do filme.....	40
Figura 1B	Posicionamento do tornozelo em 20° de equino, com 10° de extensão dos dedos em relação ao apoio.....	40
Figura 1C	Área total radiografada.....	40
Figura 2A	Prancha de posicionamento da radiografia axial, vista superior com a rampa anterior na posição mais proximal.....	41
Figura 2B	Vista superior com a rampa anterior na posição mais distal. Seta azul indicando o posicionamento da cabeça do 5º metatarsal.....	41
Figura 2C	Vista superior com a rampa anterior rodada para acomodar os dedos.....	41
Figura 2D	Vista posterior, evidenciando o suporte central do dispositivo, para o posicionamento do pé contralateral ao exame.....	41
Figura 2E	Vista lateral, mostrando as rampas anterior e posterior.....	41
Figura 3A	Aspecto visual da radiografia axial com carga do antepé de um dos indivíduos do grupo SM.....	43
Figura 3B	Linha de apoio traçada, marcando o plano da carga do antepé..	43

Figura 3C	A partir dos pontos mais plantares dos cinco raios medimos a distância à linha.....	43
Figura 4	Representação esquemática da linha do eixo do pé, segundo Maestro et al. ³⁷	45
Figura 5	Representação esquemática da linha SM4, segundo Maestro et al. ³⁷ , traçada a partir do ponto central do sesamóide lateral, perpendicular ao eixo do pé.....	46
Figura 6	Exemplo radiográfico das medidas dos comprimentos relativos dos metatarsais.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Correlação do valor do coeficiente com a intensidade da concordância.....	49
Tabela 2	Avaliação inter e intraobservador na radiografia anteroposterior com carga.....	52
Tabela 3	Avaliação inter e intraobservador na radiografia axial do antepé com carga.....	52
Tabela 4	Comparação do número de pés de cada sexo.....	53
Tabela 5	Distribuição de calosidades no grupo CM.....	54
Tabela 6	Médias das medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé no grupo CM.....	55
Tabela 7	Médias das medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé no grupo SM.....	55
Tabela 8	Média medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé, dos pacientes com hálux valgo no grupo CM.....	57
Tabela 9	Média das medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé, dos pacientes sem hálux valgo no grupo CM.....	57
Tabela 10	Comparação das médias das alturas das cabeças de cada metatarsal no plano coronal, entre os grupos.....	58

Tabela 11	Comparação das médias das alturas das cabeças no plano coronal de cada metatarsal em indivíduos sem hálux valgo, entre os grupos.....	61
Tabela 12	Comparação das médias das alturas das cabeças de cada metatarsal no plano coronal, dos pacientes com e sem hálux valgo no grupo CM.....	62
Tabela 13	Comparação entre os grupos, das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé.....	63
Tabela 14	Comparação entre os grupos, das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, em indivíduos sem hálux valgo.....	66
Tabela 15	Comparação das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, dos pacientes com e sem hálux valgo no grupo CM.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Distribuição das alturas das cabeças dos metatarsais na radiografia axial com carga no antepé nos grupos.....	56
Gráfico 2	Distribuição das diferenças das alturas das cabeças em relação ao 2º metatarsal na radiografia axial com carga no antepé nos grupos.....	59
Gráfico 3	Distribuição nos grupos, das razões das alturas das cabeças em relação ao 2º metatarsal na radiografia axial com carga no antepé.....	60
Gráfico 4	Distribuição, dos comprimentos relativos dos metatarsais na radiografia anteroposterior com carga, nos grupos.....	64
Gráfico 5	Distribuição das diferenças dos comprimentos relativos dos metatarsais na radiografia anteroposterior com carga, nos grupos.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AP	anteroposterior
DP	desvio padrão
et al.	e outros
FMUSP	Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
HC	Hospital das Clínicas
IOT	Instituto de Ortopedia e Traumatologia
USP	Universidade de São Paulo
mm	milímetros
cm	centímetros
m	metros
kV	quilovolt
mA	miliampère
mA/s	miliampère por segundo
M1	1º metatarsal
M2	2º metatarsal
M3	3º metatarsal
M4	4º metatarsal
M5	5º metatarsal
SM4	linha unindo a cabeça do M4 com o sesamóide lateral
SM4M4	a altura que SM4 cruza a cabeça do 4º metatarsal
AOFAS	Escala funcional de avaliação do pé e tornozelo da <i>American Orthopaedic Foot and Ankle Society</i>

CM	Grupo de indivíduos com metatarsalgia
SM	Grupo de indivíduos sem metatarsalgia
IMC	Índice de massa corpórea

RESUMO

Sposeto RB. *Estudo radiográfico axial do antepé para a avaliação do alinhamento da cabeça dos metatarsais no plano coronal* [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2018.

INTRODUÇÃO: As alterações do comprimento relativo dos metatarsais no plano axial são consideradas por muitos autores uma causa de distribuição inadequada da carga durante a marcha, sobrecarregando as estruturas plantares do antepé, culminando com a metatarsalgia. A meta do tratamento cirúrgico dessa síndrome é estabelecer o alinhamento da fórmula metatarsal. Porém, muitos estudos evidenciam uma taxa de 15% de recidiva da metatarsalgia após a reconstrução do formato preconizado no plano axial, conduzindo a um questionamento sobre a importância do alinhamento das cabeças dos metatarsais no plano coronal. **OBJETIVO:** Esse estudo tem como objetivo avaliar o padrão de alinhamento das cabeças dos metatarsais no plano coronal com carga, em indivíduos sem e com metatarsalgia. **MÉTODO:** Estudo transversal, avaliou 106 indivíduos entre 30 a 65 anos, dividindo-os em dois grupos de 106 pés cada, um sem dor, deformidades e calosidades nos pés e outro grupo com metatarsalgia entre os 2º, 3º e 4º metatarsais. O recrutamento dos indivíduos foi realizado no Pronto Socorro do IOT e no ambulatório do IOT HC FMUSP, respeitando os critérios de inclusão, exclusão e aplicando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Indivíduos com deformidades no mediopé, retropé e tornozelo, pacientes com cirurgias ou fraturas prévias no pé, doenças reumatológicas e síndromes osteoneuromusculares, não foram incluídos. Após a seleção, os indivíduos foram submetidos a duas radiografias, uma axial do antepé com carga, avaliando o plano coronal de modo a aferir as alturas das cabeças dos metatarsais, e uma anteroposterior dos pés com carga, determinando o comprimento de cada raio. A análise estatística foi realizada, comparando as medidas entre os grupos. **RESULTADOS:** Foram avaliados 106 indivíduos, divididos em dois grupos com 106 pés cada. No grupo com metatarsalgia, 34 pés (32%) eram de pacientes do sexo masculino, apresentando uma média de idade de 49,5 anos. Foram identificados 33 pés com hálux valgo no grupo com metatarsalgia. No grupo sem patologia 54 pés (51%) eram de pacientes do sexo masculino, apresentando uma média de idade de 44,6 anos. As variáveis antropométricas como tamanho do pé, peso, altura e IMC, entre os grupos, não apresentaram diferença estatística. As cabeças dos metatarsais em ambos grupos se distribuíram em formato não retilíneo no plano coronal, seguindo a fórmula $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$. O apoio distal do 1º raio apresentou uma posição mais plantar no grupo com metatarsalgia ($p=0,000$). **CONCLUSÃO:** As cabeças dos metatarsais em indivíduos com metatarsalgia e sem deformidade em valgo do 1º dedo, se alinharam no plano coronal de modo que $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$, sendo $M1 < M3$, $M1 < M4$ e o $M1 < M5$. As cabeças dos

metatarsais em indivíduos sem dor, calosidades e deformidades no antepé, se alinharam no plano coronal de modo que $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$, sendo $M1 < M3$ e $M1 = M4 = M5$. No plano coronal o ponto de apoio do M1 se posicionou mais plantar nos pés de indivíduos com metatarsalgia.

Descritores: Antepé humano; Arco transversal do pé; Radiografia; Radiografia axial do antepé; Metatarsalgia; Ossos do metatarso; Metatarsal; Doenças do pé; Articulação metatarsofalangeal.

ABSTRACT

Sposeto RB. *Forefoot axial radiographic study for the evaluation of metatarsal head alignment in the coronal plane* [dissertation]. São Paulo: "Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo"; 2018.

INTRODUCTION: Many authors consider the differences in the relative length of metatarsals in the axial plane, the cause of inadequate load distribution during the gait, overloading the forefoot plantar structures, culminating with metatarsalgia. The realignment of the metatarsal formula is the goal of surgical treatment of this syndrome. However, many studies have shown a 15% rate of metatarsalgia recurrence after the reconstruction in the axial plane, questioning the importance of the metatarsal heads alignment in the coronal plane.

OBJECTIVE: This study aims to evaluate the alignment pattern of metatarsal heads in the coronal plane in individuals with and without metatarsalgia.

METHODS: A cross-sectional study evaluated 106 individuals between 30 and 65 years old. They were divided in two groups of 106 feet each, one without foot pathologies and another group with metatarsalgia between the 2nd, 3rd and 4th metatarsals. The recruitment was performed at the IOT HC FMUSP for both groups, respecting the criteria of inclusion, exclusion and applying the Informed Consent Term. Individuals with midfoot, hindfoot and ankle deformities, patients with previous surgeries or fractures in the foot, rheumatologic diseases and osteoneuromuscular syndromes were not included. After the selection, the subjects were submitted to one weightbearing forefoot axial radiograph, evaluating the coronal plane in order to verify the heights of the metatarsals heads, and other weightbearing anteroposterior foot radiograph, determining the length of each ray. Statistical analysis was performed comparing the measurements between groups.

RESULTS: A hundred six individuals were evaluated, forming two groups with 106 feet each. The group with metatarsalgia presented 34 male patients feet (32%), with a mean age of 49.5 years. Thirty-three feet with hallux valgus were identified in the metatarsalgia group. In the non-pathological group were found 54 male patients feet (51%), with a mean age of 44.6 years. Anthropometric variables such as foot size, body weight, height and BMI between the groups did not present statistical difference. The metatarsal heads in both groups were distributed in curved line in the coronal plane, following the formula $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$. The distal support of the 1st ray was positioned more plantar in the metatarsalgia group ($p = 0.000$).

CONCLUSION: The metatarsal heads in individuals with metatarsalgia and no hallux valgus, were aligned in the coronal plane following this formula $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$, with $M1 < M3$, $M1 < M4$ and $M1 < M5$. The metatarsal heads in individuals without pain, callosities and forefoot deformities, were aligned in the coronal plane following the position $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$, with $M1 < M3$ and $M1 = M4 = M5$. In the coronal plane, the M1 weightbearing point was more plantar in the feet of individuals with metatarsalgia.

Descriptors: Human forefoot; Foot transverse arch; Radiography; Forefoot axial radiography; Metatarsalgia; Metatarsus; Metatarsal bones; Foot diseases; Metatarsophalangeal joint.

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A existência do arco transverso na altura das cabeças dos metatarsais é controversa, sendo debatida por diferentes autores desde meados de 1800, com opiniões contraditórias¹⁻¹⁰.

Luger et al.¹¹ descrevem três arcos no pé; o lateral, formado pelo calcâneo, cubóide, 4º e 5º metatarsais; o medial, composto pelo calcâneo, tálus, navicular, os três ossos cuneiformes e 1º, 2º e 3º metatarsais; e o transverso, que se localiza na articulação de Lisfranc, formado pelos cuneiformes, cubóide e a base dos cinco metatarsais¹¹.

O pé tem a função de dar suporte e impulsão durante a marcha, alterando a posição entre suas articulações dinamicamente durante as fases da marcha¹². A relação, proporção e controle adequados dos componentes ósseos, musculares, tendíneos e cápsulo-ligamentares, integram esse ajuste fino durante a carga bípede, criando uma transição suave e funcional com o solo durante o ciclo da marcha^{8,11,13}.

Leardini et al.¹³ e Caravaggi et al.¹⁴, em seus respectivos estudos de avaliação da marcha, observam que a articulação talocrural varia de 5º de dorsiflexão, no contato inicial com o solo, a 20º de flexão plantar, no momento do desprendimento do pé.

No contato inicial da fase de apoio, o retropé está em inversão atingindo eversão completa com a carga total, retomando a inversão no momento do desprendimento^{13,12}. O pé torna-se mais flexível com a eversão, permitindo absorção de energia, característica importante durante os estágios iniciais da

fase de apoio, para evitar sobrecarga¹¹⁻¹³. Já no final da fase de apoio, o pé torna-se rígido e utiliza a energia armazenada para desprender, com mínimo gasto e maior eficiência¹¹⁻¹³.

Os arcos controlam essas alterações dinâmicas do pé durante a marcha, modificando a posição relativa de suas estruturas^{1-4,7-9,11,15-17}.

O antepé suporta todo o peso corpóreo durante 30% da marcha¹⁸. Nessa fase, a pressão sob as cabeças dos metatarsais aumenta, tornando-as mais suscetíveis à distúrbios da distribuição de carga. É no desprendimento do pé que mais se observa metatarsalgia^{18,19}.

A disposição das cabeças dos metatarsais é muito discutida, com autores defendendo o posicionamento em arco e outros afirmando que as cinco cabeças se alinham no mesmo plano^{1-9,11}.

Weijers et al.⁹ consideram que as cabeças dos metatarsais se distribuem em formato de arco, de maneira que as porções distais dos 1° e 5° metatarsais seriam mais próximas do solo do que as centrais.

Diferentes estudos demonstram que os raios centrais são submetidos a maiores pressões em pessoas sem patologias, questionando a antiga conformação do arco transversal^{9,20-22}.

Mas o pico de pressão reflete a distribuição de carga e não necessariamente a posição dos ossos sobre a área em estudo. A flexibilidade das articulações proximais e a espessura das estruturas dos tecidos moles, especialmente o coxim gorduroso, entre o solo e as cabeças dos metatarsais, dissipam energia de forma diferente^{1,9,15}.

Assim, a pressão no antepé apenas representa a energia dissipada em uma determinada região e não a posição das estruturas ósseas. Esse padrão de

pressão aumentada nos raios centrais, não exclui a possibilidade de haver um arco transverso⁹.

Os tecidos moles plantares entre as cabeças metatarsais e o solo apresentam uma função de proteção, dissipando a energia do contato, através da diminuição de sua espessura. Quanto maior a espessura das partes moles plantares, maior será a capacidade de absorção de energia^{1,8}. Assim, segundo Bygrave e Betts¹, os cinco raios necessitam de espessuras diferentes dos tecidos moles sob suas cabeças, criando uma disposição não retilínea delas no plano coronal¹.

Enquanto Mann, Lelièvre, Viladot (1982; 2003), Saló, Sarrafian e Kelikian^{12,23-27} afirmam que as cabeças dos metatarsais estão alinhadas no plano coronal com carga, Kanatli et al., Simonsen et al. entre outros^{4,7,28,29} defendem a teoria do apoio de três pontos, com o arco transversal com ápice dorsal na altura da cabeça do 2º metatarsal.

Khurana et al., Simonsen et al., Lelièvre, Chang et al., Suzuki et al., Osher et al. e outros autores^{5,7,23,29-32} propõem técnicas radiográficas diferentes para visualizar a disposição das cabeças dos metatarsais no plano coronal. Algumas delas são criticadas por não permitirem carga, outras por excesso de extensão das articulações metatarsofalângicas. Até o momento não há consenso sobre qual seria a disposição fisiológica das cabeças dos metatarsais com carga no plano coronal, se alinhadas ou em arco, tão pouco sobre o melhor método de aferição.

Bygrave e Betts¹, Wang et al.⁸ (1999), Wang et al.³³ (2003) identificam por exame ultrassonográfico, que o volume de partes moles sob as cabeças

metatarsais é diferente entre elas, posicionando-as em uma linha oblíqua em relação ao solo, com o 1º mais alto que o 5º.

Entretanto, Daentzer et al.¹⁰ avaliam com exame ultrassonográfico, voluntários sem patologias nos pés, apoiando o transdutor no dorso do antepé com carga. Mostram que as cabeças se dispõem em uma linha paralela ao solo.

O formato e disposição dos metatarsais apresentam impacto direto na distribuição de carga dos pés. Alterações do alinhamento fisiológico dos metatarsais estão relacionadas a uma distribuição não ideal de carga, sobrecarregando diversas estruturas do antepé^{5-7,35-37}, causando doenças. Os fatores mecânicos são considerados os mais importantes na gênese da metatarsalgia³⁵⁻³⁷.

A metatarsalgia pode ser definida como a dor na região plantar de todo o antepé^{19,22,34}, ou exclusivamente sob as cabeças dos 2º, 3º e 4º metatarsais³⁸, dependendo do autor. O antepé é definido como a região anatômica localizada entre o terço médio das diáfises metatarsais até a região mais distal dos dedos³⁴.

Diferentes tecidos são atingidos pela dissipação inadequada de carga causando dor e alteração das suas propriedades, como: a derme e a epiderme levando a calosidades; o coxim gorduroso resultando em atrofia e perda das propriedades absorptivas; os nervos digitais plantares causando neuroma; os tendões flexores, lumbricais e interósseos gerando tendinites; e as estruturas capsulares, ligamentares (como a placa plantar) e o próprio osso com consequentes deformidades.

A metatarsalgia é composta por diversos diagnósticos, e deve ser considerada como uma síndrome^{18,36,39}, uma vez que temos diferentes

estruturas que podem ser acometidas no antepé e uma gama igualmente grande de patologias causadoras de dor²².

Com o intuito de compreender qual é a relação entre o comprimento dos metatarsais e a distribuição de carga, diversos autores^{37,40-42} propuseram estudos da fórmula metatarsal, aferindo seus comprimentos relativos. Viladot, Maestro et al., Lelièvre e Morton consideram que os metatarsais laterais se dispõem, no plano axial, em uma parábola decrescente, com o 2º maior que o 3º e assim sucessivamente. Essa configuração permite a distribuição adequada de carga^{27,37,40,43}.

Distâncias diferentes entre a ampola radiográfica, o pé e o filme, modificam as projeções de forma não controlada, justificando a necessidade da padronização de um método radiográfico comparativo que não leve em conta valores absolutos³⁷. É importante que o exame seja realizado com carga, posicionando as estruturas do pé de forma semelhante à marcha, permitindo uma avaliação fidedigna, para buscar a causa da sobrecarga⁴⁴.

Maestro et al.³⁷, em um estudo com radiografia anteroposterior dos pés com carga, definem parâmetros objetivos para medir os comprimentos relativos dos metatarsais. Descrevem quatro tipos morfológicos, um harmônico e três não harmônicos.

O fato de estabelecermos a fórmula metatarsal fisiológica, que supostamente permita uma distribuição de carga mais equilibrada é relevante, não só para o diagnóstico etiológico, mas principalmente para nos auxiliar no planejamento cirúrgico.

A osteotomia oblíqua distal de encurtamento dos metatarsais, proposta por Weil em 1985, foi difundida por Barouk*, citado por Schuh e Trnka³⁸. O objetivo é o reposicionamento das cabeças dos metatarsais de forma a recriar um arco metatarsal harmônico no plano axial, visualizado pela radiografia anteroposterior.

Esse procedimento é amplamente utilizado para a reformulação do arco metatarsal nos casos de metatarsalgias não responsivas ao tratamento conservador. Como a cirurgia se propõe a reestabelecer a fórmula metatarsal, a utilização de parâmetros objetivos como os preconizados por Maestro³⁷, é de extrema importância na sua execução.

Mesmo assim, Devos Bevernage e Leemrijse⁴⁵ em um estudo com 73 pés com diagnóstico de metatarsalgia, após reconstruírem a fórmula metatarsal exatamente como preconizado, ainda obtiveram uma taxa de 15% de recidiva da metatarsalgia. De forma semelhante Hofstaetter et al.⁴⁶, Highlander et al.⁴⁷ e Trnka et al.⁴⁸, evidenciaram recidivas pós-operatórias.

Khurana et al.⁵ e outros autores^{3,7,22,45} sugerem que essa taxa de recidiva pode ser decorrente de um alinhamento inadequado das cabeças dos metatarsais no plano coronal, que não havia sido avaliado.

A radiografia é um exame bidimensional, que nos permite a avaliação em um único plano por vez. Dessa forma, os esforços em quantificar a posição dos metatarsais em uma radiografia anteroposterior do pé, pode nos trazer respostas parciais sobre a distribuição tridimensional das cabeças metatarsais e dos seus pontos de apoio⁵.

* Barouk LS. Weil's metatarsal osteotomy in the treatment of metatarsalgia. *Orthopade*. 1996;25(4):338-44.

A identificação do alinhamento coronal das cabeças dos metatarsais pode determinar um parâmetro a mais, para auxiliar o diagnóstico etiológico da metatarsalgia e complementar a correção cirúrgica⁴⁵.

Até o momento não encontramos estudos na literatura médica que evidenciem de forma clara o padrão de distribuição das cabeças dos metatarsais em radiografias axiais do pé com carga. Principalmente comparando pessoas sem dor, deformidades ou calosidades com pacientes com metatarsalgia, na fase do desprendimento do pé, quando o antepé é submetido a maior pressão.

A hipótese do estudo é de que as cabeças dos metatarsais se dispõem em forma de arco no plano coronal em indivíduos sem metatarsalgia. De forma análoga, pessoas com metatarsalgia podem apresentar uma distribuição diferente.

2 OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

Esse estudo tem como objetivo avaliar o alinhamento das cabeças dos metatarsais no plano coronal, em pés com carga simulando a fase final do apoio da marcha (elevação do calcâneo, durante o 3º rolamento). A avaliação é feita com o auxílio do exame radiológico axial do antepé, em indivíduos com metatarsalgia sob os 2º e/ou 3º e/ou 4º metatarsais e em pessoas sem queixas álgicas, deformidades ou sinais de sobrecarga na região plantar do antepé.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Biomecânica do antepé na marcha

Stainsby⁴⁹, em 1997, publica uma revisão literária, na qual ressalta que a parte profunda da fásia plantar emite ramos para cada uma das cinco placas plantares das articulações metatarsalângicas, observando o efeito molinete em cada um dos cinco raios.

Luger et al.¹¹, em 1999, em um estudo caso-controle, discutem o papel dos arcos para auxiliar na mudança da posição relativa dos ossos do pé, o que modificaria as propriedades biomecânicas durante a marcha. Os arcos do pé absorvem a carga durante as fases iniciais da marcha, acumulando energia potencial e liberando energia cinética no desprendimento do pé. É o formato em arco que mantém a estrutura óssea posicionada, permitindo a transmissão de energia e melhorando a eficiência da marcha.

Luger et al.¹¹ ainda discutem a existência de três arcos: o lateral, formado pelo calcâneo, cubóide, 4° e 5° metatarsais; o medial, composto pelo calcâneo, tálus, navicular, os três cuneiformes e 1°, 2° e 3° metatarsais; e o transversal, que se localiza na articulação de Lisfranc, formado pelos cuneiformes, cubóide e a base dos cinco metatarsais. Entretanto, questionam o posicionamento das cabeças dos metatarsais no plano coronal formando mais um arco transversal distal. Os autores propõem um estudo de avaliação da pressão plantar, partindo da premissa que se houver arco distal as pressões sob as cabeças dos 1° e 5° metatarsais serão maiores. Comparam pacientes com metatarsalgia e

assintomáticos, mostrando que a pressão sobre os três raios centrais é maior em ambos os grupos. Apenas três por cento da amostra apresenta maior pressão sob os 1° e 5° metatarsais, correlacionando com o grupo patológico, com predileção ao sexo masculino. Os autores julgam que a presença de aumento de pressão sobre os 1° e 5° metatarsais são indicativos da disposição em arco das cabeças e concluem que essa situação é patológica.

