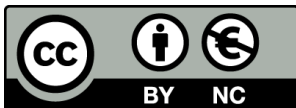


OSTEOTOMIA PERCUTÀNIA DISTAL DEL
PRIMER METATARSIÀ PER A LA CORRECCIÓ DE
L'HÀL.LUX VALGUS.
ESTUDI EXPERIMENTAL COMPARATIU DE DUES
TÈCNIQUES QUIRÚRGIQUES

Ester Navarro Cano

Per citar o enllaçar aquest document:
Para citar o enlazar este documento:
Use this url to cite or link to this publication:
<http://hdl.handle.net/10803/672823>



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.ca>

Aquesta obra està subjecta a una llicència Creative Commons Reconeixement-NoComercial

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial licence



TESI DOCTORAL

Osteotomia percutània distal del primer metatarsià per
a la correcció de l'hà.lux valgus.

Estudi experimental comparatiu de dues tècniques
quirúrgiques.

ESTER NAVARRO CANO

ANY 2021



TESI DOCTORAL

Osteotomia percutània distal del primer metatarsià per a la correcció de l'hà.lux valgus. Estudi experimental comparatiu de dues tècniques quirúrgiques.

Autora: Ester Navarro Cano

Any de dipòsit: 2021

Programa de Doctorat en Biologia Molecular, Biomedicina i Salut.

Línia de recerca: Anatomia clínica, Embriologia, Neurociència

Dirigida per:

Dr. FRANCISCO REINA DE LA TORRE

Dra. ANNA CARRERA BURGAYA

Tutoritzada per:

Dr. Francisco Reina de la Torre

Memòria presentada per optar al títol de doctora per la Universitat de Girona

Publicacions derivades de la tesi:

A comparison of two designs of postoperative shoe for hallux valgus surgery: A biomechanical study in a cadaveric model. Navarro-Cano E, Guevara-Noriega KA, Lucar-Lopez G, Reina F, Carrera A. *Foot Ankle Surg.* 2021 Jan;27(1):82-86.
Doi:10.1016/j.fas.2020.02.010

Distal percutaneous osteotomy of the first metatarsal bone for the correction of Hallux Valgus. Comparison of two operative techniques on a cadaveric model.
Navarro-Cano E, Guevara-Noriega KA, Sanjuan-Castillo MA, Carrera A, Reina F.
En revisió editorial per *Journal of Foot and Ankle Surgery*.

Percutaneous Hallux Valgus surgery: anatomical study of its safety and effectiveness
Navarro-Cano E, Carrera A, Kenschake M, Guevara-Noriega KA, Reina F.
Acceptat per publicació en *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. Pendent de revisió editorial de canvis menors.

Certificat de la direcció de la tesi:


Universitat de Girona
Departament de Ciències Mèdiques

El Dr. Francisco Reina de la Torre i la Dra. Anna Carrera Burgaya, professors titulars del Departament de Ciències Mèdiques de la Universitat de Girona,

DECLAREN

Que el treball titulat "**Osteotomia percutània distal del primer metatarsià per a la correcció de l'hà·lux valgus. Estudi comparatiu de dues tècniques quirúrgiques**", que presenta la Sra. Ester Navarro Cano per a l'obtenció del títol de doctora, s'ha dut a terme sota la nostra direcció i compleix tots els requisits per a la seva defensa pública.

I perquè consti, als efectes d'iniciar els procediments de revisió interna i externa que exigeix l'Escola de Doctorat de la Universitat de Girona, signem la present a Girona, 5 de gener de 2021.

Dr. Francisco Reina de la Torre

Dra. Anna Carrera Burgaya

七転び八起き

Nana korobi ya oki

Set cops vaig caure, i vuit em vaig aixecar

Dedicatòria:

Per la Pura, que em va convèncer de que sempre podria fer allò que em proposés.

Agraïments:

Vaig començar aquest projecte fa més de cinc anys, quan em vaig presentar a la Universitat a exposar una idea de recerca que s'havia originat donades les inquietuds que em van sorgir havent estat fent durant tres anys cirurgia percutània d'avantpeu.

A la Universitat de Girona vaig trobar en Francisco Reina i l'Anna Carrera que van decidir recolzar-me en aquest projecte i donar-me tot tipus d'ajuda, tant logística, com acadèmica, com personal. M'han aguantat els acudits i les llàgrimes, m'han fet aprendre moltíssimes coses, i em van venir a rescatar en un moment personal dur. No crec que mai pugui expressar amb prou claredat fins a quin punt els hi estic agraïts. També voldria agrair l'ajuda, el riure i el suport emocional que vaig trobar tant amb la Míriam com amb en Marçal. És un plaer haver-me pogut creuar amb ells en el meu camí.

S'ha d'agrair també el suport que vaig trobar amb la meva antiga cap de Servei, l'Ángeles Sanjuan, que va remoure cel i terra per poder-me donar un cop de ma en aquest projecte. El meu cap de Servei actual, l'Albert Broch (*aka world's best boss*) ha fet possible que pugui fer l'empenta final durant l'últim any per poder portar el projecte a bon port. També vull agrair els meus companys, David Torras i Lluís Ximeno, per haver-me introduït, amb molt d'humor, en el món de la cirurgia percutània del peu.