Harris et al.⁵⁰, no ano de 1999, discordam do artigo de Luger et al.¹¹, e comentam que os resultados obtidos evidenciam uma maior pressão sob as cabeças dos 2°, 3° e 4° metatarsais nos indivíduos saudáveis. Mas a pressão reflete a carga, a área de distribuição e a capacidade de absorção das partes moles, não necessariamente a posição das estruturas ósseas, não sendo possível aferir a disposição das cabeças dos metatarsais a partir da pressão.

Leardini et al.¹³, em 2007, em um estudo descritivo da análise da marcha, avaliam as posições do pé de forma dinâmica. Afirmam que as estruturas ósseas, capsulares e ligamentares do pé apresentam uma função fundamental na marcha bípede, criando uma transição suave e funcional com o solo durante as diversas fases da marcha. O retropé inicia contato inicial da fase de apoio em inversão, atingindo eversão completa com a carga total, retornando à inversão no momento do desprendimento. No plano transversal, os pés mantêm-se abduzidos até a fase final de apoio, quando aduzem. Essa mobilidade do retropé garante a alteração dinâmica das propriedades do pé, tornando-o mais flexível para absorver o impacto na fase inicial do contato e mais rígido no desprendimento, aproveitando a energia armazenada, melhorando sua eficiência e diminuindo gastos energéticos.

Canseco et al.⁵¹, em 2008, analisam a marcha de 22 pacientes com hálux rígido, comparando com 25 indivíduos sem patologia. Evidenciam mudanças no padrão da marcha em todos os níveis do pé no grupo patológico e mostram os padrões normais da marcha, com uma extensão das articulações metatarsófalangicas de 10°, em média, no grupo não patológico.

Caravaggi et al.¹⁴, em 2010, em um estudo da marcha, avaliam 10 indivíduos e mostram que o retropé chega próximo a 20° de flexão no final da fase de apoio.

Ward et al.¹⁶, em seu estudo anatômico de 2011, afirmam que a chave para a marcha bipodálica é a presença permanente dos arcos do pé, longitudinal (lateral e medial) e o transverso. Avaliam o fóssil de um homínideo que apresentava marcha bípede, o *Australopithecus afarensis*, observando que o formato da diáfise e da cabeça do seu 4° metatarsal são sugestivos desse padrão de marcha com arcos longitudinais e transversos, assim como os humanos.

Koenraadt et al.⁵², em 2012, avaliam em um estudo caso-controle, as alterações pressóricas e da largura do antepé após a elevação retrocapital com órtese, em um grupo com metatarsalgia e outro com pés sem dor. Os resultados mostram que a largura do antepé na topografia das cabeças dos metatarsais aumenta na fase de apoio nos dois grupos, sem diferenças entre eles.

Doty e Coughlin⁵³, em 2013, revisam a literatura para esclarecer a relação entre o hálux valgo e a instabilidade do 1° raio. Afirmam que o aumento da mobilidade da 1ª articulação tarsometatarsal no plano coronal é necessária para haver deformidade do hálux, mas não no plano sagital. Julgam que este aumento da mobilidade neste último plano é consequência da deformidade do 1° dedo.

Dietze et al.⁵⁴, em 2013, em um estudo descritivo, avaliam 8 pacientes com hálux valgo, em relação à instabilidade da 1ª articulação tarsometatarsal, com estudos radiocinemáticos e pressóricos. Utilizam a fluoroscopia de forma contínua acompanhando a marcha do paciente sobre uma prancha de sensores de pressão, correlacionando a pressão plantar com a mobilidade do 1º raio.

Dietze et al.⁵⁴ (2013) correlacionam a maior mobilidade da 1ª articulação tarsometatarsal com aumento da pressão sob 2º, 3º e 4º metatarsais. Complementando os achados, evidenciam que quanto maior a mobilidade do 1º raio, menor é a pressão sob a cabeça do 1º metatarsal.

Dayton et al.⁵⁵, em uma revisão literária de 2015, discutem a associação da pronação do 1º metatarsal com a deformidade em valgo do hálux. Concluem que a rotação do metatarsal está associada a deformidade.

Shibuya et al.⁵⁶, em 2017, publicam uma revisão sistemática, avaliando a mobilidade da 1ª articulação tarsometatarsal em pacientes com e sem hálux valgo. Encontram apenas 3 estudos que preenchem seus critérios, todos aferindo a mobilidade com o dispositivo de Klaue et al.⁵⁷ (1994). Mostram que pacientes com hálux valgo tem maior mobilidade dessa articulação.

3.2 Controvérsias sobre o alinhamento das cabeças metatarsais no plano coronal

Morton⁴³, em 1935, afirma em seu livro que um terço da pressão sob o antepé fica concentrado no 1º metatarsal, enquanto os laterais dividem igualmente os dois terços restantes. Considera que a cabeça dos quatro

metatarsais laterais estão alinhadas em relação ao solo com os sesamóides no plano coronal.

Lelièvre²³, em 1970, segue o conceito de distribuição de carga de Morton⁴³, mas acredita que exista um arco transversal distal com ápice entre os 2° e 3° metatarsais, considerando que as partes moles plantares intermediam o apoio entre as cabeças dos metatarsais centrais com o solo.

Viladot²⁴, em seu livro de 2003, reafirma o conceito da manutenção da posição relativa do pé através dos arcos, considerando sua mobilidade durante os diversos momentos da fase de apoio, utilizando o conceito de distribuição de carga do Morton⁴³. Viladot²⁴ divide o pé com carga no plano sagital entre os cinco raios com diferentes angulações em relação ao solo, de forma que o primeiro raio se angula entre 18° e 25°, o segundo raio 15°, o terceiro 10°, o quarto 8° e o quinto menos de 5°, justificando a presença de um arco de ápice dorsal no plano coronal na topografia das cabeças dos metatarsais.

Kanatli et al.⁴, em 2003, avaliam 16 indivíduos sem patologia nos pés, com 24,5 anos de idade média, quantificando a média de pressão plantar na fase do apoio. Observam os maiores valores aferidos sob as cabeças dos 2° e 3° metatarsais, com diferença significativa em relação as demais cabeças, sem diferenças entre os sexos. Afirmam que as cabeças dos metatarsais não podem estar dispostas em forma de arco.

Weijers et al.⁹, em 2005, em um estudo descritivo com 10 indivíduos sem patologia nos pés, com 34 anos de média de idade, aferem a pressão plantar no antepé nos diferentes momentos da fase de apoio, associando a uma avaliação tomográfica. Estabelecem conceitos objetivos para investigar a importância das partes moles na distribuição de carga plantar, como a indentação, definida pela

diferença da espessura das estruturas moles plantares entre os momentos sem e com carga. Definem “strain” como uma porcentagem obtida pela razão entre a indentação e a espessura total das partes moles plantares sem carga. Mostraram que os três raios centrais se posicionam mais superiormente que os 1° (considerando os sesamóides) e o 5° raios, nas situações com e sem carga, de modo que haja mais partes moles sob eles. O estudo evidencia que o “strain” das partes moles dos 2° e 3° metatarsais é maior ($2 > 3 > 5 > 1 > 4$), e a absorção da energia pelas estruturas moles plantares seguiu o fluxo $2 > 1 > 3 > 4 > 5$.

Weijers et al.⁹ ainda comparam a altura das cabeças dos metatarsais no plano coronal com as áreas de maior indentação e “strain”. Observam uma correlação, provavelmente por necessitarem absorver mais carga e de um coxim de partes moles mais volumoso para tal efeito. Os autores ressaltam que os raios submetidos a mais carga, tem um coxim de partes moles mais espesso sob suas cabeças, fato que pode representar uma adaptação à marcha bípede humana, proporcionando uma disposição em arco.

Weijers et al.⁹ sugerem que a pressão plantar indica a quantidade de força de reação do solo distribuída na área de contato, dependendo de estruturas que auxiliam no suporte da carga, como cápsulas, ligamentos e fâscias, além da espessura da região e da área da superfície sobrecarregada. Logo não necessariamente vai haver uma relação fixa entre a pressão aferida e a forma geométrica da disposição das cabeças dos metatarsais no plano coronal.

Griffin e Richmond²¹, em 2005, em um estudo anatômico com cortes transversos tomográficos do terço médio das diáfises dos metatarsais, avaliam indiretamente suas propriedades de força e flexibilidade. Os autores observam que os 2° e 3° metatarsais são estruturalmente mais fracos do que se esperaria,

comparando com a pressão e corte seccional dos demais metatarsais. Sugerem que o maior volume de partes moles sob as cabeças dos 2° e 3° metatarsais, pode auxiliar na dissipação do peso, distribuindo melhor a carga e a pressão.

3.2.1 Estudos ultrassonográficos do plano coronal

Bygrave e Betts¹, em 1993, em um estudo observacional com 12 indivíduos (24 pés) de 33 anos de idade média, sem sinais ou sintomas de patologias nos pés, fazem a hipótese de que as cabeças dos metatarsais se dispõem em forma de arco quando estão sem carga e permanecem em linha com a carga. Avaliam os indivíduos através de estudo ultrassonográfico nessas duas situações, aferindo a distância da epiderme plantar para o ponto mais plantar das cabeças dos metatarsais e dos sesamóides. O estudo mostra, considerando os sesamóides como as estruturas de carga mais plantares do 1° raio, que o antepé forma um arco no plano coronal com as cabeças dos 1° e 5° metatarsais próximas a pele, tanto com carga, quanto sem carga. A diferença observada entre essas duas situações foi atribuída à espessura da cobertura de partes moles plantares.

Daentzer et al.¹⁰, em 1997, em um estudo descritivo, selecionam 50 indivíduos sem patologias nos pés, com idade variando de 10 a 71 anos (média de 32,1 anos). Com o auxílio do exame ultrassonográfico, com o transdutor posicionado transversalmente no dorso do pé, avaliam a disposição das cabeças dos metatarsais durante a carga. Complementam o estudo com uma plataforma de pressão medindo a distribuição do pico de pressão no antepé durante a

marcha. Os autores evidenciam que o pico de carga se encontra nos raios centrais, principalmente sob o 3º metatarsal e que as cabeças se posicionam em linha paralela ao solo, concluindo que essa é a disposição fisiológica.

Wang et al.⁸, em 1999, em um estudo descritivo ultrassonográfico, avaliam as propriedades biomecânicas relacionadas à distribuição de carga nas partes moles plantares do antepé. Selecionam 20 indivíduos, sem patologias no pé, de 17 a 44 anos, posicionando-os em decúbito ventral, com os joelhos e tornozelos a 90° de forma rígida. O transdutor do ultrassom foi posicionado longitudinalmente em relação a face plantar dos metatarsais, aferindo a distância da epiderme até o ponto mais plantar das cabeças, em situações que apresentavam aumento progressivo da pressão (de 0 Kg/cm² até 0,598 Kg/cm²).

Wang et al.⁸ medem como parâmetros as espessuras de partes moles sob as cabeças dos metatarsais nas diferentes situações de pressão, o índice de compressibilidade (razão entre a espessura com carga e sem carga), o módulo elástico (“strain”) e a energia dissipada. Os autores incluem os sesamóides junto com os tecidos moles para calcular o volume plantar sob o 1º metatarsal.

Como resultado, Wang et al.⁸ observam que as cabeças dos metatarsais apresentam-se alinhadas, porém de forma oblíqua, sendo a 1ª mais alta do que a 5ª, com a única relação não significativa estatisticamente entre o 4º e o 5º metatarsais. O índice de compressibilidade responde de forma não linear à pressão, com uma inclinação ascendente abrupta, denotando um provável limite das estruturas moles, o 1º metatarsal obteve o maior índice e o 3º o menor. A dissipação de energia é maior sob o 5º metatarsal, seguido pelo 3º, 2º, 1º e 4º. Após avaliação com uma análise regressiva, observam que a compressibilidade diminui com a idade. Os autores ressaltam que há diferentes espessuras de

partes moles sob as cabeças metatarsais e com propriedades diferentes sob cada raio.

Wang et al.³³, em 2003, propõem um estudo descritivo ultrassonográfico para avaliar o alinhamento das cabeças dos metatarsais com e sem carga. Selecionam 25 voluntários, sem patologias nos pés, com idade média de 31 anos, executando o exame de imagem em duas situações, sem carga e com apoio bipodálico, em uma plataforma de acrílico sobre o transdutor. Observam que as cabeças se dispõem de forma linear, com o 1º metatarsal mais alto que o 5º nas duas situações, com a diferença de apresentarem uma altura menor quando submetidos a carga.

3.2.2 Estudos radiográficos do plano coronal

Chang et al.²⁹, em 1984, discutem em um estudo caso-controle as diversas tentativas anteriores de avaliar o posicionamento das cabeças metatarsais com estudos radiográficos, criticando-os por serem métodos estáticos, sem carga fisiológica e com hiperextensão das articulações metatarsofalângicas, mostrando resultados que não reproduzem a realidade. Com o objetivo de criar uma forma de avaliar a disposição das cabeças dos metatarsais com carga no plano coronal, os autores selecionam 50 indivíduos sem patologias nos pés e 46 pacientes com dor ou calosidade sob os metatarsais, com média de idade de 42,9 anos (13 a 73 anos). Realizam uma radiografia com carga com o pé apoiando toda a região plantar sobre um bloco de madeira e o joelho fletido 30°. O bloco contém um vale na porção central, de modo a posicionar os dedos em

extensão, evitando a sobreposição de imagem. O filme foi justaposto à porção anterior do bloco com a ampola a uma distância de 30 cm do calcâneo. Os raios incidem paralelos ao solo com 72 kV e 200 mA.

Após a obtenção da imagem axial do antepé, Chang et al.²⁹ traçam uma linha unindo os pontos mais plantares formados pelas cabeças metatarsais e aferem a distância do ponto mais inferior da cabeça do 2º à linha, comparando-a entre os grupos. Observam que os homens com pés normais apresentam uma diferença de altura de 0,4 cm a 1,1 cm (0,6 cm de média) e as mulheres variam de 0,3 cm a 1,2 cm (0,65 cm de média). Nos pés com metatarsalgia, os homens variam de 0 cm a 0,9 cm (média de 0,3 cm) e as mulheres de 0 cm a 0,4 cm (0,26 cm de média). A diferença de altura entre os casos e controles do mesmo sexo apresentam significância estatística, apesar dos autores não comentarem a diferença entre os sexos. Afirmam que as cabeças dos metatarsais dispõem-se em forma de arco com ápice dorsal, nos pés com e sem patologia.

Kuwano et al.⁵⁸, em 2002, em um estudo caso-controle, descrevem uma metodologia para a avaliação do desvio rotacional dos sesamóides no plano coronal, permitindo a visualização dos metatarsais laterais. Desenvolvem um bloco em acrílico com uma depressão na altura das cabeças dos metatarsais, com um salto de 15° no retropé e uma elevação de 30°, em relação ao apoio, para a extensão das articulações metatarsofalângicas. As arestas das bases de cada uma das duas rampas apresentam contato direto. Os pacientes são posicionados com carga bipodálica sobre o bloco, com os joelhos estendidos. O filme permanece justaposto à parte anterior do dispositivo e a ampola a 130 cm do filme, com os raios incidindo paralelos ao solo, foco no centro entre os pés, com 40 kV e 7 mA.

Suzuki et al.³⁰, em 2004, propõem um estudo caso-controle com objetivo de avaliar a relação entre o hálux valgo e a posição das cabeças dos metatarsais laterais. Desenvolvem uma técnica radiográfica axial do antepé com carga, comparando 59 pés de pacientes entre 12 a 77 anos (media 50 anos) com hálux valgo, com 51 pés de indivíduos sem patologias nos pés de 20 a 59 anos (media 30 anos). Constroem uma plataforma com uma rampa de inclinação anterior para o antepé de 10° e outra de inclinação posterior de 20° para o retropé, em contato direto. O filme radiográfico é colocado perpendicular ao solo na porção anterior do dispositivo e os raios incidem de forma paralela ao solo a uma distância de 1 m do filme, com o paciente posicionado com carga bipodálica. Os autores optam por esse posicionamento por reproduzir o momento do desprendimento do pé, quando o antepé está submetido a maior pressão. Eles mantêm as articulações metatarsofalângicas com 30° de extensão para posicionar de forma mais fisiológica, evitando a depressão exagerada das cabeças metatarsais pelo efeito molinete.

Entre os indivíduos normais do estudo de Suzuki et al.³⁰, o 5º metatarsal é o mais alto seguido pelo 1º. Apesar do 2º estar mais elevado que o 3º, não há diferença relevante entre o 2º, 3º e 4º em relação à altura no plano coronal. Os sesamóides, principalmente o tibial estão mais plantares. Os autores afirmam que as cabeças dos metatarsais não estão dispostas em linha no plano coronal, quando os pés de indivíduos normais estão submetidos a carga.

Osher et al.³¹, em 2008, descrevem em uma série de casos, o uso de outra técnica radiográfica para a avaliação do alinhamento das cabeças metatarsais no plano coronal. Eles utilizam um dispositivo comercial fabricado em plástico (Gill Podiatry Supply & Equipment Co, Midleburg Heights, Ohio), com uma

elevação anterior para estender os dedos, mantendo o contato do antepé, com o tornozelo em um equino de 35° a 45°. O filme radiográfico é posicionado justaposto ao antepé, com os raios incidindo em sentido posteroanterior, de forma perpendicular ao filme e paralela à linha de apoio, com 65 kV e 15 mA. Concluem que o método complementa a avaliação, acrescentando um plano a mais.

Simonsen et al.⁷, em 2009, avaliam em um estudo transversal 134 indivíduos escolhidos aleatoriamente na Dinamarca, variando entre 18 a 68 anos, com média de 47 anos e dividindo-os em grupos de 10 anos. Cinquenta e dois por cento da amostra eram do sexo feminino, com 7% de metatarsalgia. Com o intuito de investigar as controvérsias sobre o alinhamento das cabeças dos metatarsais no plano coronal com carga, propõem um estudo radiográfico correlacionando as radiografias anteroposteriores e axiais do pé com carga.

Simonsen et al.⁷ desenvolvem um método radiográfico axial, consistindo em posicionar o paciente com carga sobre uma plataforma plana paralela ao solo, mantendo toda área plantar em contato e fletindo o joelho. O filme radiográfico permanece na borda lateral do pé, perpendicular ao solo, com os raios incidindo obliquamente em 20° em relação ao plano do filme, obtendo uma imagem axial oblíqua do antepé, evitando a sobreposição das falanges. Unindo o ponto mais plantar dos sesamóides com a cabeça do 5º metatarsal, criam uma linha a partir da qual aferem as distâncias das cabeças dos metatarsais centrais. Observam coeficientes de reprodutibilidade intra e interobservadores de 0,72 a 0,7, respectivamente.

Simonsen et al.⁷ ainda evidenciam que a cabeça do 2º metatarsal posiciona-se mais dorsal que a do 3º e este, mais dorsal que a do 4º, formando

um arco, com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$), porém sem diferenças entre sexo, idade ou nos 9 indivíduos com metatarsalgia.

Saowaprut et al.⁵⁹, em 2009, em um estudo descritivo prospectivo, avaliam 100 mulheres tailandesas, entre 20 e 40 anos, sem patologias nos pés, com o objetivo de descrever os valores normais das angulações do 1º raio, nos planos coronal e axial, comparando-os com pacientes com hálux valgo. Descrevem um novo método de avaliação axial dos sesamóides com carga, o qual permite visualizar as cabeças dos metatarsais laterais. Com o auxílio de um bloco formado por duas rampas, uma elevando o antepé e outra o retropé sem mencionar suas respectivas angulações, posicionam o paciente com o joelho estendido e com carga. De modo semelhante às técnicas anteriores, o filme é colocado perpendicularmente na porção anterior do bloco e os raios incidem paralelos ao solo, distando 1 m do filme.

Mortier et al.⁶⁰, em 2012, realizam um estudo radiográfico em 100 pacientes com hálux valgo, utilizando uma técnica radiográfica axial, para avaliar a pronação da cabeça do 1º metatarsal e a posição dos sesamóides. Discutem a importância de elevar o calcâneo e as articulações metatarsofalângicas para evitar a sobreposição das imagens. Evidenciam uma associação da deformidade em valgo do hálux com a pronação do 1º metatarsal e instabilidade da 1ª articulação tarsometatarsal.

3.3 Estudos radiográficos do plano axial

Hardy e Clapham⁴², em 1951, propõem um estudo caso-controle para comparar as diferenças dos parâmetros radiográficos dos pés com cargas em 89 pacientes com hálux valgo, entre 20 a 66 anos, com 124 voluntários sem hálux valgo, com idade entre 16 a 65 anos. Os autores desenvolvem uma forma de aferir o comprimento relativo entre os 2º e 1º metatarsais (“Protrusão Metatarsal Relativa”), desenhando uma linha que une o ponto mais proximal da tuberosidade do navicular com a articulação proximal do cubóide. O ponto de intersecção desta linha com o eixo longitudinal do 2º metatarsal é usado como referência para traçar duas circunferências, a primeira com o raio até o ápice da cabeça do 2º metatarsal e a outra ao ápice do 1º. A diferença entre os raios era considerada a protrusão relativa.

Hardy e Clapham⁴² comparam essa diferença de comprimentos e concluem que o 1º metatarsal é normalmente mais longo, sendo maior nos casos com hálux valgo.

Coughlin⁴¹, em 1987, estuda retrospectivamente 18 pés com deformidade do 2º dedo em extensão e adução, sendo 14 femininos, com média de idade de 60 anos, avaliando a evolução cirúrgica. Um dos parâmetros utilizados foi a radiografia anteroposterior dos pés com carga, com a qual o autor descreve um novo método de aferição dos comprimentos relativos dos 1º, 2º e 3º metatarsais, criando uma linha que une os pontos mais distais das cabeças dos 1º e 3º metatarsais, medindo a distância entre o ápice da cabeça do 2º a partir da linha. Noventa por cento da amostra apresenta uma distância de média de 4 mm.

Maestro et al.³⁷, em 2003, em seu estudo radiográfico, afirmam que a projeção radiográfica distorce as dimensões absolutas dos metatarsais, propondo um método de aferição relativa dos seus comprimentos com o intuito de estabelecer parâmetros objetivos para a reconstrução da fórmula na metatarsalgia, a partir de uma metodologia radiográfica padronizada.

A avaliação radiográfica proposta por Maestro et al.³⁷, compara 164 pés divididos em dois grupos. O primeiro constituído de 80 pés com hálux rígido ou hálux valgo, com 52,2 anos idade de média e o segundo com 84 pés sem patologias, com 40,4 anos de média. São submetidos a radiografias anteroposteriores com carga, com os pés sobre o filme. A ampola radiográfica posiciona-se com uma inclinação de 15° com a perpendicular e a 1 m de distância do filme.

Utilizando o conceito de Lelièvre⁴⁰, de que a cabeça do 2º metatarsal e o sesamóide lateral são as estruturas com as posições mais fixas do antepé durante a marcha, Maestro et al.³⁷ definem seus parâmetros. Dessa forma, identificam 2 padrões principais:

- Harmônico:

O comprimento dos metatarsais laterais decresce do 2º para o 5º em uma progressão geométrica de razão 2, com uma variabilidade de 20% (representa em termos absolutas uma variação de 1mm para M2-M3 e M3-M4 e 2mm para M4-M5).

- Não Harmônicos:

- M2 e/ou M3 longos;
- Relação M4-M5 curta;
- M1 longo.

Maestro et al.³⁷ observam que o comprimento do 1º metatarsal varia 10 mm ao redor do ápice do 2º, considerando patológico um aumento maior que 3 mm, ou encurtamento maior que 7 mm. Nesse estudo apenas 48% dos pés apresentam simetria.

No grupo patológico, Maestro et al.³⁷ descrevem um grande aumento da proporção dos tipos não harmônicos, chegando a 96,9% nos pacientes com hálux rígidos e 86% nos pacientes com hálux valgo. Já no grupo normal encontram 31% de pés harmônicos.

Maestro et al.³⁷ citam que a reprodutibilidade intra e interobservador é excelente, com variação absoluta de 1 a 0,5 mm.

Ainda no artigo de 2003 de Maestro et al.³⁷, os autores sugerem que a correção cirúrgica da fórmula metatarsal no plano axial deve ter como objetivos recriar o padrão harmônico, com a linha SM4 passando pelo terço central da cabeça do 4º metatarsal, com o M1 de mesma altura ou menor que o M2, mantendo a parábola decrescente do M2 ao M5 na progressão geométrica de razão 2.

Fuhrmann et al.⁴⁴, em 2003, avaliam em um estudo descritivo prospectivo, 99 pacientes (72% mulheres) com hálux valgo, com idade média de 56 anos. O objetivo é observar a diferença entre as radiografias anteroposteriores com e sem carga do pé, através da quantificação dos ângulos de hálux valgo, entre o 1º e 2º metatarsais e entre o 1º e 5º. Os valores no grupo com carga são todos maiores. Os autores concluem que o exame com carga é mais adequado para reproduzir a posição fisiológica relativa dos ossos do pé.

Kaz e Coughlin⁶¹, em 2007, em uma série de casos retrospectiva, selecionam 169 pacientes com deformidade em extensão e adução do 2º dedo

do pé, chamada por eles de “crossover”. Avaliam radiografias anteroposteriores com carga, em 146 mulheres e 23 homens, com média de idade de 59 anos. Entre os parâmetros comparados, eles utilizam a medida do comprimento relativo dos 1º, 2º e 3º metatarsais, através da técnica de Hardy e Clapham⁴² modificada pelos autores, por associar a medida do 3º. Nessa amostra apenas 44% dos pés contêm um 2º metatarsal mais comprido que o 1º, levando os autores a concluírem que o maior comprimento do 2º não está relacionado com a deformidade estudada.

Deleu et al.²², em 2010, em um estudo descritivo, ressaltam a dificuldade de planejar uma osteotomia corretiva dos metatarsais sem parâmetros definidos, enfatizando a importância do estudo do Maestro et al.³⁷. Com o intuito de quantificar a reprodutibilidade do método radiográfico de Maestro et al.³⁷, os autores avaliam 73 pacientes belgas, assintomáticos, dos quais 36 eram mulheres, com uma média de 30,4 anos de idade. As radiografias são avaliadas por dois cirurgiões de pé e tornozelo e em dois momentos diferentes, de modo que cada avaliador fez duas medidas de cada pé, permitindo o cálculo dos coeficientes de correlação intra e interobservadores. Há uma correlação de 92,6% da distribuição dos tipos morfológicos dos pés entre os dois observadores, com coeficientes de correlação intraclassas maior que 0,9.

Em relação à distribuição dos tipos morfológicos no estudo de Deleu et al.²², evidenciam que 25,3% são harmônicos, 4,1% com o 1º metatarsal longo, 2,7% com o 1º curto, 15,1% com M2M3 longo e 52,8% contêm uma hipoplasia de M4M5. Esses valores são diferentes dos obtidos por Maestro et al.³⁷, e os autores atribuem esse fato a maior amostra desse estudo e a possíveis

diferenças étnicas. Concluem que o método é reprodutível e preciso, sendo um bom guia no auxílio das reconstruções da fórmula metatarsal no plano axial.

Barroco et al.⁶², em 2011, avaliam em um estudo transversal a fórmula metatarsal em 332 pés não patológicos, em grupos divididos igualmente entre os sexos. Propõem uma nova metodologia radiográfica anteroposterior com carga para aferir o comprimento dos metatarsais. Evidenciam uma simetria dessas medidas em relação à lateralidade. A média dos comprimentos dos metatarsais do estudo forma uma curva na qual $M1 < M2 > M3 > M4 > M5$, com os pés dos indivíduos masculinos apresentando metatarsais mais compridos.

Chauhan et al.⁶³, em 2011, propõem uma comparação entre três métodos de aferição da fórmula metatarsal no plano axial, Maestro et al.³⁷, Coughlin⁴¹, Hardy e Clapham⁴². Avaliam radiograficamente 81 pés de adultos, com 56,9 anos de idade média, com 4,5 mulheres:1 homem. Dois cirurgiões de pé e tornozelo quantificam a reprodutibilidade intra e interobservadores. O método de Coughlin⁴¹ identifica os maiores comprimentos relativos do 2º metatarsal e o de Hardy e Clapham⁴² o menor. O coeficiente de avaliação intra e interobservador são maiores para o método de Coughlin⁴¹, seguido pelo de Maestro et al.³⁷. Concluem que há discordância entre a fórmula metatarsal dos três métodos, questionando qual seria o parâmetro mais adequado para planejar uma osteotomia metatarsal.

Arie et al.⁶⁴, em 2015, realizam um estudo transversal, para avaliar a fórmula metatarsal no plano axial de pés com carga, em um grupo com metatarsalgia e outro sem. Comparam as técnicas de aferição de Morton⁴³ com Hardy e Clapham⁴². Mostram que esses métodos provêm medidas diferentes para o mesmo pé, de modo que a fórmula metatarsal se altera com a escolha do

método. A diferença de comprimento, com $M2 > M1$, estava presente nos dois grupos, porém maior no grupo sem metatarsalgia, resultado diferente do esperado pela literatura.

Slullitel et al.⁶⁵, em 2016, avaliam em um estudo transversal 184 pés de pacientes com hálux valgo, divididos em um grupo com metatarsalgia e outro sem. Estudam parâmetros radiográficos (conforme o método de Hardy e Clapham⁴²) e clínicos. Afirmam não haver relação da instabilidade do 1º raio com a metatarsalgia, já que não há diferença entre seus grupos em relação às mensurações radiográficas do hálux valgo.

Slullitel et al.⁶⁵ demonstram associação da metatarsalgia com encurtamento do tríceps sural, peso corporal e deformidade dos dedos menores. Questionam a teoria relacionando a metatarsalgia com o alongamento dos metatarsais centrais, uma vez que encontraram mais patologia em pés com 1º metatarsais iguais ou maiores que o segundo. Sugerem que alterações motoras e do coxim plantar e motoras podem ser mais relevantes do que é suposto.

3.4 Aplicação dos achados radiográficos nas osteotomias corretivas dos metatarsais

Schuh e Trnka³⁸, em 2011, em um artigo de revisão, afirmam que em 50% da marcha o antepé está em contato com o solo, relacionando as metatarsalgias mecânicas aos comprimentos relativos dos metatarsais. Afirmam que o restabelecimento da distribuição adequada de carga no antepé, através de

encurtamentos e/ou elevações dos metatarsais formam os princípios das osteotomias metatarsais.

Schuh e Trnka³⁸ descrevem a osteotomia de Weil criada em 1985, citando Barouk* como difusor da técnica, afirmando que a deformidade em extensão dos dedos, “floating toe”, e a rigidez articular são as complicações mais comuns, seguidas de recidiva da metatarsalgia pelo deslocamento plantar da cabeça ou encurtamento insuficiente e metatarsalgia de transferência por um encurtamento excessivo.

Highlander et al.⁴⁷, em 2011, em uma revisão sistemática, com 17 artigos avaliam os possíveis fatores predisponentes às complicações da cirurgia de Weil. Mostram uma incidência de recorrência de metatarsalgia em 15% das 1131 cirurgias da revisão e metatarsalgia de transferência em 7%. Os autores atribuem esses resultados a um possível posicionamento mais plantar das cabeças dos metatarsais no plano coronal no momento da translação proximal.

Snyder et al.⁶⁶, em 2005, com um estudo experimental em cadáveres, avaliam a distribuição de carga e pressão plantares em 12 pés sem patologias, antes e após as osteotomias de Weil e Chevron dos 2º e 3º metatarsais. Cada tipo de osteotomia é realizada em 6 pés, em 2 momentos diferentes, inicialmente apenas no 2º MTT e depois associando o 3º. Os autores mostram que a osteotomia de Weil diminui a área de contato sob a cabeça do metatarsal osteotomizado e evidenciam que no procedimento isolado do 2º MTT a pressão sob a área de contato das 5 cabeças não diminui. Adicionado a osteotomia do 3º MTT observam um aumento pressórico sob a cabeça do 3ºMTT.

* Barouk LS. Weil's metatarsal osteotomy in the treatment of metatarsalgia. *Orthopade*. 1996;25(4):338-44.

Nas duas situações do estudo de Snyder et al.⁶⁶, não há diminuição da carga sob as cabeças dos 1º, 2º, 3º, 4º e 5º metatarsais, após a osteotomia de Weil. Os autores discutem que esses resultados não dão suporte a teoria de que a diminuição da pressão sob uma cabeça específica diminuiria a metatarsalgia.

Devos Bevernage e Leemrijse⁴⁵, em 2008, questionam em uma série de casos retrospectiva, a efetividade da reconstrução da fórmula metatarsal no plano axial seguindo os conceitos de Maestro et al.³⁷. São selecionados 63 pacientes com metatarsalgia não responsiva ao tratamento conservador, sendo 58 homens, com 56,6 anos de idade média e um acompanhamento de 23,9 meses em média. As cirurgias são executadas seguindo os conceitos de alinhamento de Maestro et al.³⁷. Apenas 23% dos pacientes apresentam radiografia pós-operatória com todos os critérios do tipo harmônico. Quinze por cento da amostra evolui com recidiva da metatarsalgia ou metatarsalgia de transferência, não estabelecendo correlação estatística ($p > 0,05$) da evolução clínica com o restabelecimento da fórmula metatarsal matematicamente harmônica.

Devos Bevernage e Leemrijse⁴⁵ discutem que os parâmetros de Maestro et al.³⁷ formam um bom ponto de partida para iniciar o planejamento cirúrgico, porém outros fatores devem influenciar a evolução, entre eles a disposição das cabeças dos metatarsais no plano coronal.

Kaipel et al.³, em 2011, propõem um estudo clínico prospectivo comparando dois grupos de pacientes sem deformidades ou rigidez do retropé, um com metatarsalgia e outro sem metatarsalgia.

Os casos do estudo de Kaipel et al.³ são compostos por 51 pés, com mais de 4 semanas de sintomas, 53,6 anos de média de idade. Os controles também

contêm 51 pés, com 52,2 anos de média. Todos são avaliados em uma plataforma de pressão, medindo os picos máximos de pressão durante a marcha e com radiografias em frente e perfil. Na radiografia anteroposterior as distâncias dos 1º e 3º metatarsais são medidas em relação ao 2º.

O estudo de Kaipel et al.³ não mostra correlação entre os diversos comprimentos dos metatarsais com os picos de pressão entre os grupos. Os autores discutem que os pacientes com dor modificam o padrão de marcha, o que pode alterar a distribuição de pressão que levou à metatarsalgia. Os autores observam maior flexão no plano sagital dos raios acometidos nos casos, o que pode corresponder a um padrão de alinhamento plantar das cabeças no plano coronal.

Kaipel et al.³ concluem o artigo questionando o papel das osteotomias de encurtamento para realinhar a fórmula metatarsal, já que não evidenciaram correlação dos comprimentos com a distribuição de pressão.

Khurana et al.⁵, em 2011, em um estudo retrospectivo avaliam 86 pés de pacientes entre 14 e 79 anos (média de 53,4 anos) que passaram pela osteotomia articular oblíqua de encurtamento de Weil, com evolução de 12 a 47 meses (média de 31 meses). No artigo, os autores questionam a acurácia do uso isolado da radiografia anteroposterior do pé com carga para planejar a correção cirúrgica, propondo correlacionar o alinhamento pós-operatório das cabeças dos metatarsais no plano coronal, com a podobarometria e evolução clínica. A avaliação radiográfica axial do antepé (“Metatarsal Skyline View”) é realizada com carga, posicionando o pé em equino não quantificado, com os raios incidindo no sentido posteroanterior com angulação caudal de 20°. Consideram

anormal qualquer cabeça que estiver plantar a linha formada pela união dos pontos mais plantares das cabeças dos 1º e 5º metatarsais

Todos os 86 pés do estudo de Khurana et al.⁵, obtêm a harmonização preconizada da fórmula metatarsal no plano axial, mas sete evoluem com proeminência plantar da cabeça de algum metatarsal central, sendo seis desses com recidiva da dor, calosidades plantares e aumento de pressão na podobarometria ($p < 0,009$). Concluem que a proeminência plantar das cabeças dos metatarsais centrais é fator predisponente para a recidiva da metatarsalgia, de modo que a avaliação isolada no plano axial do pé é insuficiente, necessitando da complementação do plano coronal.

Menz et al.⁶⁷, em 2013, em um estudo transversal, avaliam 118 pacientes entre 65 e 91 anos (média de 74 anos), deambuladores, dividindo-os em dois grupos, um com dor na região plantar do antepé e outro sem dor. Radiografias anteroposteriores com carga são obtidas e aferidas com os métodos de Maestro et al.³⁷ e Coughlin⁴¹. O pico de pressão é medido de forma dinâmica durante a marcha em uma prancha de pressão.

Menz et al.⁶⁷ observam que os pacientes com metatarsalgia apresentam picos de pressão mais elevados sob as cabeças dos 3º ao 5º metatarsais e uma correlação negativa entre o comprimento dos 3º ao 5º metatarsais com o pico de pressão aferido (quanto menor o comprimento maior a pressão).

Menz et al.⁶⁷ concluem que o maior comprimento dos metatarsais no plano axial não está correlacionado com maior pico de pressão, questionando a forma como a cirurgia de Weil funciona, já que a literatura mostra bons resultados. Os autores atribuem esse fato a uma ascensão da cabeça no plano coronal associada ao encurtamento axial, sugerindo novos estudos.

Trask et al.⁶⁸, em 2014, em um estudo experimental em cadáveres, utiliza 8 pares de pés com tornozelos adaptados a uma plataforma de pressão associada a um robô simulando a marcha. Os autores avaliam as mudanças no padrão de pressão sob a cabeça do 2º metatarsal, após 2 tipos de osteotomias diafisárias de encurtamento e deslizamento nesse osso: uma no sentido distal dorsal para proximal plantar e outra no oposto. Concluem que as osteotomias diminuem a pressão sob a cabeça do 2º metatarsal e aumentam sob as cabeças dos 1º e 3º. A osteotomia proximal dorsal para distal plantar apresenta de forma mais evidente esse efeito, justificado pelos autores, pela ascensão associada ao encurtamento.

4 MÉTODOS

4 MÉTODOS

O projeto do estudo foi submetido à avaliação da Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa – CAPPesq, em 28 de outubro de 2014, com registro número 13000, aprovado em 08 de abril de 2015 (**Anexo A**).

A Comissão Científica do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, aprovou o protocolo de pesquisa identificado como número 1095, em 26 de novembro de 2014 (**Anexo B**).

4.1 Seleção dos participantes

Os pacientes foram recrutados aleatoriamente no Pronto Socorro do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (IOT-HC-FMUSP) e no ambulatório do Grupo de Pé e Tornozelo do IOT-HC-FMUSP, respeitando os critérios de inclusão e exclusão.

Os pacientes foram orientados sobre o projeto de pesquisa e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (**Anexo C**) foi explicado e aplicado. Pacientes que não aceitaram o termo não foram incluídos no estudo.

Uma avaliação clínica inicial foi realizada, buscando queixas específicas plantares no antepé e deformidades proximais.

Não foram incluídos no estudo indivíduos com deformidades rígidas no mediopé, retropé e tornozelo, pacientes com cirurgias ou fraturas prévias no pé, doenças reumatológicas e causas de metatarsalgia secundária (tumor no antepé, doença de Freiberg, corpo estranho, infecção e neuroma de Morton não associado a distúrbio mecânico), além de síndromes osteoneuromusculares, amputações unilaterais do membro inferior, pacientes não deambuladores e alinhamentos do retropé considerados anormais ao exame físico (valgo e varo).

Foram incluídos pacientes entre 30 e 65 anos de idade, sem restrições ao sexo ou raça.

Iniciamos com um estudo piloto com 35 indivíduos, participando com 70 pés, seguindo os mesmos critérios de inclusão e exclusão, totalizando 63 pés nessa fase, para a avaliação e adequação da metodologia radiográfica axial.

Posteriormente, selecionamos outros 106 indivíduos. Dessa forma montamos dois grupos com 53 pessoas (106 pés) em cada, com o objetivo de comparar suas projeções radiográficas nos planos coronal e axial.

No grupo com metatarsalgia (CM) incluímos apenas pacientes sintomáticos com metatarsalgia, por um tempo mínimo de seis meses, acometendo somente os raios centrais (2°, 3° ou 4° metatarsais, isolados ou associados).

O outro grupo foi composto de pessoas sem deformidades nos membros inferiores, inclusive no antepé, sem calosidades ou dor, sendo denominado grupo sem metatarsalgia (SM).

Os indivíduos também foram avaliados em relação ao tamanho dos pés (numeração do calçado), peso, altura e IMC.

Todos os pacientes passaram por uma avaliação inicial, na qual foram investigados os sintomas relacionados à metatarsalgia e o tempo de duração,

assim como dados da história pregressa que possam levá-los a não inclusão no estudo.

O exame físico foi executado por um único ortopedista especialista em cirurgia do pé e tornozelo. Foi executado a palpação, inspeção estática e dinâmica em ortostase, buscando sinais de rigidez articular, deformidades e calosidades, além de localizá-las. O retropé foi avaliado clinicamente, sendo aceitos alinhamentos de 0° a 10° do calcâneo em relação ao eixo longitudinal da perna.

4.2 Avaliação radiográfica

Os indivíduos foram submetidos a duas radiografias, a axial com carga do antepé, avaliando o plano coronal e a anteroposterior do pé com carga, investigando o plano axial.

Na radiografia axial do antepé com carga, o paciente foi posicionado em ortostase, conferindo carga no antepé com o tornozelo em 20° de flexão plantar e 10° de extensão das articulações metatarsofalângicas, com o pé apoiado em um suporte moldado em madeira. O tubo foi posicionado posterior ao calcâneo, de forma que os raios incidiram de posterior para anterior paralelos ao plano horizontal de apoio, à 1 m do filme radiográfico. Cada pé foi radiografado isoladamente, de forma que o contralateral mantinha carga plantígrada (**Figura 1A, B e C**).

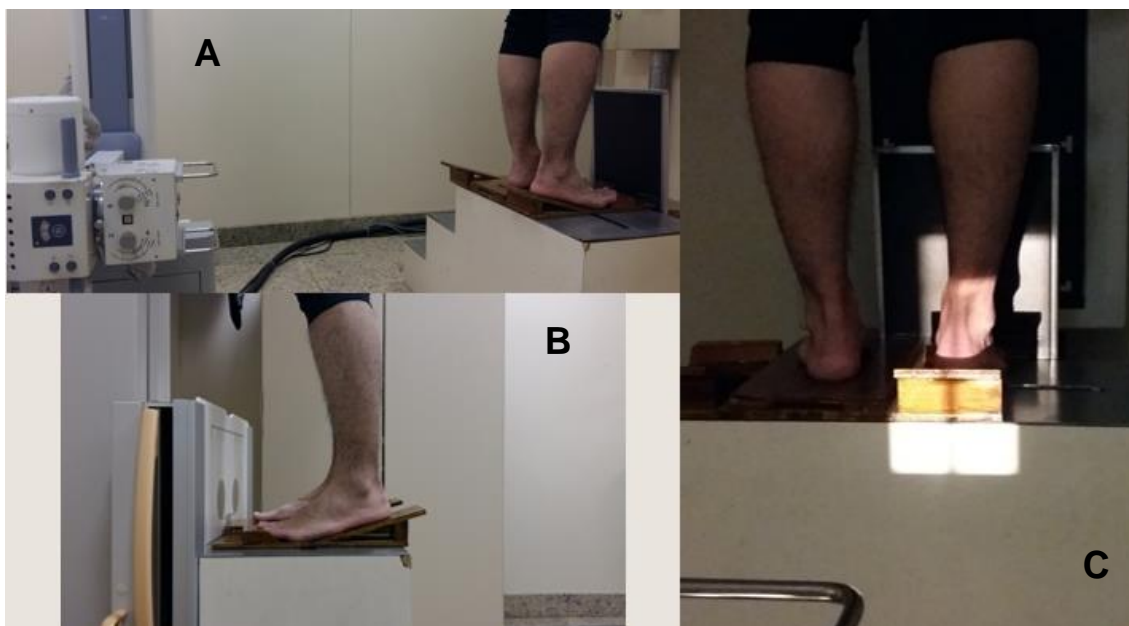


Figura 1A – Posicionamento do paciente para a aquisição da radiografia axial com carga do pé com a ampola à 1 m de distância do filme

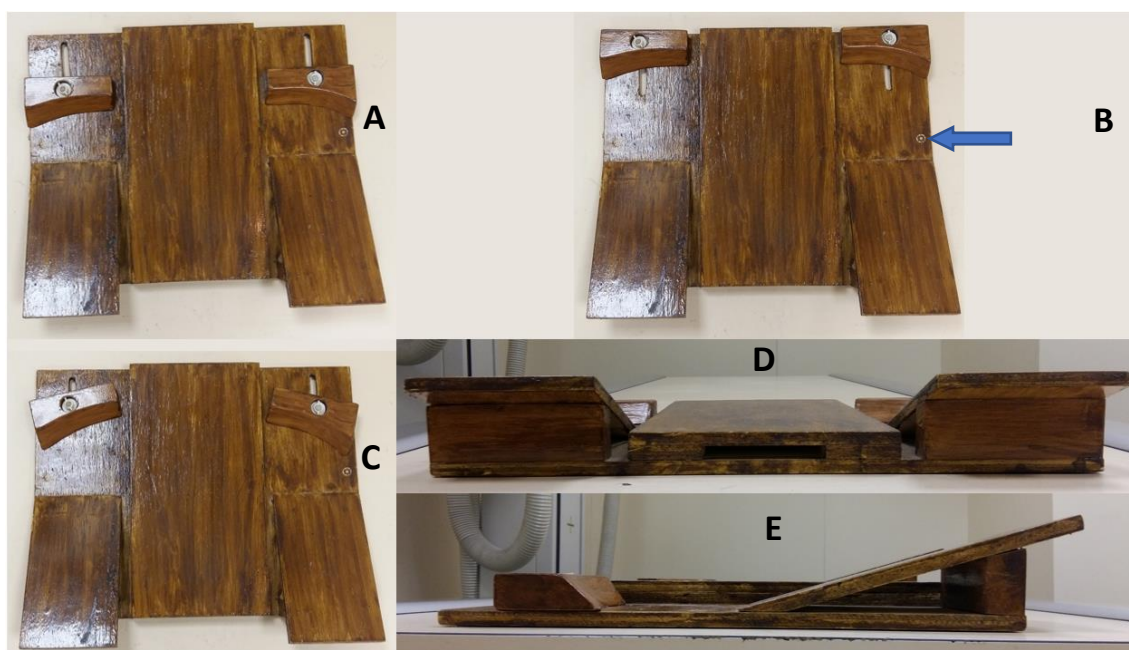
Figura 1B – Posicionamento do tornozelo em 20° de equino, com 10° de extensão dos dedos em relação ao apoio

Figura 1C – Área total radiografada

O dispositivo de madeira consistia em uma base retangular plana, com 45 cm de largura x 1 cm de altura x 35 cm de profundidade. No centro, um outro retângulo em madeira com 18 cm de largura x 2 cm de altura x 35 cm de profundidade foi colado, permitindo o apoio plantígrado do pé contralateral ao examinado. Em cada lado desse suporte duas rampas foram posicionadas. Uma fixa, que permita uma elevação posterior, posicionando o tornozelo em equino de 20°, e outra anterior móvel, estendendo todas as articulações metatarsofalângicas em 10°.

A rampa anterior se movimentava no sentido longitudinal dos pés, se distanciando ou aproximando das cabeças dos metatarsais, e rodando no plano axial.

Essa característica criou um espaço entre as duas rampas, permitindo que a região plantar sob as cabeças dos cinco metatarsais se apoiasse no mesmo plano. Para padronizar a posição do antepé nesse espaço foi desenhada uma marcação para o posicionamento da cabeça do 5º metatarsal (**Figura 2A, B, C, D e E**).



- Figura 2A** – Prancha de posicionamento da radiografia axial, vista superior com a rampa anterior na posição mais proximal
- Figura 2B** – Vista superior com a rampa anterior na posição mais distal. Seta azul indicando o posicionamento da cabeça do 5º metatarsal
- Figura 2C** – Vista superior com a rampa anterior rodada para acomodar os dedos
- Figura 2D** – Vista posterior, evidenciando o suporte central do dispositivo, para o posicionamento do pé contralateral ao exame
- Figura 2E** – Vista lateral, mostrando as rampas anterior e posterior

Os parâmetros técnicos radiográficos para a obtenção da projeção axial foram padronizados para todos os pacientes e calibrados mantendo a ampola com foco de 100 mA, com 55 kV a uma distância foco filme 100 cm, com tempo de exposição 0,1 segundo, 10 mA/s e utilizando um chassi 24x30 cm, para cada pé. O centro do foco dos raios foi definido na topografia da cabeça do 2º

metatarsal, com a abertura suficiente para projetar a linha articular talocrural, os maléolos e a face plantar do antepé, ficando visível uma região de 3 cm plantar ao nível de apoio do dispositivo de madeira.

A técnica foi aplicada pelos técnicos em radiologia do IOT-HC-FMUSP, que foram os responsáveis por radiografar todos os pacientes, com a máquina Philips Optimus 300 mA.

A aferição dos parâmetros da incidência do plano coronal do antepé com carga foi feita com o programa Philips iSite Enterprises 4.1. Inicialmente localizamos a superfície de carga do antepé, linha em que a epiderme faz contato com a madeira, aqui denominada linha de apoio, e posteriormente, o ponto mais plantar da cabeça de cada metatarsal. No 1º metatarsal, diferentemente dos quatro laterais, a carga é distribuída nos sesamóides, logo utilizamos o ponto mais plantar do sesamóide mais plantar. A partir desses cinco pontos, traçamos cinco perpendiculares à linha de apoio previamente desenhada, aferindo suas distâncias em milímetros (**Figura 3A, B e C**).

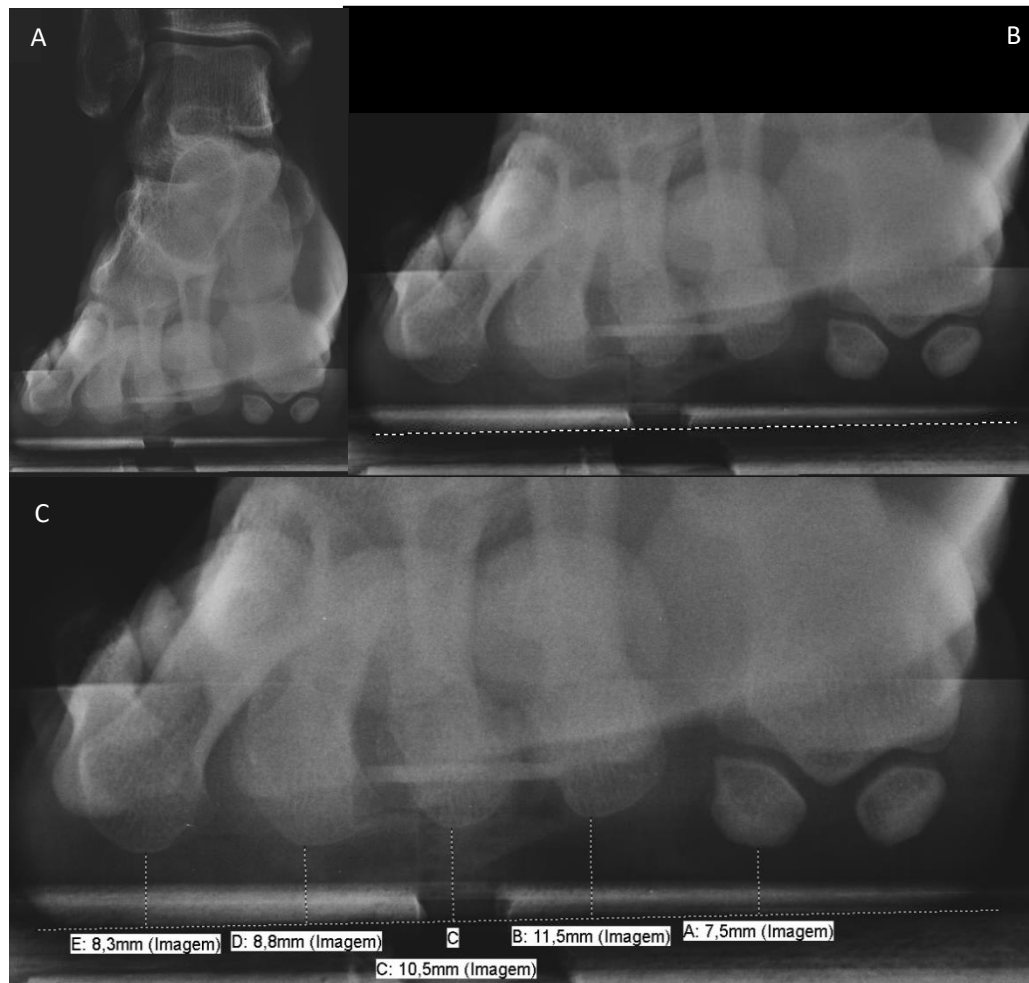


Figura 3A – Aspecto visual da radiografia axial com carga do antepé de um dos indivíduos do grupo SM

Figura 3B – Linha de apoio traçada, marcando o plano da carga do antepé

Figura 3C – A partir dos pontos mais plantares dos cinco raios medimos a distância à linha

Utilizamos duas medidas relativas à altura da cabeça do 2º metatarsal no plano coronal. A primeira medida é definida como a razão entre as alturas das cabeças dos 1º, 3º, 4º e 5º metatarsais com a do 2º, e a segunda trata-se da diferença, em mm, das alturas das cabeças dos 1º, 3º, 4º e 5º metatarsais com a do 2º.

Na incidência axial do antepé com carga, analisamos as distribuições das alturas das cabeças dos quatro metatarsais laterais e do sesamóide mais plantar

nos grupos, com o intuito de descrever as possíveis disposições das cabeças e diferenças nos pacientes com metatarsalgia dos 2º, 3º e 4º raios.

A radiografia anteroposterior dos pés com carga foi obtida com a ampola emitindo os raios a 1 m de distância do pé, com inclinação de 15° com a perpendicular ao solo, centrado na base do 2º metatarsal.

A aferição dos parâmetros dessa incidência do plano axial com carga do pé foi feita conforme a metodologia de Maestro et al.³⁷, desenhando o eixo longitudinal do pé no plano axial. Ele é definido pela linha formada a partir do ponto médio entre o ponto mais medial da cabeça do tálus e o mais lateral e distal do calcâneo, e pelo ponto mais distal da cabeça do 2º metatarsal (**Figura 4**).



Figura 4 – Representação esquemática da linha do eixo do pé, segundo Maestro et al.³⁷

A linha SM4 é formada a partir de uma perpendicular ao eixo do pé, que se inicia no ponto central do sesamóide lateral (**Figura 5**).



Figura 5 – Representação esquemática da linha SM4, segundo Maestro et al.³⁷, traçada a partir do ponto central do sesamóide lateral, perpendicular ao eixo do pé

As distâncias entre SM4 e o ponto mais distal da cabeça de cada um dos metatarsais foram calculadas de maneira a obter a diferença entre eles. Dessa forma, M1-M2 representa a diferença entre as distâncias do 1º metatarsal à SM4

e do 2° à SM4 e assim sucessivamente: M2-M3, M3-M4, M4-M5. Medidas distais à SM4 apresentam valores positivos e as proximais negativos (**Figura 6**).

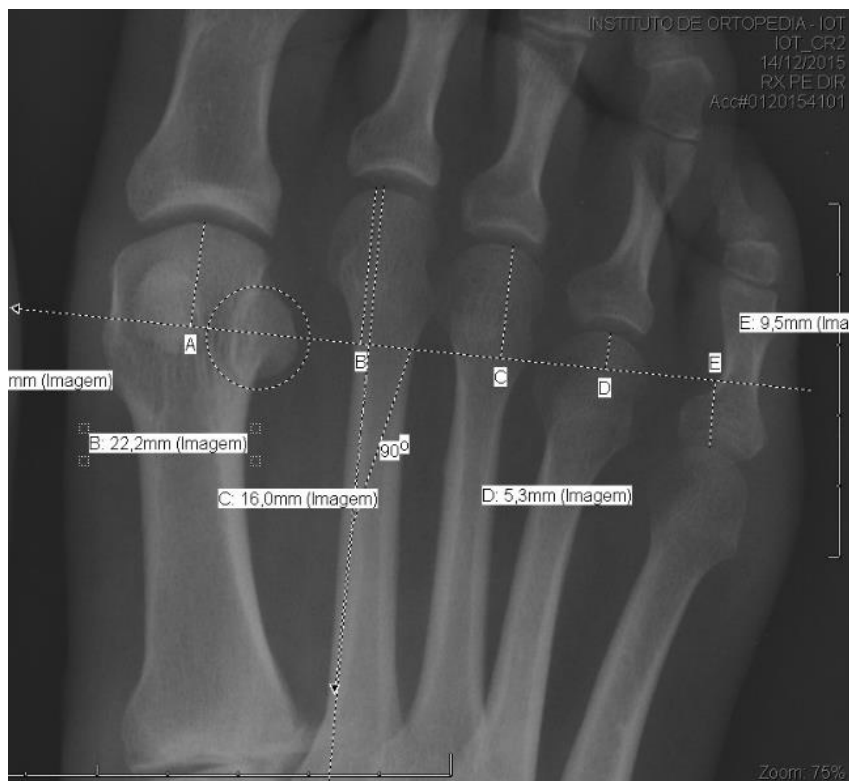


Figura 6 – Exemplo radiográfico das medidas dos comprimentos relativos dos metatarsais

Categorizamos a altura que SM4 cruza a cabeça do 4º metatarsal (SM4M4), em terço distal, central e proximal.

As radiografias do estudo piloto foram avaliadas independentemente por dois ortopedistas especialistas em cirurgia de pé e tornozelo, sendo um deles o autor da dissertação (RBS). Após dois meses foram reavaliados por um deles (RBS). Posteriormente essa correlação foi analisada com o coeficiente de correlação intraclass para variáveis contínuas e o coeficiente Kappa para variáveis categóricas, com seus respectivos intervalos de confiança. Os examinadores não tinham acesso aos dados da anamnese e exame físico dos

indivíduos avaliados, tão pouco das medidas radiográficas prévias, no momento da aferição radiográfica.

Um único avaliador (RBS) aferiu as medidas das duas incidências radiográficas dos grupos em estudo, sem ter acesso aos dados da anamnese e exame físico dos indivíduos avaliados.

Com os resultados radiográficos obtidos dos dois grupos, avaliamos a disposição das cabeças dos metatarsais nos planos axial e coronal e suas possíveis diferenças em cada grupo.

4.3 Análise estatística

Os dados foram armazenados em uma planilha de Excel® para MAC que foi importado para o software SPSS 23.0® para MAC para análise estatística. Os dados categóricos foram descritos pela sua porcentagem e respectivo número absoluto. Para testar a diferença entre os pés com metatarsalgia e sem dor, foi utilizado o teste qui-quadrado. Os dados contínuos foram descritos pela média e seus respectivos desvios padrão. Foi testado a distribuição dos dados pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Para o teste de estatística inferencial, foram utilizados os testes de Mann-Whitney ou o test t student, dependendo da distribuição dos dados. Foi aceito como diferença estatisticamente significativa um erro do tipo I de 5%.

Para estipular o tamanho da amostra consideramos o estudo do Maestro et al.³⁷, o qual evidenciou 69% de distribuição metatarsal não harmônica na

radiografia anteroposterior com carga dos pés sem patologia, e 86% de distribuição não harmônica em um dos grupos patológicos.

Dessa forma, supondo que 85% ou mais dos indivíduos do grupo com metatarsalgia apresentem alinhamento inadequado das cabeças dos metatarsais no plano coronal com carga, associado a um poder de 80% e confiança de 95%, foram necessários 106 pés em cada grupo para a realização do estudo.

O erro do método inter e intraobservador será avaliado com o uso do coeficiente de correlação intraclassa para variáveis contínuas e o coeficiente Kappa para variáveis categóricas, com seus respectivos intervalos de confiança^{69,70}, no grupo de estudo piloto. Para a comparação dos coeficientes seguiremos as orientações de Landis e Koch⁶⁹ (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Correlação do valor do coeficiente com a intensidade da concordância

Valor do Coeficiente	Concordância
<0,00	Fraca
0,00-0,20	Baixa
0,21-0,40	Razoável
0,41-0,60	Moderado
0,61-0,80	Forte
0,81-1,00	Perfeita

5 *RESULTADOS*

5 RESULTADOS

5.1 Resultados do estudo piloto

Durante o estudo piloto foram avaliados 35 indivíduos (70 pés), 7 pés foram excluídos por má qualidade da radiografia, impossibilitando a avaliação. A correlação intra e interobservador foi realizada nesses 63 pés restantes, com 50% de pés direitos e 91% de indivíduos do sexo masculino. Esses indivíduos foram utilizados exclusivamente para o estudo piloto.

Na radiografia anteroposterior com carga do pé a concordância interobservador, segundo a classificação de Landis e Koch⁶⁹, foi considerada perfeita para os 1º, 2º, 3º e 4º metatarsais, forte para o 5º metatarsal e moderada (Kappa 0,57) para o posicionamento da linha SM4 em relação à cabeça do 4ºMTT (**Tabela 2**).

A concordância intraobservador dessa incidência foi considerada perfeita para os 1º, 2º, 3º e 4º metatarsais, forte para o 5º metatarsal. Para o posicionamento da linha SM4 em relação à cabeça do 4ºMTT foi considerada forte (Kappa 0,75) (**Tabela 2**).

Tabela 2 – Avaliação inter e intraobservador na radiografia anteroposterior com carga

	Coefficiente de correlação interobservador	IC 95%	Coefficiente de correlação intraobservador	IC 95%
1º MTT	0,94	0,903-0,963	0,94	0,908-0,965
2º MTT	0,96	0,946-0,980	0,96	0,935-0,976
3º MTT	0,95	0,916-0,968	0,95	0,929-0,973
4º MTT	0,90	0,841-0,914	0,94	0,904-0,964
5º MTT	0,79	0,679-0,869	0,77	0,658-0,859

Na radiografia axial com carga do antepé, a concordância intra e interobservador foi considerada perfeita para todos os metatarsais (**Tabela 3**).

Tabela 3 – Avaliação inter e intraobservador na radiografia axial do antepé com carga

	Coefficiente de correlação interobservador	IC 95%	Coefficiente de correlação intraobservador	IC 95%
1º MTT	0,90	0,843-0,940	0,95	0,921-0,970
2º MTT	0,85	0,765-0,907	0,93	0,882-0,955
3º MTT	0,86	0,776-0,912	0,93	0,883-0,955
4º MTT	0,83	0,736-0,895	0,86	0,785-0,915
5º MTT	0,89	0,824-0,932	0,92	0,877-0,953

5.2 Análise da população estudada

Cento e seis indivíduos foram avaliados, divididos em grupos SM (n=53) e CM (n=53). Cada indivíduo contribuiu com os dois pés no mesmo grupo, totalizando 106 pés em cada. Quarenta e quatro indivíduos (42%) eram do sexo masculino (**Tabela 4**).

No grupo CM, dos 106 pés, trinta e quatro (32%) eram de pacientes do sexo masculino (**Tabela 4**).

No grupo SM, dos 106 pés, cinquenta e quatro (51%) eram de pacientes do sexo masculino (**Tabela 4**).

Tabela 4 – Comparação do número de pés de cada sexo

	CM	SM	p
Sexo masculino	34 32%	54 51%	0,008
Sexo feminino	72 68%	52 49%	
TOTAL	106	106	

A média da idade dos pacientes com dor foi de 49,5 anos (variando de 30 a 65 anos) e desvio padrão de 10,2. No grupo sem dor, obtivemos uma média de 44,6 anos, variando de 30 a 65 anos e desvio padrão de 7,7.

Na comparação das variáveis antropométricas como tamanho do pé, peso, altura e IMC, entre os grupos, não houve diferença (respectivamente $p=0,449$ / $p=0,146$ / $p=0,382$ / $p=0,158$) (**Anexo D**).

Em relação à associação com hálux valgo no grupo CM foram identificados 33 pés (31%) com hálux valgo. As calosidades foram exclusivas do grupo com metatarsalgia (**Tabela 5**).

Tabela 5 – Distribuição de calosidades no grupo CM

Calosidade	CM
2º MTT	70 66%
3º MTT	51 48%
4º MTT	17 16%

5.3 Resultados das radiografias axiais com carga do antepé

5.3.1 Comparação das alturas dos metatarsais entre o mesmo grupo

Os apoios plantares distais dos cinco metatarsais não formam uma linha no plano coronal.

A comparação entre os metatarsais do grupo CM mostrou (**Tabela 6 e Gráfico 1**):

- M1 é mais plantar que os M2, M3, M4 ($p=0,000$) e M5 ($p=0,001$)
- M2 é mais dorsal que os demais metatarsais ($p=0,000$)
- M3 é mais dorsal que M4 e M5 ($p=0,000$)

- M4 não apresentou diferença em relação ao M5 ($p=1$)

Tabela 6 – Médias das medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé no grupo CM

	Média (mm)	IC 95%	DP
1º MTT CM	8,0	7,4-8,6	3,0
2º MTT CM	12,1	11,6-12,6	2,6
3º MTT CM	10,5	10,0-11,0	2,4
4º MTT CM	9,5	9,0-9,9	2,3
5º MTT CM	9,3	8,8-9,8	2,5

A comparação dos metatarsais do grupo SM mostrou (**Tabela 7 e Gráfico**

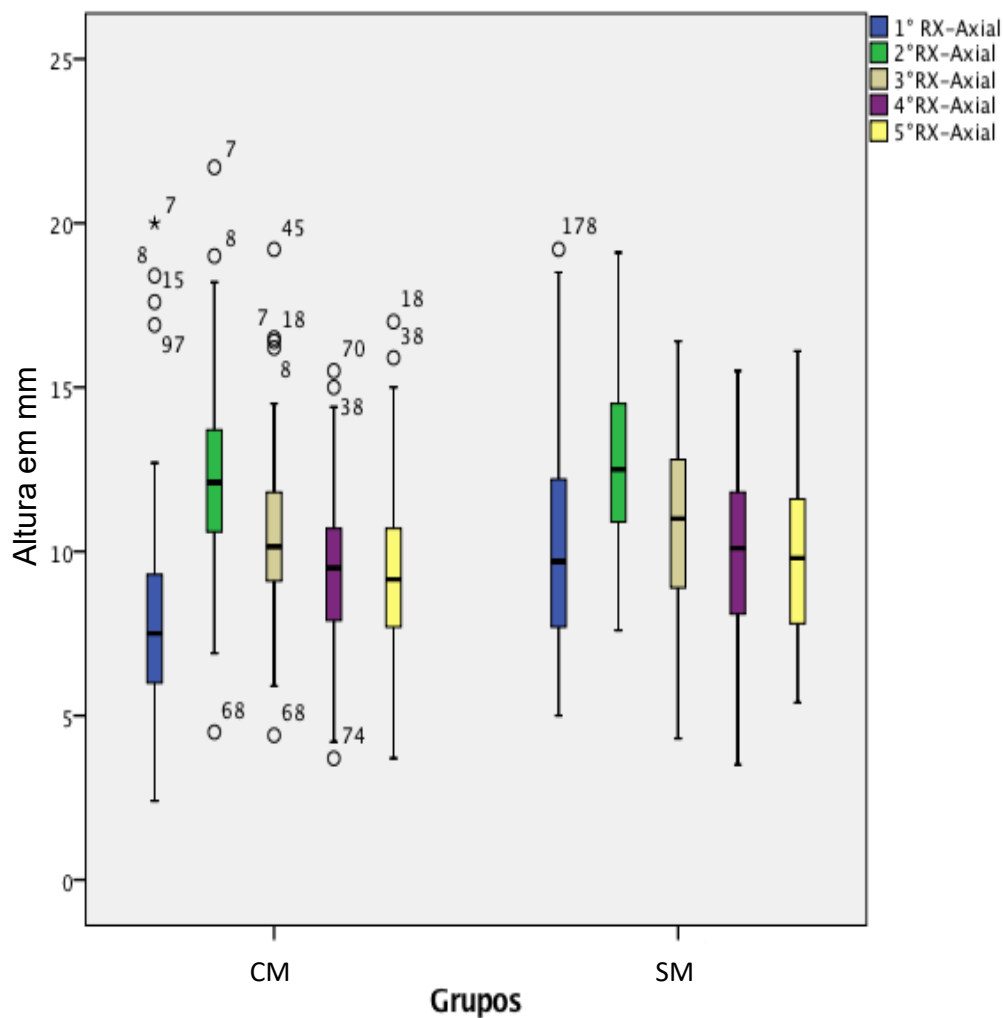
1):

- M1<M2 ($p=0,000$) e M1<M3 ($p=0,008$)
- M1 sem diferença com M4 e M5 ($p=1$)
- M2 é mais dorsal que os demais metatarsais ($p=0,000$)
- M3 é mais dorsal que M4 e M5 ($p=0,000$)
- M4 não apresentou diferença em relação ao M5 ($p=0,994$)

Tabela 7 – Médias das medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé no grupo SM

	Média (mm)	IC 95%	DP
1º MTT SM	10,0	9,4-10,6	3,2
2º MTT SM	12,7	12,2-13,2	2,6
3º MTT SM	10,8	10,4-11,3	2,3
4º MTT SM	10,0	9,5-10,5	2,4
5º MTT SM	9,8	9,4-10,3	2,4

Gráfico 1 – Distribuição das alturas das cabeças dos metatarsais na radiografia axial com carga no antepé nos grupos



No grupo CM, quando avaliamos separadamente os pés com hálux valgo e os pés sem a deformidade do 1º dedo observamos:

Pés com hálux valgo (**Tabela 8**):

- M1 é mais plantar que M2, M3 ($p=0,00$) e M4 ($0,008$);
- M1 não apresentou diferença com M5 ($p=0,360$);
- M2 é mais dorsal que os demais metatarsais ($p=0,000$);
- M3 é mais dorsal que M4 ($p=0,036$);
- M3 não apresentou diferença com M5 ($p=0,089$);

- M4 não apresentou diferença em relação ao M5 ($p=0,771$).

Tabela 8 – Média medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé, dos pacientes com hálux valgo no grupo CM

	Média (mm)	IC 95%	DP
1º MTT com HV	7,2	6,3-8,0	2,4
2º MTT com HV	11,2	10,4-12,1	2,3
3º MTT com HV	9,8	8,9-10,6	2,3
4º MTT com HV	9,1	8,3-10,0	2,4
5º MTT com HV	8,6	7,5-9,6	3,0

Nota: HV: hálux valgo

Pés sem hálux valgo (**Tabela 9**):

- M1 é mais plantar que M2, M3 ($p=0,000$) e M4 ($p=0,007$), M5 ($p=0,006$);
- M2 é mais dorsal que os demais metatarsais ($p=0,000$);
- M3 é mais dorsal que M4 e M5 ($p=0,000$);
- M4 não apresentou diferença em relação ao M5 ($p=1$).

Tabela 9 – Média das medidas absolutas das alturas das cabeças nas radiografias axiais com carga do antepé, dos pacientes sem hálux valgo no grupo CM

	Média (mm)	IC 95%	DP
1º MTT sem HV	8,4	7,7-9,2	3,2
2º MTT sem HV	12,5	11,9-13,2	2,7
3º MTT sem HV	10,8	10,3-11,4	2,3
4º MTT sem HV	9,6	9,1-10,1	2,2
5º MTT sem HV	9,6	9,1-10,1	2,2

Nota: HV: hálux valgo

5.3.2 Comparação das alturas dos metatarsais entre os grupos

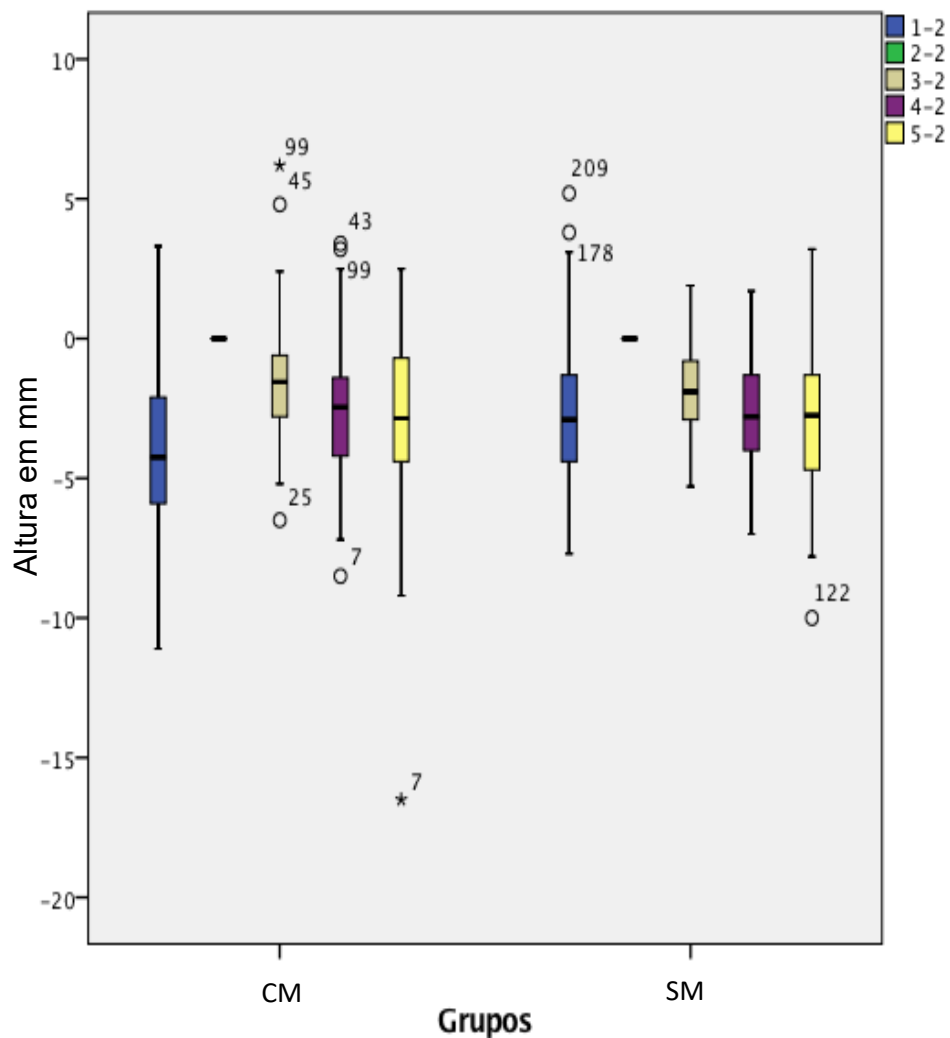
Comparando as médias dos valores absolutos das alturas das cabeças de cada metatarsal entre os grupos, evidenciamos que o primeiro metatarsal está mais plantar no grupo CM do que no SM ($p=0,000$) (**Tabela 10, Gráfico 1 e Anexo E**).

Tabela 10 – Comparação das médias das alturas das cabeças de cada metatarsal no plano coronal, entre os grupos

	Média (mm)	IC 95%	DP	p
1º MTT CM	8,0	7,4-8,6	3,0	0,000
1º MTT SM	10,0	9,4-10,6	3,2	
2º MTT CM	12,1	11,6-12,6	2,6	0,107
2º MTT SM	12,7	12,2-13,2	2,6	
3º MTT CM	10,5	10,0-11,0	2,4	0,228
3º MTT SM	10,8	10,4-11,3	2,3	
4º MTT CM	9,5	9,0-9,9	2,3	0,093
4º MTT SM	10,0	9,5-10,5	2,4	
5º MTT CM	9,3	8,8-9,8	2,5	0,098
5º MTT SM	9,8	9,4-10,3	2,4	

Essa diferença na altura da cabeça do 1º metatarsal foi evidenciada também na comparação entre os parâmetros relativos criados para a radiografia axial. No cálculo da diferença das alturas das cabeças em relação à 2ºMTT, observamos que o módulo do valor do 1ºMTT-2ºMTT é maior no grupo CM ($p=0,000$). A razão entre as alturas das cabeças em relação ao 2ºMTT mostrou um valor menor 1ºMTT/2ºMTT, também no grupo CM ($p=0,000$) (**Gráficos 2 e 3**).

Gráfico 2 – Distribuição das diferenças das alturas das cabeças em relação ao 2º metatarsal na radiografia axial com carga no antepé nos grupos



NOTA:

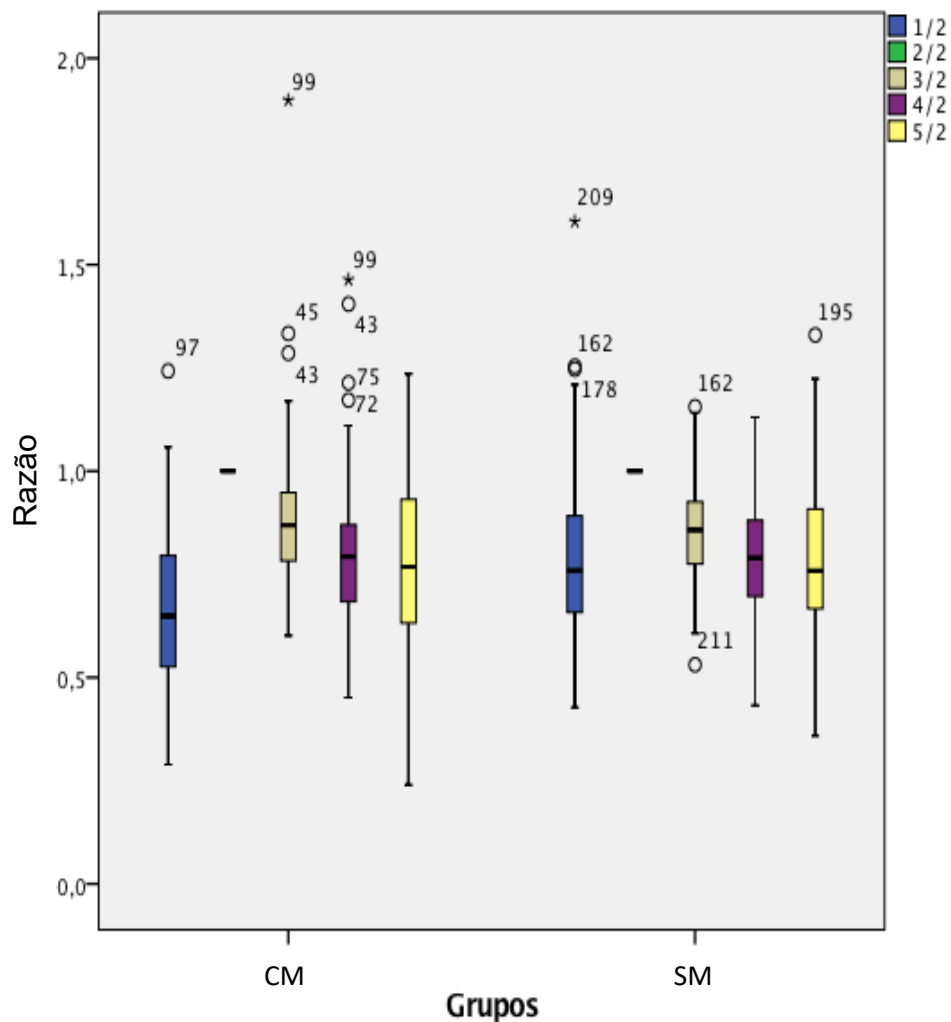
Azul 1ºMTT-2ºMTT: $p=0,000$

Cinza 3ºMTT-2ºMTT: $p=0,312$

Roxo 4ºMTT-2ºMTT: $p=0,871$

Amarelo 5ºMTT-2ºMTT: $p=0,954$

Gráfico 3 – Distribuição nos grupos, das razões das alturas das cabeças em relação ao 2º metatarsal na radiografia axial com carga no antepé



NOTA:

Azul 1ºMTT/2ºMTT: $p=0,000$

Cinza 3ºMTT/2ºMTT: $p=0,577$

Roxo 4ºMTT/2ºMTT: $p=0,750$

Amarelo 5ºMTT/2ºMTT: $p=0,998$

Quando comparamos isoladamente cada metatarsal entre os grupos, excluindo os casos de hálux valgo (33 pés do CM), observamos que o 1º metatarsal posiciona-se mais próximo a linha de apoio no grupo CM ($p=0,000$),

enquanto os demais metatarsais não apresentam diferenças entre seus correspondentes do outro grupo (**Tabela 11 e Anexo F**).

Tabela 11 – Comparação das médias das alturas das cabeças no plano coronal de cada metatarsal em indivíduos sem hálux valgo, entre os grupos

	Média (mm)	IC 95%	DP	p
1º MTT CM	8,4	7,7-9,2	3,2	0,000
1º MTT SM	10	9,4-10,6	3,2	
2º MTT CM	12,5	11,9-13,2	2,7	0,600
2º MTT SM	12,7	12,2-13,2	2,6	
3º MTT CM	10,8	10,3-11,4	2,3	0,571
3º MTT SM	10,8	10,4-11,3	2,3	
4º MTT CM	9,6	9,1-10,1	2,2	0,155
4º MTT SM	10	9,5-10,5	2,4	
5º MTT CM	9,6	9,1-10,1	2,2	0,317
5º MTT SM	9,8	9,4-10,3	2,4	

Avaliando a diferença de posicionamento entre os 33 pés com hálux valgo contra os 73 pés sem a deformidade no grupo CM, observamos que o 2º metatarsal está mais próximo à linha de apoio no grupo com hálux valgo ($p=0,020$). O 1º metatarsal também se mostra mais próximo a linha de apoio, mas sem significância estatística ($p=0,056$). Os 3º, 4º e 5º metatarsais não apresentam diferenças estatísticas (**Tabela 12 e Anexo G**).

Tabela 12 – Comparação das médias das alturas das cabeças de cada metatarsal no plano coronal, dos pacientes com e sem hálux valgo no grupo CM

	Média (mm)	IC 95%	DP	p
1º MTT sem HV	8,4	7,7-9,2	3,2	0,056
1º MTT com HV	7,2	6,3-8,0	2,4	
2º MTT sem HV	12,5	11,9-13,2	2,7	0,020
2º MTT com HV	11,2	10,4-12,1	2,3	
3º MTT sem HV	10,8	10,3-11,4	2,3	0,079
3º MTT com HV	9,8	8,9-10,6	2,3	
4º MTT sem HV	9,6	9,1-10,1	2,2	0,346
4º MTT com HV	9,1	8,3-10,0	2,4	
5º MTT sem HV	9,6	9,1-10,1	2,2	0,074
5º MTT com HV	8,6	7,5-9,6	3,0	

Nota: HV: hálux valgo

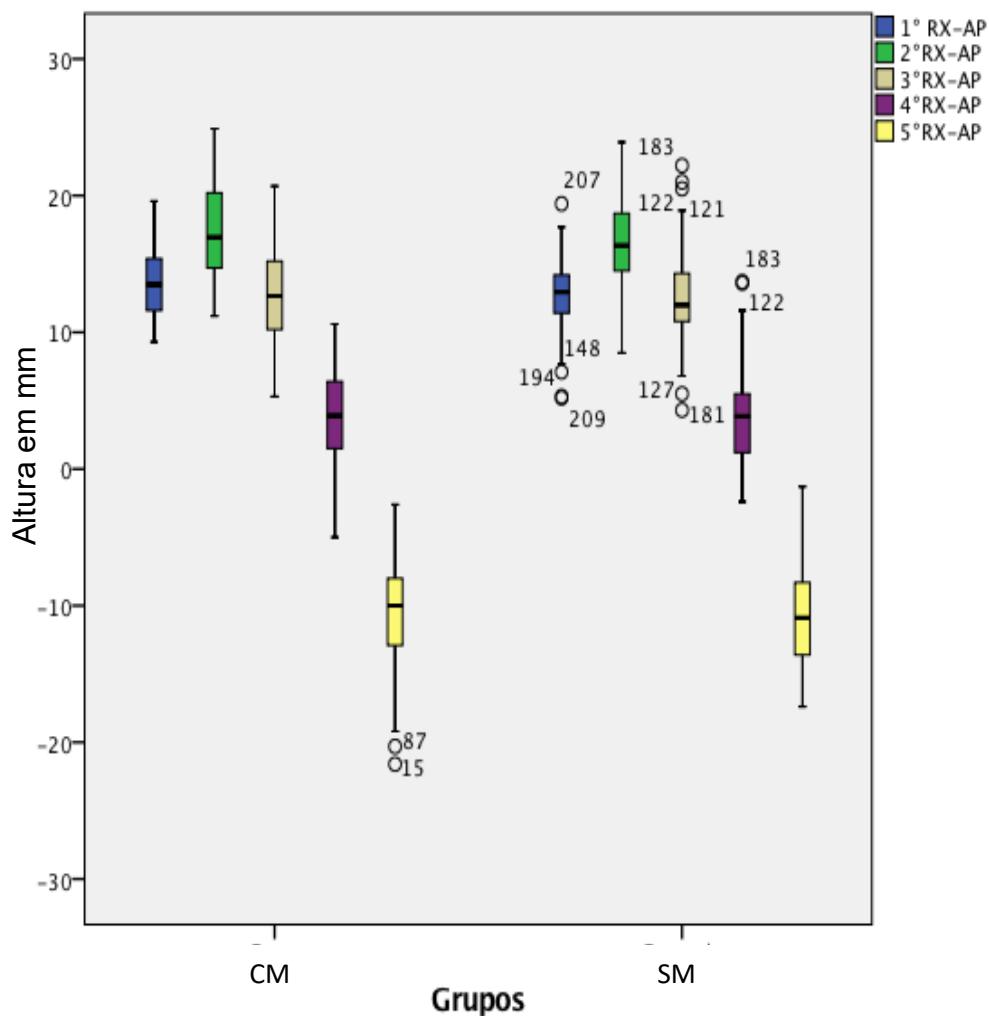
5.4 Resultados das radiografias anteroposteriores com carga do pé

A avaliação dos comprimentos dos metatarsais relativos à linha SM4, conforme descrito por Maestro et al.³⁷, na projeção radiográfica anteroposterior dos pés com carga, identificou que o 1º e 2º metatarsais apresentaram maiores comprimentos relativos no grupo CM (respectivamente $p=0,046$ e $p=0,029$) **(Tabela 13, Gráfico 4 e Anexo H).**

Tabela 13 – Comparação entre os grupos, das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé

	Média (mm)	IC 95%	DP	p
1º MTT CM	13,5	13,0-14,0	2,3	0,046
1º MTT SM	12,7	12,3-13,2	2,3	
2º MTT CM	17,4	16,8-18,1	3,3	0,029
2º MTT SM	16,4	15,8-16,9	2,9	
3º MTT CM	12,6	12,0-13,3	3,4	0,644
3º MTT SM	12,5	11,8-13,0	3,2	
4º MTT CM	3,8	3,1-4,4	3,4	0,812
4º MTT SM	3,9	3,2-4,5	3,2	
5º MTT CM	-10,5	(-11,3)-(-9,8)	3,9	0,324
5º MTT SM	-10,8	(-11,5)-(-10,1)	3,4	

Gráfico 4 – Distribuição, dos comprimentos relativos dos metatarsais na radiografia anteroposterior com carga, nos grupos



NOTA:

Azul 1ºMTT: $p=0,046$

Verde 2ºMTT: $p=0,029$

Cinza 3ºMTT: $p=0,644$

Roxo 4ºMTT: $p=0,812$

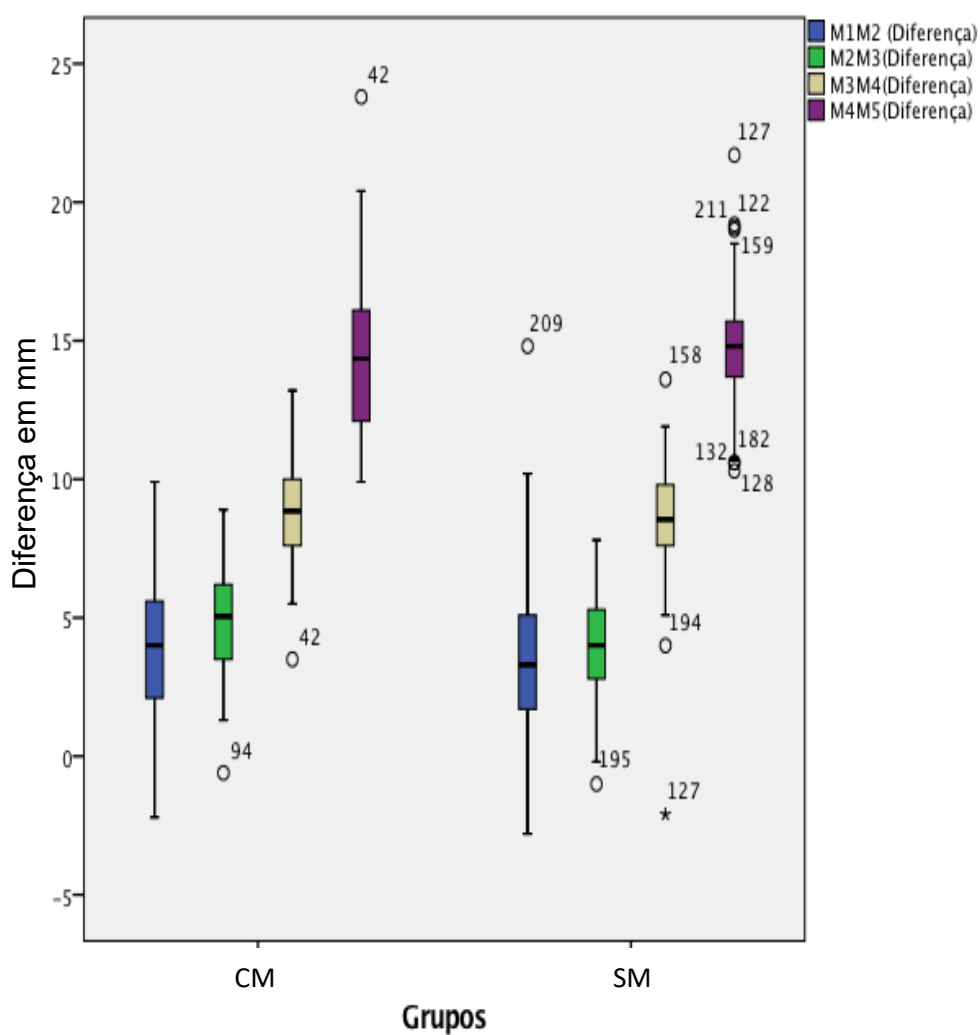
Amarelo 5ºMTT: $p=0,324$

Em relação à média das diferenças entre os comprimentos dos metatarsais adjacentes na projeção anteroposterior, M1M2, M2M3, M3M4 e M4M5, a única

que evidenciou diferença significativa entre os grupos foi M2M3 ($p=0,001$)

(Gráfico 5 e Anexo I).

Gráfico 5 – Distribuição das diferenças dos comprimentos relativos dos metatarsais na radiografia anteroposterior com carga, nos grupos



NOTA:

Azul M1M2: $p=0,200$

Verde M2M3: $p=0,001$

Amarelo M3M4: $p=0,343$

Roxo M4M5: $p=0,221$

Quando avaliamos a quantificação da posição da linha SM4 em relação a cabeça do 4º metatarsal (SM4M4), notamos que não há diferença estatística entre os grupos ($p=0,821$).

Comparando os grupos CM e SM, quando excluimos os casos de hálux valgo (33 pés do CM), não observamos diferença na fórmula metatarsal (**Tabela 14 e Anexo J**).

Tabela 14 – Comparação entre os grupos, das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, em indivíduos sem hálux valgo

	Média (mm)	IC 95%	DP	p
1º MTT CM	13	12,5-13,5	2,0	0,696
1º MTT SM	12,7	12,3-13,2	2,3	
2º MTT CM	17	16,3-17,7	3,0	0,300
2º MTT SM	16,4	15,8-16,9	2,9	
3º MTT CM	12,5	11,7-13,2	3,4	0,999
3º MTT SM	12,5	11,8-13,0	3,2	
4º MTT CM	3,7	2,9-4,5	3,4	0,896
4º MTT SM	3,9	3,2-4,5	3,2	
5º MTT CM	-11,2	(-12,1)-(-10,3)	3,9	0,655
5º MTT SM	-10,8	(-11,5)-(-10,1)	3,4	

Avaliando a diferença do comprimento relativo dos metatarsais entre os 33 pés com hálux valgo contra os 73 pés sem a deformidade no grupo CM, observamos que os 1º, 2º e 5º metatarsais são mais longos nos pés com hálux valgo (respectivamente $p=0,000$, $p=0,001$ e $p=0,009$). Os 3º e 4º metatarsais não apresentam diferenças (**Tabela 15 e Anexo K**).

Tabela 15 – Comparação das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, dos pacientes com e sem hálux valgo no grupo CM

	Média (mm)	IC 95%	DP	p
1º MTT sem HV	13,0	12,5-13,5	2,0	0,000
1º MTT com HV	14,7	13,8-15,6	2,6	
2º MTT sem HV	17,0	16,3-17,7	3,0	0,001
2º MTT com HV	18,4	17,2-19,7	3,6	
3º MTT sem HV	12,5	11,7-13,2	3,4	0,391
3º MTT com HV	13,1	11,8-14,3	3,5	
4º MTT sem HV	3,7	2,9-4,5	3,4	0,616
4º MTT com HV	4,0	2,8-5,2	3,4	
5º MTT sem HV	-11,2	(-12,1)-(-10,3)	3,9	0,009
5º MTT com HV	-10,3	(-10,3)-(-7,9)	3,4	

No grupo com metatarsalgia, comparando os subgrupos com hálux valgo e sem a deformidade, notamos que os valores de M2M3 são maiores em quem possui hálux valgo e de M4M5 são menores (**Anexo L**).

Na média, houve uma perda de dados totais menor que 10%.

6 *DISCUSSÃO*

6 DISCUSSÃO

6.1 Avaliação do estudo piloto

O objetivo principal do estudo piloto foi avaliar a viabilidade do uso da radiografia axial do antepé com carga e corrigir os possíveis erros de metodologia radiográfica. Inicialmente, focamos em adequar a técnica de modo que as cabeças dos metatarsais pudessem ser visualizadas adequadamente e aferidas, criando critérios objetivos e reprodutíveis de posicionamento dos pés com carga sobre a plataforma.

Baseado na proposta de 2004, de Suzuki et al.³⁰, adaptamos nossa técnica radiográfica em relação a distância e incidência do raio X, de modo a padronizar todos os exames, evitando diferenças de magnificações entre as radiografias.

A intensidade da radiação, assim com o tempo de exposição, foram baseadas nos estudos de Osher et al.³¹ e Simonsen et al.⁷, e modificados para conseguirmos observar com precisão a projeção radiográfica das cabeças, chegando aos parâmetros propostos no nosso estudo. Por esse motivo tivemos sete pés excluídos do estudo piloto por radiografias inadequadas.

Semelhante a Suzuki et al.³⁰, optamos por posicionar o tornozelo com 20° de equino e 10° de extensão das articulações metatarsofalângicas, em relação ao solo. O intuito foi reproduzir o momento do desprendimento do pé na fase de elevação do calcâneo, quando o antepé está submetido a maior pressão, sem sobrepor as falanges proximais e as cabeças dos metatarsais^{14,51,71}.

Durante essa fase do estudo, observamos que as rampas anterior e posterior fixas do dispositivo forçavam o apoio artificial do antepé. Como os metatarsais têm comprimentos diferentes, eles apoiavam em alturas diferentes das rampas, projetando uma imagem radiográfica axial não compatível com o alinhamento real do pé.

Por esse motivo, diferente de Suzuki et al.³⁰, nosso dispositivo apresenta uma rampa anterior móvel, permitindo que a pele sob as cabeças dos cinco metatarsais se apoie no mesmo nível do suporte de madeira, evitando modificações artificiais das suas alturas no plano coronal.

Utilizamos o ponto de apoio da cabeça do 5º metatarsal como parâmetro fixo inicial do posicionamento. Dessa forma, mobilizávamos a rampa anterior, para distal ou proximal, com o intuito de permitir o apoio das cinco cabeças no mesmo patamar. Rodávamos a rampa anterior, acomodando a fórmula dos dedos, para manter os cinco pododáctilos na extensão desejada.

Para avaliação da confiabilidade do estudo radiográfico axial utilizamos a avaliação intra e interobservadores, assim como Simonsen et al.⁷ e Deleu et al.²². Para classificar os valores dos coeficientes de correlação, utilizamos a orientação de Landis e Koch⁶⁹. Os resultados dos coeficientes de avaliações intra e interobservadores na radiografia axial do antepé com carga, mostraram uma correlação perfeita para os cinco metatarsais.

O presente estudo mostrou uma correlação melhor na avaliação intra e interobservadores comparado ao de Simonsen et al.⁷, provavelmente relacionado a diferença metodológica e a precisão do posicionamento dos dois estudos. Simonsen et al.⁷ não quantificam a angulação do joelho e a distância do filme à ampola radiográfica.

Nossos índices de correlação são mais altos que os do estudo ultrassonográfico de Wang et al.³³, principalmente quando comparamos a situação com carga no estudo de Wang et al.³³ A diferença pode ser explicada pela dificuldade em realizar o exame ultrassonográfico com o paciente mantendo carga.

No estudo piloto também avaliamos a correlação intra e interobservadores na radiografia anteroposterior com carga, para a aferição dos comprimentos relativos dos cinco metatarsais, segundo o método de Maestro et al.³⁷.

Os comprimentos dos 1º, 2º, 3º e 4º metatarsais apresentaram uma correlação perfeita intra e interobservadores, enquanto o 5º metatarsal correlação forte. Uma possível explicação para a menor correlação do último metatarsal seria o fato de ser o mais distante do sesamóide lateral e 2º metatarsal, os dois pontos que formam a linha de referência SM4, a partir da qual todos os comprimentos são medidos. Logo ele é o mais suscetível a erros de precisão na confecção das linhas radiográficas.

Quando comparamos a posição em que a linha SM4 passa pela cabeça do 4º metatarsal (SM4M4) observamos uma correlação interobservadores moderada, e uma intraobservador forte. Isso pode estar relacionado a imprecisão do método de Maestro et al.³⁷ em definir de forma objetiva o cálculo do centro da cabeça do 4º metatarsal, conforme sugerido por Bevernage e Leemrijse⁴⁵.

Deleu et al.²² mostram coeficientes de correlação intra e interobservadores próximos de 100%, mas os autores avaliam as diferenças entre os comprimentos relativos dos quatro raios laterais, conforme a metodologia de Maestro et al.³⁷, e nós avaliamos o comprimento relativo. Mesmo com o nosso estudo mostrando

índices menores de correlação, os valores são altos o suficiente para o evidenciar uma boa confiabilidade do método.

6.2 Caracterização da casuística utilizada

Há uma proporção maior de mulheres no grupo CM, fato que reflete a prevalência na população, já que a patologia é mais comum no sexo feminino^{7,67}.

As variáveis peso, altura e numeração dos pés foram estatisticamente iguais entre os grupos, diminuindo as chances de as diferenças entre os resultados observados estarem relacionadas a essas medidas antropométricas.

Dentro do grupo com metatarsalgia encontramos um subgrupo com hálux valgo (31%), achado compatível com a literatura, que mostra uma forte associação entre essas duas patologias^{30,58,65}. Porém a repercussão da deformidade em valgo do hálux na disposição das cabeças dos metatarsais com carga no plano coronal não é clara.

No grupo CM foram incluídos apenas pacientes com metatarsalgia acometendo os raios centrais (2°, 3° ou 4° metatarsais, isolados ou associados), para evitar possíveis vieses relacionados com a metatarsalgia sob 1° e 5° metatarsais, como deformidades em plano valgo e cavo varo, respectivamente, dificultando a avaliação.

Selecionamos para o grupo SM indivíduos sem dor, calosidades e sem deformidades no retropé e antepé. Isso diminuiu a possibilidade de termos incluído indivíduos com uma arquitetura osteoarticular alterada, gerando um distúrbio de carga que possa evoluir com metatarsalgia posteriormente.

Wang et al.⁸ aferem a altura do 1º metatarsal a partir do ponto mais plantar da sua cabeça, medindo um volume composto por tecidos moles e sesamóides. Os autores mostram que essa região é a que tem o maior índice de compressibilidade, evidenciando menor complacência à carga. Explicam que como os sesamóides são estruturas ósseas, eles interferem nessa propriedade.

Partindo do princípio que os sesamóides apresentam propriedades absorptivas diferentes das partes moles sob eles⁸, optamos por considerar o sesamóide mais plantar como ponto de carga da cabeça do 1º metatarsal, aferindo a altura a partir dele, medindo exclusivamente partes moles.

Esse é o motivo pelo qual Wang et al.⁸, em 1999 e Wang et al.³³, em 2003, obtiveram um alinhamento oblíquo das cabeças dos metatarsais. As nossas amostras mostram uma disposição não retilínea, já que eles consideram o apoio do 1º raio a cabeça metatarsal e não os sesamóides.

Wang et al.⁸ não encontram diferença de posicionamento no plano coronal entre as cabeças dos 4º e 5º metatarsais, assim como nós. Esse resultado pode estar relacionado a maior mobilidade da articulação do cubóide com o 5º metatarsal, permitindo sua ascensão durante o apoio^{8,9}.

Suzuki et al.³⁰ mostram em seu estudo, que as cabeças dos 2º e 3º metatarsais dispõem-se mais plantares do que as demais em indivíduos sem metatarsalgia. Diferente de Suzuki et al.³⁰ nosso dispositivo contém uma rampa anterior móvel, permitindo o apoio das partes moles sob as cabeças dos cinco metatarsais no mesmo nível e a extensão adequada e individual de cada uma das articulações metatarsofalângicas. Dessa forma, evitamos o apoio das cabeças nas rampas, o que levaria a uma modificação da sua posição real no plano coronal.

Osher et al.³¹ utilizam um dispositivo com mobilidade da rampa posterior no sentido longitudinal, porém o posicionamento do tornozelo é em equino de 35° a 45°, angulação não fisiológica durante a marcha normal. Os autores enfatizam a importância de haver algum grau de elevação das articulações metatarsofalângicas para tirar a sobreposição das cabeças com as falanges proximais. Seguindo esse pensamento, adaptamos a rampa anterior do nosso dispositivo elevando todos os cinco dedos próximos à angulação fisiológica do final da fase de apoio, a elevação do calcâneo^{51,52}. Tal efeito foi obtido com o movimento rotacional da rampa no plano axial, acomodando a fórmula dos dedos.

Daentzer et al.¹⁰, evidenciam em seu estudo ultrassonográfico em pés sem patologias, que a disposição das cabeças dos metatarsais com carga no plano coronal é em formato de linha paralela ao solo. A metodologia é diferente, não só por usar o ultrassom, mas por posicionar o transdutor transversalmente no dorso do pé, podendo pressionar de forma heterogênea as cabeças, criando pequenos deslocamentos plantares, suficientes para modificarem o alinhamento.

Simonsen et al.⁷, avaliam o alinhamento das cabeças dos metatarsais com carga no plano coronal, com uma incidência radiográfica oblíqua do pé plantígrado, simulando o segundo rolamento da fase de apoio. Os autores aferem as alturas dos 2º, 3º e 4º metatarsais a partir de uma linha criada pelos pontos mais plantares do 1º e 5º. Evidenciam, que as cabeças dos 2º, 3º e 4º se dispõem em arco com ápice no 2º metatarsal.

Bygrave e Betts¹, em um estudo ultrassonográfico com carga plantígrada, considerando os sesamóides como as estruturas de carga mais plantares do 1º raio, afirmam que as cabeças são dispostas em arco com ápice no 2º metatarsal.

Esses últimos dois estudos, de forma semelhante ao nosso, identificam o apoio mais plantar dos 1º e 5º metatarsais e uma posição mais dorsal dos 2º e 3º em pés não patológicos. Entretanto nossos resultados divergem em relação ao 4º metatarsal, que se apresenta no mesmo nível do 5º. A explicação pode estar relacionada a diferença metodológica, já que o nosso estudo simula a elevação do calcâneo no final da fase de apoio da marcha, enquanto os dois supracitados, mantem carga em toda a região plantar, simulando o 2º rolamento.

No presente estudo, notamos que a altura do 1º raio em relação à linha de apoio é menor no grupo CM, esse resultado não foi observado em nenhum outro estudo levantado durante a nossa revisão.

A avaliação das duas medidas relativas das alturas das cabeças dos metatarsais, a diferença e a razão em relação ao 2º metatarsal, mostrou novamente, que o 1º metatarsal é mais próximo a linha de apoio. As medidas relativas não evidenciaram informações diferentes das medidas absolutas.

Os pés de pacientes com metatarsalgia e sem hálux valgo apresentaram um posicionamento mais plantar do apoio distal do 1º metatarsal, quando comparados com pés de indivíduos sem metatarsalgia e deformidade.

Porém, quando comparamos dentro do grupo CM, os pacientes com hálux valgo com os pacientes sem a deformidade do dedo, observamos que a cabeça do 2º metatarsal encontra-se mais próxima à linha de apoio nos indivíduos com hálux valgo.

O 1º metatarsal também se posiciona mais próximo ao solo nos portadores de hálux valgo (em média 1,2 mm mais baixo), mas não apresentou diferença estatística ($p=0,056$). Deve-se levar em consideração que esse resultado está

muito próximo do limite de 5% do erro alfa, provavelmente relacionado ao número (n=33) da amostra com hálux valgo.

Nos indivíduos do grupo CM com associação com hálux valgo, notamos uma tendência a terem o apoio do 1º raio mais plantar do que o restante dos indivíduos com metatarsalgia.

Ainda nos indivíduos do grupo CM com associação com hálux valgo observamos uma diminuição da altura da cabeça do 2º metatarsal no plano coronal, quando comparados com os outros indivíduos com metatarsalgia do estudo.

Com essas informações podemos inferir que a diminuição da altura da cabeça do 1º metatarsal no plano coronal no grupo CM não está exclusivamente associada ao hálux valgo. Porém, quando há hálux valgo associado à metatarsalgia, os dois raios mediais tendem a se posicionar mais plantares.

Pode-se questionar se essa diminuição da altura do ponto mais plantar distal do 1º raio no grupo CM está relacionada a uma pronação sutil, associada à instabilidade da 1ª articulação tarsometatarsal, transferindo carga para os metatarsais laterais, sobrecarregando-os, de forma mais evidente na associação com hálux valgo. Não podemos afirmar isso a partir do nosso estudo, uma vez que a estabilidade do mediopé não foi objetivo da investigação.

Muito se discute sobre a associação do hálux valgo com a instabilidade da 1ª articulação tarsometatarsal nos planos sagital e coronal, inclusive uma relação de causalidade entre a deformidade e a instabilidade, mas ainda não há consenso entre os autores^{53-56,60,65,72,73}.

Na comparação entre os dois grupos, notou-se o comprimento maior das projeções radiográficas anteroposteriores dos 1º e 2º metatarsais nos indivíduos

com metatarsalgia. Quando se compara a diferença entre os comprimentos relativos dos cinco metatarsais no plano axial, apenas M2M3 é maior no grupo CM. Como os 1º e 2º metatarsais foram maiores no grupo CM, a diferença entre seus comprimentos foi igual entre os grupos.

Maestro et al.³⁷, afirmam em seu artigo que no grupo patológico com hálux rígido há uma maior proporção de M1 mais compridos que o M2. Também encontram uma porcentagem maior, no grupo com hálux valgo, de M2 compridos e diminuição da diferença M4M5.

Quando nós excluimos os indivíduos com hálux valgo do grupo CM da nossa avaliação radiográfica anteroposterior, observamos que não houve diferença nos comprimentos dos metatarsais entre SM e CM.

Porém, comparando dentro do grupo CM os pacientes com e sem hálux valgo, notou-se que os 1º, 2º e 5º metatarsais são mais compridos nos indivíduos com a deformidade do hálux.

Assim, observamos alguns resultados diferentes em relação ao estudo do Maestro et al.³⁷, que podem estar relacionados às diferenças étnicas²², mas também às características de seleção das amostras. Maestro et al.³⁷ selecionam para o grupo patológico pacientes com hálux rígido e hálux valgo, enquanto nós escolhemos pacientes com metatarsalgia central, alguns com associação aleatória com hálux valgo.

O comprimento maior dos 1º e 2º metatarsais no grupo CM encontrado no nosso estudo está associado à deformidade em valgo do hálux, resultado compatível com o estudo de Maestro et al.³⁷. Entretanto, esse achado não pode ser extrapolado para a metatarsalgia, já que não observamos diferenças no

comprimento dos metatarsais na radiografia anteroposterior entre nossos grupos ao excluir o hálux valgo.

Maestro et al.³⁷, comparam diferenças do 2º ao 5º metatarsais e mostram que elas diminuem em uma progressão geométrica de razão 2, com uma variabilidade de 20%, no padrão dito harmônico. Quando aplicamos essa fórmula nos nossos grupos, observamos que os indivíduos sem metatarsalgia se enquadram nesse padrão harmônico de Maestro. O mesmo não é observado no grupo CM, pois o M4M5 é menor do que o esperado pelo cálculo.

Ao excluirmos os indivíduos com hálux valgo da comparação, os dois grupos do nosso estudo apresentam a distribuição harmônica de Maestro.

O conceito de que a alteração fórmula metatarsal no plano axial está associado a metatarsalgia deve ser reconsiderado.

6.3 Considerações finais

A distribuição não fisiológica de carga no antepé é considerada a causa mais importante da metatarsalgia^{37,39,68}, levando a sobrecargas das estruturas plantares, com lesão e dor.

O comprimento dos metatarsais no plano axial é julgado como uma condição determinante para atingir uma distribuição fisiológica da carga^{1,33}, já que discrepâncias da fórmula metatarsal, supostamente sobrecarregariam uma região específica, lesando-a e causando dor^{10,16,17,34-36}.

O conceito de fórmula metatarsal harmônica segundo Maestro et al.³⁷, é um dos mais aceitos na literatura médica^{22,45}, pela importância em diagnosticar a

causa e o local da alteração mecânica, além da capacidade em orientar o planejamento cirúrgico na reconstrução da fórmula, utilizando osteotomias⁴⁴⁻⁴⁷. Esse fato, associado às altas correlações intra e interobservadores do método²², nos motivou a sua escolha para a avaliação radiográfica no plano axial, em detrimento aos outros métodos.

A osteotomia de Weil é amplamente utilizada para a reconstrução da fórmula metatarsal³⁷, partindo do conceito de realizar um corte ósseo paralelo à região plantar, permitindo deslizamento da cabeça do metatarsal e até atingir o formato harmônico, conforme planejado.

Diversos autores mostram bons resultados com essa técnica cirúrgica, mas apresentam recidivas ou metatarsalgias de transferências em 15% dos casos, mesmo reconstruindo a fórmula metatarsal no plano axial⁴⁴⁻⁴⁷.

Essas complicações relatadas por muitos autores, sugerem a possibilidade da avaliação diagnóstica e pré-operatória estarem incompletas, faltando a inspeção do plano ortogonal, o coronal^{8,10,16,20,44,64}.

Estudos aferindo a pressão plantar também questionam a correlação entre a fórmula metatarsal no plano axial e a distribuição de carga. Diversos autores mostram valores de pressão aumentados durante a marcha sob os 2º e 3º metatarsais em pacientes com metatarsalgia^{4,9,11,45,67,74}. Mas esse aumento não tem associação com o maior comprimento relativo dos metatarsais na radiografia anteroposterior^{3,67}.

Os estudos experimentais biomecânicos em cadáveres de Snyder et al.⁶⁶ e Trask et al.⁶⁸ comparam o efeito de diferentes osteotomias na distribuição de carga. Os autores evidenciam que as osteotomias de elevação das cabeças dos

metatarsais no plano coronal são mais efetivas para reduzir carga e pressão local, do que as de encurtamento.

As osteotomias de encurtamento, em especial a de Weil, apresentam bons resultados durante a sua evolução⁴⁵. Entretanto, a melhora advinda da cirurgia talvez não esteja relacionada apenas a adequação da distribuição da carga^{3,5,9,45,67}.

A distribuição de carga é influenciada pela interação entre: as estruturas cápsulo-ligamentares que estabilizam os ossos e arcos do pé; a mobilidade das articulações; o controle motor exercido pelas unidades miotendíneas; e o balanço sagital e coronal do tronco, modificando a dinâmica da marcha^{11,14,49-52}.

Especificamente no antepé, o papel dos tecidos moles plantares com suas características de indentação, “strain” e absorção de energia^{8,9,74}, deve ser interpretado com atenção nessa interação entre distribuição e dissipação de carga sob as cabeças dos metatarsais.

Wang et al.⁸, mostram que há diferença de volume de partes moles sob a cabeça de cada um dos cinco metatarsais, apresentando compressividade e capacidade de absorção diferentes. Weijers et al.⁹ identificam resultados semelhantes, concluindo que as partes moles sob os 2º e 3º metatarsais possuem o maior potencial de compressão sob carga, seguidos pelos 5º, 1º e 4º metatarsais, em ordem decrescente.

Esse achado de Wang et al.⁸ e Weijers et al.⁹, tem plausibilidade biológica, já que fisiologicamente a carga é maior sob os 2º e 3º metatarsais^{9,20}, e seria interessante do ponto de vista adaptativo, que as estruturas sob eles tivessem maior capacidade de acomodação à carga. Dessa forma, a distância das cabeças dos metatarsais do solo não indica necessariamente mudança de

pressão, pois a energia é parcialmente absorvida por partes moles com propriedades diferentes¹⁰.

Hofstaetter et al.⁴⁶, em 2005, questionam se a melhora causada pelo encurtamento cirúrgico do metatarsal, não estaria relacionada ao fato da cabeça apoiar durante a marcha em uma região com partes moles plantares saudáveis.

Dessa forma, o encurtamento do metatarsal teria um efeito de distribuir carga em uma região de coxim plantar saudável, e a elevação da cabeça no plano coronal seria mais efetiva na diminuição da pressão sob ela^{66,68}. Essas características devem ser ponderadas durante o planejamento cirúrgico, sendo contempladas com radiografias ortogonais, nos planos axial e coronal.

Definir o padrão fisiológico do alinhamento das cabeças dos metatarsais no plano coronal, e as diferenças nos pés com metatarsalgia, favorece o melhor diagnóstico e planejamento cirúrgico.

As radiografias axiais mostram que as cabeças dos metatarsais se dispõem de modo que $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$, $M1 < M3$ e $M1 = M4 = M5$ nos indivíduos sem metatarsalgia e sem deformidades. No grupo CM sem hálux valgo, encontramos uma disposição $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$, $M1 < M3$, $M1 < M4$ e $M1 < M5$. Ambos os grupos configuram uma fórmula metatarsal coronal curvilínea, na qual M2 e M3 estão dorsais, mas não um arco.

Nos pés com metatarsalgia e deformidade em valgo do 1º dedo identificamos uma fórmula com $M1 < M2 > M3 > M4 = M5$, $M1 < M4$, $M1 = M5$ e $M3 = M5$ representando uma fórmula na qual M2 e M3 estão dorsais. É difícil interpretar o posicionamento de M3 nessa fórmula, achado que pode estar relacionado ao tamanho desse subgrupo (n=33).

Nos pés de indivíduos com metatarsalgia identificamos, o apoio do M1 está mais plantar do que nos pés sem metatarsalgia e deformidades.

O objetivo principal foi determinar a posição das cabeças dos metatarsais no plano coronal com carga, utilizando a radiografia axial para a aferição. Utilizamos como modelo a metodologia de Maestro et al.³⁷, a qual usa apenas a radiografia anteroposterior. Dessa forma, evitando expor os indivíduos das nossas amostras a maiores doses de radiação, realizamos somente essas duas incidências. A radiografia em perfil com carga do pé poderia adicionar informações relacionadas à interação do antepé com o retropé.

O retropé foi avaliado clinicamente durante o exame físico, seguindo parâmetros definidos previamente na literatura^{75,76}. Optamos por incluir na nossa seleção variações de alinhamentos de 0° a 10°, evitando extremos, uma vez que o valgo de 5° é o considerado normal⁷⁶. A avaliação clínica é habitualmente utilizada na prática ortopédica⁷³, mas está sujeita a imprecisões.

Conforme Menz et al.⁶⁷ e Kaipel et al.³ mostram, há uma atrofia degenerativa do coxim plantar sob as cabeças dos metatarsais. Nós não pareamos as amostras por idade, fato que pode ter impacto nos resultados, pois apresentamos uma média de 4,9 anos maior no grupo CM.

Não houve pareamento pelo sexo, o grupo CM apresentou uma proporção maior de mulheres em relação ao grupo SM. Chang et al.²⁹ mostram não haver diferença de altura da cabeça do 2º metatarsal no plano coronal dos pés normais entre os sexos, mas identificam uma diminuição do tamanho nos pés femininos com metatarsalgia. De forma semelhante, Barroco et al.⁶² mostram no plano axial, um comprimento menor dos metatarsais nos pés femininos.

Incluimos no grupo CM pacientes apenas com metatarsalgia central por mais de 6 meses, porém não estratificamos por tempo de dor. O maior tempo de patologia pode representar uma maior degeneração do coxim plantar, com diminuição da altura das cabeças dos metatarsais, criando grupos morfológicos diferentes de alinhamento das cabeças no plano coronal⁶⁷.

A deformidade em valgo do hálux não foi recrutada ativamente na inclusão do grupo CM. Um número maior de hálux valgo (n=33) poderia ter mudado a significância estatística ($p=0,056$) da comparação da altura do 1º raio entre os pés com e sem a deformidade, trazendo maior certeza da validade desse resultado. De forma semelhante poderia ter impacto na diferença entre M3 e M5.

O presente estudo radiográfico foi realizado com carga, fato que simula o posicionamento das estruturas ósseas e ligamentares do pé durante a marcha^{44,77}. É um método estático avaliando a disposição das cabeças dos metatarsais no plano coronal, mas a interação dinâmica das características extrínsecas ao antepé, como o ângulo de progressão do pé, o controle motor e o balanço sagital e coronal do tronco não foram contempladas^{14,51,65,71}.

Esse é um estudo transversal, no qual descrevemos os achados encontrados e suas associações clínico radiográficas, sem estabelecer um nexo de causalidade, já que não há um acompanhamento da evolução desses indivíduos. Conseguimos inferir possíveis explicações aos nossos achados, que devem ser pesquisadas em futuros trabalhos.

A associação de graus diferentes de instabilidade das articulações tarsometatarsais pode estar relacionada aos achados radiográficos nos dois planos pesquisados, isso é objeto de avaliação futura em novos estudos.

De forma semelhante, a investigação do impacto da deformidade em valgo do hálux na metatarsalgia é importante. A incidência radiográfica axial proposta, permite a avaliação do grau de rotação da cabeça do 1º metatarsal e dos sesamóides, o que pode ser associado a quantificação do grau da deformidade em valgo, observada na radiografia anteroposterior^{30,58,78}. Uma amostra maior é necessária para comparar os diferentes grupos.

A avaliação de uma possível diferença de posicionamento das cabeças dos metatarsais com carga no plano coronal nas diferentes faixas etárias, é importante para compreender o papel da atrofia do coxim gorduroso na metatarsalgia.

Avaliações radiocinemáticas⁵⁴, associadas à plataforma de pressão e estudo da marcha, devem esclarecer os padrões de interação dinâmica do antepé com o restante do corpo durante a marcha, assim como avaliações tomográficas com carga⁷⁹.

7 CONCLUSÃO

7 CONCLUSÃO

As cabeças dos metatarsais em indivíduos sem metatarsalgia se alinham no plano coronal, da seguinte forma:

- M1 é mais plantar que M2 e M3;
- M1 se encontra na mesma altura que M4 e M5;
- M2 é mais dorsal que os demais metatarsais;
- M3 é mais dorsal que M4 e M5;
- M4 se encontra na mesma altura que M5.

As cabeças dos metatarsais em indivíduos com metatarsalgia se alinham no plano coronal, da seguinte forma:

- M1 é mais plantar que os demais metatarsais;
- M2 é mais dorsal que os demais metatarsais;
- M3 é mais dorsal que M4 e M5;
- M4 se encontra na mesma altura que M5.

No plano coronal o ponto de apoio do M1 se posicionou mais plantar nos pés de indivíduos com metatarsalgia, comparados com os assintomáticos.

8 ANEXOS

Anexo A – Aprovação da Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa



Hospital das Clínicas da FMUSP
Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq

1095

PROJETO DE PESQUISA

Título: AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA DO ARCO TRANSVERSO METATARSAL ATRAVÉS DO ESTUDO RADIOGRÁFICO AXIAL DO ANTEPÉ

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Tulio Diniz Fernandes

Versão: 1

Pesquisador Executante: Dr. Rafael Barban Sposeto

CAAE: 41816615.8.0000.0068

Co-autores: Dr. Marcos Hideyo Sakaki, Dr. Rafael Trevisan Ortiz, Dr. Alexandre Leme Godoy dos Santos, Dr. Marcos de Andrade Corsato, Dr. Marcelo Bordalo Rodrigues

Finalidade Acadêmica: Mestrado

Orientador: Prof. Dr. Tulio Diniz Fernandes

Instituição: HCFMUSP

Departamento: ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

Registro on-line: 13000

Número do Parecer: 1.015.270

Data da Relatoria: 08/04/2015

Apresentação do Projeto: Trata-se de estudo prospectivo para avaliação de dor na região anterior do pé (metatarsalgia) por meio de radiografia em pacientes com e sem queixa de metatarsalgia. Para a avaliação, realizar-se-á uma incidência radiográfica adicional em pacientes com queixas de metatarsalgia e em pacientes que serão submetidos a radiografias por outras queixas no serviço de pronto atendimento do IOT.

Objetivo da Pesquisa: Esse estudo tem como objetivo primário avaliar os padrões morfológicos do arco metatarsal transversal com carga através de exame radiológico em indivíduos metatarsalgia (caso) e em pessoas sem queixas algicas ou sinais de sobrecarga na região plantar do antepé (controle).

Avaliação dos Riscos e Benefícios: Risco baixo. Realizar-se-á uma incidência radiográfica adicional em pacientes com queixas de metatarsalgia e em pacientes que serão submetidos a radiografias por outras queixas no serviço de pronto atendimento do IOT. Benefícios - adequados - entendimento da utilidade de nova incidência de radiografia proposta.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa: Adequado.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória: Adequados. Explicação do TCLE suficiente.

Recomendações: Aprovação

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações: Aprovação.

Situação do Parecer: Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP: Não

Considerações Finais a critério do CEP: Em conformidade com a Resolução CNS nº 466/12 – cabe ao pesquisador: **a)** desenvolver o projeto conforme delineado; **b)** elaborar e apresentar relatórios parciais e final; **c)** apresentar dados solicitados pelo CEP, a qualquer momento; **d)** manter em arquivo sob sua guarda, por 5 anos da pesquisa, contendo fichas individuais e todos os demais documentos recomendados pelo CEP; **e)** encaminhar os resultados para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico participante do projeto; **f)** justificar perante ao CEP interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

São Paulo, 08 de Abril de 2015

Prof. Dr. Alfredo José Mansur
Coordenador
Comissão de Ética para Análise de
Projetos de Pesquisa – CAPPesq

Anexo B – Aprovação da Comissão de Científica do IOT-HC-FMUSP

DEPARTAMENTO DE ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

COMISSÃO CIENTÍFICA

IDENTIFICAÇÃO

Protocolo IOT nº 1095

Pesquisador Responsável: Prof. Túlio Diniz Fernandes
Pesquisador Executante: Dr. Rafael Barban Sposeto
Título: Avaliação morfológica do arco transversário metatarsal através do estudo radiográfico axial do antepé.
Grau de Pesquisa: Mestrado

APRECIACÃO GERAL DA PROPOSTA

1º PARECER

- Estudo justificado
 - Bem estruturado
 - Objetivos definidos
 - Falta o n estimado. (justificar ausência do n.).
- Aprovado com correção acima.

Relator
Comissão Científica
26.11.2014

DECISÃO DA COMISSÃO CIENTÍFICA EM 26.11.2014: Projeto aprovado com restrições:

Os pesquisadores deverão fazer as alterações acima mencionadas no projeto e encaminhar a Secretaria da Comissão Científica do DOT

Após enviar o projeto corrigido à Comissão Científica:

O pesquisador executante deverá entrar em contato com a Pós-Graduação do DOT/FMUSP para efetuar sua inscrição no programa de Ortopedia e Traumatologia

De acordo com o fluxo estabelecido pela Comissão Científica do DOT/FMUSP, deverá aguardar a inscrição do aluno na pós-graduação e o parecer da Comissão de Pós-Graduação DOT, para enviar o projeto de pesquisa ao CEP/FMUSP (Comitê de Ética da FMUSP), para avaliação.

Anexo C – Termo de consentimento livre e esclarecido**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO****DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL**

1. NOME:

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº: SEXO: .M F

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO.....Nº.....APTO:

BAIRRO/;.....CIDADE.....

CEP:.....TELEFONE/DDD: (.....).....

2. RESPONSÁVEL LEGAL

NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)

DOCUMENTO DE IDENTIDADE :SEXO: M F

DATA NASCIMENTO.:/...../.....

ENDEREÇO: Nº APTO:

BAIRRO:.....CIDADE:

CEP:.....TELEFONE: DDD (.....).....

DADOS SOBRE A PESQUISA

1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA

“ESTUDO RADIOGRÁFICO AXIAL DO ANTEPÉ PARA A AVALIAÇÃO DO ALINHAMENTO DA CABEÇA DOS METATARSAIS NO PLANO CORONAL”

2. PESQUISADOR Prof. Dr. Tulio Diniz

CARGO/FUNÇÃO: Chefe do Grupo de Pé e Tornozelo IOT HC FMUSP

INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº 48089

UNIDADE DO HCFMUSP: IOT HC FMUSP

PESQUISADOR Dr. Rafael Barban Sposeto

CARGO/FUNÇÃO: Médico assistente do Grupo de Pé e Tornozelo e Trauma IOT HC FMUSP

INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº 116109

UNIDADE DO HCFMUSP: IOT HC FMUSP

3. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:

RISCO MÍNIMO RISCO MÉDIO
 RISCO BAIXO RISCO MAIOR

4. DURAÇÃO DA PESQUISA: 24 MESES

1 – O objetivo deste estudo é observar quais são as formas mais comuns dos ossos da parte da frente do pé, quando pisamos, vistos na radiografia. Acredito que seja importante porque a partir da conclusão deste estudo poderemos diagnosticar o motivo de algumas dores na parte da frente dos pés, além de termos mais opções durante o tratamento cirúrgico de algumas doenças do pé;

2 – Para sua realização algumas perguntas sobre os seus pés serão feitas, exame físico e exames radiográficos dos seus dois pés;

3 – Ênfase que a sua participação é voluntária. Para o estudo faremos três radiografias diferentes dos dois pés do senhor(a), o axial do antepé, frente e perfil do pé, todos pisando.

4 – Não há desconfortos previstos para o voluntariado durante a execução do exame físico ou dos exames de radiografia. Há uma pequena exposição à radiação, porém não representa risco a curto ou a longo prazo, para o voluntário;

5 – Os participantes terão a oportunidade de passar por uma avaliação dos pés e nos casos de dor na parte da frente, serão orientados a iniciar o tratamento não cirúrgico.

6 – Relação de procedimentos alternativos que possam ser vantajosos, pelos quais o paciente pode optar;

7 – Em qualquer etapa do estudo, você terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. Os principais investigadores são o Prof. Dr. Tulio Diniz Fernandes e Dr. Rafael Barban Sposeto que podem ser encontrados no endereço **Rua Dr. Ovídio Pires de Campos, 333 - Cerqueira Cesar - São Paulo – SP - 05403-010 Tel.: 2661.6655.**

Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) Rua Ovídio Pires de Campos, 225 - 5º andar Tel: 2661-6442 ramais 16, 17, 18 E-mail: cappesq.adm@hc.fm.usp.br

8 – É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo à continuidade de seu tratamento na Instituição;

09 – Direito de confidencialidade – As informações obtidas serão analisadas em conjunto com outros pacientes, não sendo divulgado a identificação de nenhum paciente;

10 – Os participantes tem o direito de serem atualizados sobre os resultados parciais das pesquisas e de resultados que sejam do conhecimento dos pesquisadores;

Anexo D – Resultados das medidas antropométricas dos grupos

			Valor	p
Peso (kg)	SM	Média	73,0	0,146
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior Limite superior	70,0 75,9
		5% da média aparada		72,7
		Mediana		72,0
		Variância		203,9
		Desvio Padrão		14,2
		Mínimo		48,0
		Máximo		120,0
		Amplitude		72,0
		Amplitude interquartil		24,0
		Assimetria		0,3
		Curtose		0,0
	CM	Média		76,8
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior Limite superior	73,3 80,5
		5% da média aparada		76,0
		Mediana		75,0
		Variância		255,5
		Desvio Padrão		15,9
		Mínimo		52,0
		Máximo		120,0
	Amplitude		68,0	
	Amplitude interquartil		20,0	
	Assimetria		0,6	
	Curtose		0,4	

continua

				continuação	
				Valor	p
Altura (m)	SM	Média		1,6	0,382
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	1,6	
			Limite superior	1,7	
		5% da média aparada		1,6	
		Mediana		1,6	
		Variância		0,0	
		Desvio Padrão		0,1	
		Mínimo		1,5	
		Máximo		1,9	
		Amplitude		0,5	
		Amplitude interquartil		0,2	
		Assimetria		0,6	
		Curtose		-0,6	
		CM	Média		1,6
	95% Intervalo de Confiança para Média		Limite inferior	1,6	
			Limite superior	1,7	
	5% da média aparada			1,6	
	Mediana			1,7	
	Variância			0,0	
	Desvio Padrão			0,1	
	Mínimo			1,4	
	Máximo			1,9	
	Amplitude			0,5	
	Amplitude interquartil			0,1	
	Assimetria		0,0		
Curtose		-0,2			

continua

			continuação		
			Valor	p	
IMC (kg/m ²)	SM	Média	26,2	0,158	
		95% Intervalo de Confiança para Média	25,4		
		Limite inferior	25,4		
		Limite superior	27,1		
		5% da média aparada	26,1		
		Mediana	25,7		
		Variância	15,6		
		Desvio Padrão	3,9		
		Mínimo	20,0		
		Máximo	34,8		
		Amplitude	14,8		
		Amplitude interquartil	5,2		
		Assimetria	0,4		
		Curtose	-0,6		
		CM	Média	27,4	
			95% Intervalo de Confiança para Média	26,3	
			Limite inferior	26,3	
			Limite superior	28,5	
			5% da média aparada	27,1	
			Mediana	26,5	
			Variância	24,3	
			Desvio Padrão	4,9	
			Mínimo	18,8	
		Máximo	45,1		
		Amplitude	26,2		
		Amplitude interquartil	6,6		
		Assimetria	1,1		
		Curtose	2,7		

continua

		continuação	
		Valor	p
Nº do calçado	SM Média		38,0
			0,449
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	37,4
		Limite superior	38,6
	5% da média aparada		37,8
	Mediana		37,0
	Variância		8,6
	Desvio Padrão		2,9
	Mínimo		34,0
	Máximo		45,0
	Amplitude		11,0
	Amplitude interquartil		4,0
	Assimetria		0,9
	Curtose		-0,2
	CM Média		38,2
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	37,6
		Limite superior	38,8
	5% da média aparada		38,2
	Mediana		38,0
	Variância		7,7
Desvio Padrão		2,7	
Mínimo		33,0	
Máximo		44,0	
Amplitude		11,0	
Amplitude interquartil		5,0	
Assimetria		0,1	
Curtose		-1,0	
			conclusão

Anexo E – Comparação das médias das alturas das cabeças de cada metatarsal no plano coronal, entre os grupos

		Valor	p
1º MTT CM	Média (mm)	8,0	0,000
	IC 95%	7,4-8,6	
	Desvio padrão	3,02	
	Mediana	7,5	
	Amplitude interquartil	3,4	
1º MTT SM	Média (mm)	10,0	0,107
	IC 95%	9,4-10,6	
	Desvio padrão	3,2	
	Mediana (mm)	9,7	
	Amplitude interquartil	4,5	
2º MTT CM	Média (mm)	12,1	0,228
	IC 95%	11,6-12,6	
	Desvio padrão	2,6	
	Mediana (mm)	12,1	
	Amplitude interquartil	3,1	
2º MTT SM	Média (mm)	12,7	0,093
	IC 95%	12,2-13,2	
	Desvio padrão	2,6	
	Mediana (mm)	12,5	
	Amplitude interquartil	3,6	
3º MTT CM	Média (mm)	10,5	0,228
	IC 95%	10,0-11	
	Desvio padrão	2,4	
	Mediana (mm)	10,1	
	Amplitude interquartil	2,7	
3º MTT SM	Média (mm)	10,8	0,093
	IC 95%	10,4-11,3	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	11,0	
	Amplitude interquartil	3,9	
4º MTT CM	Média (mm)	9,5	0,093
	IC 95%	9,0-9,9	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	9,5	
	Amplitude interquartil	2,9	
4º MTT SM	Média (mm)	10,0	0,093
	IC 95%	9,5-10,5	
	Desvio padrão	2,4	
	Mediana (mm)	10,1	
	Amplitude interquartil	3,7	

continua

		continuação	
		Valor	p
5º MTT CM	Média (mm)	9,3	0,098
	IC 95%	8,8-9,8	
	Desvio padrão	2,5	
	Mediana (mm)	9,1	
	Amplitude interquartil	3,0	
5º MTT SM	Média (mm)	9,8	
	IC 95%	9,4-10,3	
	Desvio padrão	2,4	
	Mediana (mm)	9,8	
	Amplitude interquartil	3,8	

conclusão

Anexo F – Comparação das médias das alturas das cabeças no plano coronal de cada metatarsal em indivíduos sem hálux valgo, entre os grupos

		Valor	p
1º MTT SM	Média (mm)	10,0	0,000
	IC 95%	9,4-10,6	
	Desvio padrão	3,2	
	Mediana	9,7	
	Amplitude interquartil	4,5	
1º MTT CM	Média (mm)	8,4	0,600
	IC 95%	7,7-9,2	
	Desvio padrão	3,2	
	Mediana (mm)	7,9	
	Amplitude interquartil	3,8	
2º MTT SM	Média (mm)	12,7	0,600
	IC 95%	12,2-13,2	
	Desvio padrão	2,6	
	Mediana (mm)	12,5	
	Amplitude interquartil	3,6	
2º MTT CM	Média (mm)	12,5	0,571
	IC 95%	11,9-13,2	
	Desvio padrão	2,7	
	Mediana (mm)	12,5	
	Amplitude interquartil	3,7	
3º MTT SM	Média (mm)	10,8	0,571
	IC 95%	10,4-11,3	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	11,0	
	Amplitude interquartil	3,9	
3º MTT CM	Média (mm)	10,8	0,155
	IC 95%	10,3-11,4	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	10,5	
	Amplitude interquartil	2,8	
4º MTT SM	Média (mm)	10,0	0,155
	IC 95%	9,5-10,5	
	Desvio padrão	2,4	
	Mediana (mm)	10,1	
	Amplitude interquartil	3,7	
4º MTT CM	Média (mm)	9,6	0,155
	IC 95%	9,1-10,1	
	Desvio padrão	2,2	
	Mediana (mm)	9,6	
	Amplitude interquartil	2,9	

continua

		continuação	
		Valor	p
5º MTT SM	Média (mm)	9,8	0,317
	IC 95%	9,4-10,3	
	Desvio padrão	2,4	
	Mediana (mm)	9,8	
	Amplitude interquartil	3,8	
5º MTT CM	Média (mm)	9,8	
	IC 95%	9,1-10,1	
	Desvio padrão	2,2	
	Mediana (mm)	9,5	
	Amplitude interquartil	2,8	

conclusão

Anexo G – Comparação das médias das alturas das cabeças de cada metatarsal no plano coronal, dos pacientes com e sem hálux valgo no grupo CM

		Valor	p
1º MTT sem HV	Média (mm)	8,4	0,056
	IC 95%	7,7-9,2	
	Desvio padrão	3,21	
	Mediana	7,9	
	Amplitude interquartil	3,8	
1º MTT com HV	Média (mm)	7,2	
	IC 95%	6,3-8,0	
	Desvio padrão	2,4	
	Mediana (mm)	6,7	
	Amplitude interquartil	4,5	
2º MTT sem HV	Média (mm)	12,5	0,020
	IC 95%	11,9-13,2	
	Desvio padrão	2,7	
	Mediana (mm)	12,5	
	Amplitude interquartil	3,4	
2º MTT com HV	Média (mm)	11,2	
	IC 95%	10,4-12,1	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	11,4	
	Amplitude interquartil	3,0	
3º MTT sem HV	Média (mm)	10,8	0,079
	IC 95%	10,3-11,4	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	10,5	
	Amplitude interquartil	2,8	
3º MTT com HV	Média (mm)	9,8	
	IC 95%	8,9-10,6	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	9,7	
	Amplitude interquartil	2,8	
4º MTT sem HV	Média (mm)	9,6	0,346
	IC 95%	9,1-10,1	
	Desvio padrão	2,2	
	Mediana (mm)	9,6	
	Amplitude interquartil	2,9	
4º MTT com HV	Média (mm)	9,1	
	IC 95%	8,3-10,0	
	Desvio padrão	2,4	
	Mediana (mm)	9,4	
	Amplitude interquartil	3,2	

continua

		continuação	
		Valor	p
5º MTT sem HV	Média (mm)	9,6	0,074
	IC 95%	9,1-10,1	
	Desvio padrão	2,2	
	Mediana (mm)	9,5	
	Amplitude interquartil	2,8	
5º MTT com HV	Média (mm)	8,6	
	IC 95%	7,5-9,6	
	Desvio padrão	3,0	
	Mediana (mm)	8,6	
	Amplitude interquartil	4,4	

conclusão**Nota:** HV: hálux valgo

Anexo H – Comparação entre os grupos, das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé

		Valor	p
1º MTT CM	Média (mm)	13,5	0,046
	IC 95%	13,0-14,0	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana	13,5	
	Amplitude interquartil	3,8	
1º MTT SM	Média (mm)	12,7	
	IC 95%	12,3-13,2	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana (mm)	12,9	
	Amplitude interquartil	2,8	
2º MTT CM	Média (mm)	17,4	0,029
	IC 95%	16,8-18,1	
	Desvio padrão	3,3	
	Mediana (mm)	16,9	
	Amplitude interquartil	5,5	
2º MTT SM	Média (mm)	16,4	
	IC 95%	15,8-16,9	
	Desvio padrão	2,9	
	Mediana (mm)	16,3	
	Amplitude interquartil	4,2	
3º MTT CM	Média (mm)	12,6	0,644
	IC 95%	12,0-13,3	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	12,6	
	Amplitude interquartil	5,0	
3º MTT SM	Média (mm)	12,5	
	IC 95%	11,8-13,0	
	Desvio padrão	3,2	
	Mediana (mm)	12,0	
	Amplitude interquartil	3,55	
4º MTT CM	Média (mm)	3,8	0,812
	IC 95%	3,1-4,4	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	3,9	
	Amplitude interquartil	4,9	
4º MTT SM	Média (mm)	3,9	
	IC 95%	3,2-4,5	
	Desvio padrão	3,2	
	Mediana (mm)	3,8	
	Amplitude interquartil	4,3	

continua

		continuação	
		Valor	p
5º MTT CM	Média (mm)	-10,5	
	IC 95%	(-11,3) – (-9,8)	0,324
	Desvio padrão	3,9	
	Mediana (mm)	-10,0	
	Amplitude interquartil	4,9	
5º MTT SM	Média (mm)	-10,8	
	IC 95%	(-11,5)-(-10,1)	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	-10,9	
	Amplitude interquartil	5,3	

conclusão

Anexo I – Resultados das medidas das diferenças dos comprimentos das cabeças nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, entre os grupos

			Valor	p	
M1M2 (Diferença)	CM	Média	3,9	0,200	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		3,4
			Limite superior		4,3
		Mediana	4,0		
		Desvio Padrão	2,3		
	Amplitude interquartil	3,5			
	SM	Média	3,6		
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		3,1
			Limite superior		4,2
		Mediana	3,3		
Desvio Padrão		2,8			
Amplitude interquartil	3,4				
M2M3 (Diferença)	CM	Média	4,8	0,001	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		4,5
			Limite superior		5,1
		Mediana	5,0		
		Desvio Padrão	1,7		
	Amplitude interquartil	2,7			
	SM	Média	3,9		
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		3,5
			Limite superior		4,3
		Mediana	4,0		
Desvio Padrão		1,8			
Amplitude interquartil	2,5				

continua

				continuação	
				Valor	p
M3M4 (Diferença)	CM	Média		8,9	0,343
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	8,5	
			Limite superior	9,2	
		Mediana		8,8	
		Desvio Padrão		1,7	
		Amplitude interquartil		2,4	
	SM	Média		8,6	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	8,2	
			Limite superior	8,9	
		Mediana		8,5	
		Desvio Padrão		1,9	
		Amplitude interquartil		2,2	
M4M5 (Diferença)	CM	Média		14,3	0,221
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	13,8	
			Limite superior	14,8	
		Mediana		14,3	
		Desvio Padrão		2,5	
		Amplitude interquartil		4,0	
	SM	Média		14,7	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	14,3	
			Limite superior	15,0	
		Mediana		14,8	
		Desvio Padrão		2,0	
		Amplitude interquartil		2,0	

conclusão

Anexo J – Comparação entre os grupos, das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, em indivíduos sem hálux valgo

		Valor	P
1º MTT SM	Média (mm)	12,7	0,696
	IC 95%	12,3-13,2	
	Desvio padrão	2,3	
	Mediana	12,9	
	Amplitude interquartil	2,8	
1º MTT CM	Média (mm)	13,0	
	IC 95%	12,5-13,5	
	Desvio padrão	2,0	
	Mediana (mm)	12,9	
	Amplitude interquartil	3,45	
2º MTT SM	Média (mm)	16,4	0,300
	IC 95%	15,8-16,9	
	Desvio padrão	2,9	
	Mediana (mm)	16,3	
	Amplitude interquartil	4,2	
2º MTT CM	Média (mm)	17,0	
	IC 95%	16,3-17,7	
	Desvio padrão	3,0	
	Mediana (mm)	16,8	
	Amplitude interquartil	4,6	
3º MTT SM	Média (mm)	12,5	0,999
	IC 95%	11,8-13,0	
	Desvio padrão	3,2	
	Mediana (mm)	12,0	
	Amplitude interquartil	3,5	
3º MTT CM	Média (mm)	12,5	
	IC 95%	11,7-13,2	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	12,2	
	Amplitude interquartil	5,1	
4º MTT SM	Média (mm)	3,9	0,896
	IC 95%	3,2-4,5	
	Desvio padrão	3,2	
	Mediana (mm)	3,8	
	Amplitude interquartil	4,3	
4º MTT CM	Média (mm)	3,7	
	IC 95%	2,9-4,5	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	3,8	
	Amplitude interquartil	5,2	

continua

		continuação	
		Valor	p
5º MTT SM	Média (mm)	-10,8	0,655
	IC 95%	(-11,5)-(-10,1)	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	-10,9	
	Amplitude interquartil	5,3	
5º MTT CM	Média (mm)	-11,2	
	IC 95%	(-12,1)-(-10,3)	
	Desvio padrão	3,9	
	Mediana (mm)	-11,2	
	Amplitude interquartil	4,9	

conclusão

Anexo K – Comparação das medidas absolutas dos comprimentos relativos dos metatarsais nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, dos pacientes com e sem hálux valgo no grupo CM

		Valor	p
1º MTT sem HV	Média (mm)	13,0	0,000
	IC 95%	12,5-13,5	
	Desvio padrão	2,0	
	Mediana	12,9	
	Amplitude interquartil	3,4	
1º MTT com HV	Média (mm)	14,7	
	IC 95%	13,8-15,6	
	Desvio padrão	2,6	
	Mediana (mm)	15,4	
	Amplitude interquartil	4,0	
2º MTT sem HV	Média (mm)	17,0	0,001
	IC 95%	16,3-17,7	
	Desvio padrão	3,0	
	Mediana (mm)	16,8	
	Amplitude interquartil	4,6	
2º MTT com HV	Média (mm)	18,4	
	IC 95%	17,2-19,7	
	Desvio padrão	3,6	
	Mediana (mm)	18,9	
	Amplitude interquartil	5,8	
3º MTT sem HV	Média (mm)	12,5	0,391
	IC 95%	11,7-13,2	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	12,2	
	Amplitude interquartil	5,1	
3º MTT com HV	Média (mm)	13,1	
	IC 95%	11,8-14,3	
	Desvio padrão	3,5	
	Mediana (mm)	12,9	
	Amplitude interquartil	6,0	
4º MTT sem HV	Média (mm)	3,7	0,616
	IC 95%	2,9-4,5	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	3,8	
	Amplitude interquartil	5,2	
4º MTT com HV	Média (mm)	4,0	
	IC 95%	2,8-5,2	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	4,3	
	Amplitude interquartil	4,5	

continua

		continuação	
		Valor	p
5º MTT sem HV	Média (mm)	-11,2	0,009
	IC 95%	(-12,1)-(-10,3)	
	Desvio padrão	3,9	
	Mediana (mm)	-11,2	
	Amplitude interquartil	4,9	
5º MTT com HV	Média (mm)	-10,3	
	IC 95%	(-10,3)-(-7,9)	
	Desvio padrão	3,4	
	Mediana (mm)	-9,2	
	Amplitude interquartil	3,1	

conclusão

Anexo L – Resultados das medidas das diferenças dos comprimentos das cabeças nas radiografias anteroposteriores com carga do pé, no grupo com metatarsalgia, entre os pacientes com e sem hálux valgo

			Valor	p		
M1M2	Sem HV	Média	4,0	0,539		
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		3,5	
			Limite superior		4,5	
		Mediana	4,0			
		Desvio Padrão	2,3			
		Amplitude interquartil	3,5			
		Com HV	Média		3,8	
	95% Intervalo de Confiança para Média		Limite inferior		2,9	
			Limite superior		4,7	
	Mediana		3,9			
	Desvio Padrão		2,4			
	Amplitude interquartil		3,2			
	M2M3		Sem HV		Média	4,5
		95% Intervalo de Confiança para Média			Limite inferior	4,1
Limite superior				4,9		
Mediana		4,6				
Desvio Padrão		1,7				
Amplitude interquartil		2,6				
Com HV		Média		5,3		
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	4,8		
			Limite superior	5,9		
		Mediana	5,5			
		Desvio Padrão	1,6			
		Amplitude interquartil	2,3			

continua

					continuação	
			Valor	p		
M3M4	Sem HV	Média		8,8	0,445	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	8,4		
			Limite superior	9,2		
		Mediana		8,9		
		Desvio Padrão		1,7		
		Amplitude interquartil		2,1		
	Com HV	Média		9,0		
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	8,4		
			Limite superior	9,6		
		Mediana		8,7		
		Desvio Padrão		1,7		
		Amplitude interquartil		2,8		
		M4M5	Sem HV	Média		
95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior			14,3		
	Limite superior			15,5		
Mediana				14,8		
Desvio Padrão				2,5		
Amplitude interquartil				3,4		
Com HV	Média			13,2		
	95% Intervalo de Confiança para Média		Limite inferior	12,3		
			Limite superior	14,0		
	Mediana			12,5		
Desvio Padrão		2,3				
Amplitude interquartil		4,1				

continua

			continuação		
			Valor	p	
SM4M4	Sem HV	Média	0,5	0,153	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		0,4
			Limite superior		0,7
		Mediana	1,0		
		Desvio Padrão	0,6		
		Amplitude interquartil	1,0		
		Com HV	Média		0,3
	95% Intervalo de Confiança para Média		Limite inferior	0,1	
			Limite superior	0,6	
	Mediana		0,0		
	Desvio Padrão		0,7		
	Amplitude interquartil		1,0		
					conclusão

9 REFERÊNCIAS

9 REFERÊNCIAS

1. Bygrave CJ, Betts RP. The plantar tissue thickness in the foot: a new ultrasound technique for loadbearing measurements and a metatarsal head depth study. *Foot*. 1993;3(2):71–8.
2. Demp PH. Pathomechanical metatarsal arc: radiographic evaluation of its geometric configuration. *Clin Podiatr Med Surg*. 1990;7(4):765-76.
3. Kaipel M, Krapf D, Wyss C. Metatarsal length does not correlate with maximal peak pressure and maximal force. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(4):1161-6.
4. Kanatli U, Yetkin H, Bolukbasi S. Evaluation of the transverse metatarsal arch of the foot with gait analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2003;123(4):148-50.
5. Khurana A, Kadamabande S, James S, Tanaka H, Hariharan K. Weil osteotomy: assessment of medium term results and predictive factors in recurrent metatarsalgia. *Foot Ankle Surg*. 2011;17(3):150-7.
6. Lauf E, Weinraub GM. Asymmetric “V” osteotomy: a predictable surgical approach for chronic central metatarsalgia. *J Foot Ankle Surg*. 1996;35(6):550-9.
7. Simonsen O, Vuust M, Understrup B, Højbjerg M, Bøttcher S, Voigt M. The transverse forefoot arch demonstrated by a novel X-ray projection. *Foot Ankle Surg*. 2009;15(1):7-13.

8. Wang CL, Hsu TC, Shau YW, Shieh JY, Hsu KH. Ultrasonographic measurement of the mechanical properties of the sole under the metatarsal heads. *J Orthop Res.* 1999;17(5):709-13.
9. Weijers RE, Walenkamp GHM, Kessels AGH, Kemerink GJ, van Mameren H. Plantar pressure and sole thickness of the forefoot. *Foot Ankle Int.* 2005;26(12):1049-54.
10. Daentzer D, Wülker N, Zimmermann U. Observations concerning the transverse metatarsal arch. *Foot Ankle Surg.* 1997;3(1):15–20.
11. Luger EJ, Nissan M, Karpf A, Steinberg EL, Dekel S. Patterns of weight distribution under the metatarsal heads. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(2):199-202.
12. Mann, RA; Haskell A. Biomechanics of the foot and ankle. In: Coughlin, MJ. Mann, RA. Saltzman C, editor. *Surgery of the foot and ankle.* 8th ed. Philadelphia, PA: Mosby Elsevier; 2007. p. 3–44.
13. Leardini A, Benedetti MG, Berti L, Bettinelli D, Nativo R, Giannini S. Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait. *Gait Posture.* 2007;25(3):453–62.
14. Caravaggi P, Leardini A, Crompton R. Kinematic correlates of walking cadence in the foot. *J Biomech.* 2010;43(12):2425-33.
15. Kudou S, Hamajima K, Kaneiwa J, Hatanaka Y. Reliability of the transverse arch of the forefoot as an indicator of foot conditions. *J Phys Ther Sci.* 2012;24(4):335–7.
16. Ward CV, Kimbel WH, Johanson DC. Complete fourth metatarsal and arches in the foot of *Australopithecus afarensis*. *Science.* 2011;331(6018):750-3.

17. Gwani AS, Asari MA, Mohd Ismail ZI. How the three arches of the foot intercorrelate. *Folia Morphol (Warsz)*. 2017 May 29.
18. Espinosa N, Brodsky JW, Maceira E. Metatarsalgia. *J Am Acad Orthop Surg*. 2010;18(8):474-85.
19. Espinosa N, Maceira E, Myerson MS. Current concept review: metatarsalgia. *Foot Ankle Int*. 2008;29(8):871-9.
20. Chang BC, Liu DH, Chang JL, Lee SH, Wang JY. Plantar pressure analysis of accommodative insole in older people with metatarsalgia. *Gait Posture*. 2014;39(1):449-54
21. Griffin NL, Richmond BG. Cross-sectional geometry of the human forefoot. *Bone*. 2005;37(2):253-60.
22. Deleu PA, Pod H, Leemrijse T, Birch I, Vande Berg B, Bevernage BD. Reliability of the Maestro radiographic measuring tool. *Foot Ankle Int*. 2010;31(10):884-91.
23. Lelièvre J. Arquitectura del pie. In: Lelièvre J, editor. *Patología del pie: clínica, tratamiento médico, ortopédico y quirúrgico*. 1ed. Barcelona: Toray - Masson; 1970. p. 7–34.
24. Viladot A. Anatomia e biomecânica. In: Viladot A, editor. *Quinze lições sobre patologias do pé*. 1 ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2003. p. 1–40.
25. Saló JM. Metatarsalgia. In: Viladot A, editor. *Quinze lições sobre patologias do pé*. 1 ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2003. p. 145–64.
26. Sarrafian SK, Kelikian AS. Osteology. In: Kelikian AS, editor. *Anatomy of the Foot and Ankle*. 3th ed. Philadelphia, PA: Lippicott Williams & Wilkins; 2011. p. 40–119.

27. Viladot A. The Metatarsal. In: Jahss MH, editor. *Disorders of the foot*. Philadelphia, PA: W.B. Saunders; 1982. p. 659–710.
28. Lelièvre J. Estática del Pie. In: Lelièvre J, editor. *Patología del Pie: clínica, tratamiento médico, ortopédico y quirúrgico*. 1 ed. Barcelona: Toray - Masson; 1970. p. 35–49.
29. Chang JW, Griffiths H, Chan DP. A new radiological technique for the forefoot. *Foot Ankle*. 1984 Sep-Oct;5(2):77-83.
30. Suzuki J, Tanaka Y, Takaoka T, Kadono K, Takakura Y. Axial radiographic evaluation in hallux valgus: evaluation of the transverse arch in the forefoot. *J Orthop Sci*. 2004;9(5):446-51.
31. Osher LS, DeMore M 3rd, Atway S, Thomson MK. Extended pedal imaging via modifications of the traditional forefoot axial radiographic study: teaching new tricks to an old dog? an initial report with case presentations. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2008;98(3):171-88.
32. Lipscombe S, Hennessy M. Radiography of the metatarsal heads and sesamoids: an alternative method. *J Foot Ankle Surg*. 2007;46(6):508-9.
33. Wang TG, Hsiao TY, Wang TM, Shau YW, Wang CL. Measurement of vertical alignment of metatarsal heads using a novel ultrasonographic device. *Ultrasound Med Biol*. 2003;29(3):373-7.
34. Coughlin MJ. Common causes of pain in the forefoot in adults. *J Bone Joint Surg Br*. 2000;82(6):781-90.
35. Trnka HJ, Mühlbauer M, Zettl R, Myerson MS, Ritschl P. Comparison of the results of the Weil and Helal osteotomies for the treatment of metatarsalgia secondary to dislocation of the lesser metatarsophalangeal joints. *Foot Ankle Int*. 1999;20(2):72-9.

36. Davies MS, Saxby TS. Metatarsal neck osteotomy with rigid internal fixation for the treatment of lesser toe metatarsophalangeal joint pathology. *Foot Ankle Int.* 1999;20(10):630-5.
37. Maestro M, Besse JL, Ragusa M, Berthonnaud E. Forefoot morphotype study and planning method for forefoot osteotomy. *Foot Ankle Clin.* 2003;8(4):695-710.
38. Schuh R, Trnka HJ. Metatarsalgia: distal metatarsal osteotomies. *Foot Ankle Clin.* 2011;16(4):583-95.
39. Maceira E, Monteagudo M. Transfer metatarsalgia post hallux valgus surgery. *Foot Ankle Clin.* 2014;19(2):285-307.
40. Lelièvre J. *Patología del pie fisiología: clínica tratamientos médico, ortopédico y quirúrgico.* 1 ed. Barcelona: Toray - Masson; 1970.
41. Coughlin MJ. Crossover second toe deformity. *Foot Ankle.* 1987;8(1):29-39.
42. Hardy RH, Clapham JCR. Observations on hallux valgus. *J Bone Joint Surg Br.* 1951;33(3):376-91.
43. Morton DJ. *The human foot. Its evolution, physiology and functional disorders.* 4th ed. Nova York: Columbia University Press; 1935.
44. Fuhrmann RA, Layher F, Wetzel WD. Radiographic changes in forefoot geometry with weightbearing. *Foot Ankle Int.* 2003;24(4):326-31.
45. Devos Bevernage B, Leemrijse T. Predictive value of radiographic measurements compared to clinical examination. *Foot Ankle Int.* 2008;29(2):142-9.

46. Hofstaetter SG, Hofstaetter JG, Petroutsas JA, Gruber F, Ritschl P, Trnka HJ. The Weil osteotomy: a seven-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(11):1507-11.
47. Highlander P, VonHerbulis E, Gonzalez A, Britt J, Buchman J. Complications of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Spec.* 2011;4(3):165-70.
48. Trnka HJ, Gebhard C, Mühlbauer M, Ivanic G, Ritschl P. The Weil osteotomy for treatment of dislocated lesser metatarsophalangeal joints: good outcome in 21 patients with 42 osteotomies. *Acta Orthop Scand.* 2002;73(2):190-4.
49. Stainsby GD. Pathological anatomy and dynamic effect of the displaced plantar plate and the importance of the integrity of the plantar plate-deep transverse metatarsal ligament tie-bar. *Ann R Coll Surg Engl.* 1997;79(1):58-68.
50. Harris NJ, Chell J, Smith TW. Patterns of weight distribution under the metatarsal heads. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(4):744.
51. Canseco K, Long J, Marks R, Khazzam M, Harris G. Quantitative characterization of gait kinematics in patients with hallux rigidus using the Milwaukee foot model. *J Orthop Res.* 2008;26(4):419-27.
52. Koenraadt KLM, Stolwijk NM, van den Wildenberg D, Duysens J, Keijsers NLW. Effect of a metatarsal pad on the forefoot during gait. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2012;102(1):18-24.
53. Doty JF, Coughlin MJ. Hallux valgus and hypermobility of the first ray: facts and fiction. *Int Orthop.* 2013;37(9):1655-60.

54. Dietze A, Bahlke U, Martin H, Mittlmeier T. First ray instability in hallux valgus deformity. *Foot Ankle Int.* 2013;34(1):124-30.
55. Dayton P, Kauwe M, Feilmeier M. Is our current paradigm for evaluation and management of the bunion deformity flawed? a discussion of procedure philosophy relative to anatomy. *J Foot Ankle Surg.* 2015;54(1):102-11.
56. Shibuya N, Roukis TS, Jupiter DC. Mobility of the first ray in patients with or without hallux valgus deformity: systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56(5):1070-5.
57. Klaue K, Hansen ST, Masquelet AC. Clinical, quantitative assessment of first tarsometatarsal mobility in the sagittal plane and its relation to hallux valgus deformity. *Foot Ankle Int.* 1994;15(1):9-13.
58. Kuwano T, Nagamine R, Sakaki K, Urabe K, Iwamoto Y. New radiographic analysis of sesamoid rotation in hallux valgus: comparison with conventional evaluation methods. *Foot Ankle Int.* 2002;23(9):811-7.
59. Saowaprut S, Lalitwongchai A, Rohitopakarn S. Normal radiographic values of the forefoot in the Thai women population. *J Med Assoc Thai.* 2009;92 (Suppl 6):S251-7.
60. Mortier JP, Bernard JL, Maestro M. Axial rotation of the first metatarsal head in a normal population and hallux valgus patients. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012;98(6):677-83.
61. Kaz AJ, Coughlin MJ. Crossover second toe: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int.* 2007;28(12):1223-37.
62. Barroco R, Nery C, Favero G, Mombach R, Nascimento O, Jorge S, et al. Avaliação da relação dos metatarsais na biomecânica de 332 pés

- normais pelo método de mensuração dos seus comprimentos relativos. *Rev Bras Ortop.* 2011;46(4):431–8.
63. Chauhan D, Bhutta MA, Barrie JL. Does it matter how we measure metatarsal length? *Foot Ankle Surg.* 2011;17(3):124-7.
64. Arie EK, Moreira NSA, Freire GS, dos Santos BS, Yi LC. Estudo da fórmula metatarsal em pacientes com metatarsalgia primária. *Rev Bras Ortop.* 2015;50(4):438-44.
65. Slullitel G, López V, Calvi JP, Seletti M, Bartolucci C, Pinton G. Effect of first ray insufficiency and metatarsal index on metatarsalgia in hallux valgus. *Foot Ankle Int.* 2016;37(3):300-6.
66. Snyder J, Owen J, Wayne J, Adelaar R. Plantar pressure and load in cadaver feet after a Weil or Chevron osteotomy. *Foot ankle Int.* 2005;26(2):158–65.
67. Menz HB, Fotoohabadi MR, Munteanu SE, Zammit G V, Gilheany MF. Plantar pressures and relative lesser metatarsal lengths in older people with and without forefoot pain. *J Orthop Res.* 2013;31(3):427-33.
68. Trask DJ, Ledoux WR, Whittaker EC, Roush GC, Sangeorzan BJ. Second metatarsal osteotomies for metatarsalgia: a robotic cadaveric study of the effect of osteotomy plane and metatarsal shortening on plantar pressure. *J Orthop Res.* 2014;32(3):385-93.
69. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 1977;33(1):159-74.
70. Lin LI. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics.* 1989;45(1):255-68.

71. Arnold JB, Mackintosh S, Jones S, Thewlis D. Differences in foot kinematics between young and older adults during walking. *Gait Posture*. 2014;39(2):689-94.
72. Yamaguchi S, Sasho T, Endo J, Yamamoto Y, Akagi R, Sato Y, et al. Shape of the lateral edge of the first metatarsal head changes depending on the rotation and inclination of the first metatarsal: a study using digitally reconstructed radiographs. *J Orthop Sci*. 2015;20(5):868-74.
73. Osny S, Carvalho Júnior AE, Fernandes TD, Koyama C, Carlos J, Arruda ADE, Kosai T. Hálux valgo e pé plano: estudo radiográfico em 160 pacientes. *Rev Bras Ortop*. 1993;28(6):402-6.
74. Menz HB. Biomechanics of the ageing foot and ankle: a mini-review. *Gerontology*. 2015;61(4):381-8.
75. Slullitel G, Álvarez V, Lopez V, Calvi JP, Calvo AB. How accurate is clinical evaluation in hindfoot coronal alignment? *Foot Ankle Orthop*. 2017; 2(4):1-7.
76. Young CC, Niedfeldt MW, Morris GA, Eerkes KJ. Clinical Examination of the Foot and Ankle. *Prim Care Clin Off Pr*. 2005;32:105-32.
77. Cavanagh PR, Morag E, Boulton AJ, Young MJ, Deffner KT, Pammer SE. The relationship of static foot structure to dynamic foot function. *J Biomech*. 1997;30(3):243-50.
78. Wen J, Ding Q, Yu Z, Sun W, Wang Q, Wei K. Adaptive changes of foot pressure in hallux valgus patients. *Gait Posture*. 2012;36(3):344-9.
79. Cheung ZB, Myerson MS, Tracey J, Vulcano E. Weightbearing CT scan assessment of foot alignment in patients with hallux rigidus. *Foot Ankle Int*. 2018;39(1):67-74.