La meva falta de coneixement estadístic em va portar a posar-me en contacte amb en Kerbi Guevara, que ha resultat ser una persona molt especial i amb qui espero poder continuar col·laborant en el futur.

També voldria donar les gràcies a aquells que van triar donar el seu cos a la ciència i que fan possible projectes de recerca en anatomia com aquest. Els resultats de la recerca que faciliten ajuden a millorar el nostre coneixement anatòmic i quirúrgic, i ens fan millorar la pràctica clínica dels professionals de la salut.

Per últim, vull agrair a la meva família tota la paciència que han tingut amb mi aquest anys, i també l'aparent interès que han anat manifestant durant tot aquest temps. Mai en cinc anys els vaig sentir demanar-me que parés de parlar de peus.

ÍNDEX GENERAL

ÍNDEX DE FIGURES	1
ÍNDEX DE TAULES	8
ÍNDEX D'ANNEXOS	10
LLISTAT D'ABREVIATURES	11
RESUM	12
RESUMEN	15
ABSTRACT	18
I: INTRODUCCIÓ	21
I.1. Justificació	22
I.2. Anatomia de l'hàl.lux	25
I.2.1. Osteologia	26
I.2.2. Primera articulació metatarsofalàngica	27
I.2.3. Musculatura de l'hàl.lux	29
I.2.4. Innervació	32
I.2.5. Vascularització	34
I.3. Fórmula digital i metatarsiana	36
I.4. Cinemàtica de la marxa humana	37
I.5. Etiopatogènia de l'hàl.lux valgus	40
I.6. Mesures i classificació de l'hàl.lux valgus	44

I.7. Procediments per a la cirurgia d'hàl.lux valgus	47
I.7.1. Artroplàsties de resecció	47
I.7.2. Artròdesi metatarsofalàngica	48
I.7.3. Artroplàstia metatarsofalàngica	48
I.7.4. Procediments de parts toves	49
<i>I.7.4.a. Procediment de McBride</i>	50
<i>I.7.4.b. Procediment de Smith Petersen</i>	50
I.7.5. Osteotomies del primer metatarsià	51
<i>I.7.5.a. Osteotomies proximals del primer metatarsià</i>	51
<i>I.7.5.b. Osteotomies diafisials del primer metatarsià</i>	53
<i>I.7.5.c. Osteotomies distals del primer metatarsià</i>	54
I.7.6. Osteotomia de la falange proximal	56
I.7.7. Cirurgia percutània	56
I.8. Història de les osteotomies distals del primer metatarsià percutànies	58
I.9. Maneig postoperatori de la cirurgia d'hàl.lux valgus	62
II: HIPÒTESI I OBJECTIUS	65
III: METODOLOGIA	67
Consideracions generals	68
III.1. Fase 1: Estudi de les sabates ortopèdiques utilitzades en el postoperatori de la cirurgia d'hàl.lux valgus	69
III.1.1. Sabates ortopèdiques	69
III.1.2. Bancada de forces	70
III.1.3. Dades barogràfiques	72

III.1.4. Anàlisi estadística	76
III.2. Fase 2. Estudi comparatiu de dues tècniques quirúrgiques	76
III.2.1. Tècnica quirúrgica	77
<i>III.2.1.a. Osteotomia de Chevron</i>	78
<i>III.2.1.b. Osteotomia de SERI</i>	79
<i>III.2.1.c. Osteotomia d'Akin</i>	80
<i>III.2.1.d. Tenotomia de l'adductor</i>	81
<i>III.2.1.e. Embenats</i>	81
III.2.2. Avaluació radiològica	82
<i>III.2.2.a. Càrrega progressiva postoperatòria</i>	85
III.2.3. Anàlisi estadística	86
III.3. Fase 3: Valoració anatòmica de la seguretat i l'efectivitat de la cirurgia percutània de l'hàl.lux valgus	87
III.3.1. Estructures neurovasculars en risc	87
III.3.2. Lesió d'estructures tendinoses	91
III.3.3. Valoració de lesions en el cartílag de l'articulació metatarsfalàngica	92
III.3.4. Compleció de l'alliberament del tendó del múscul <i>adductor hallucis</i>	93
III.3.5. Avaluació de la compleció de les osteotomies	93
IV: RESULTATS	94
IV.1. Resultats de la fase 1: Estudi de les sabates ortopèdiques utilitzades en el postoperatori de la cirurgia d'hàl.lux valgus	95
IV.1.1. Pressió en el taló	95
IV.1.2. Pressió sota el cap del primer metatarsià	97

IV.2. Resultats de la fase 2: Estudi comparatiu de dues tècniques quirúrgiques	99
IV.2.1. Angle d'hàl.lux valgus	99
IV.2.2. Angle intermetatarsià	100
IV.2.3. Angle articular del cap del primer metatarsià	101
IV.2.4. Posició sesamoide	102
IV.2.5. Angle metafisodiafisial	103
IV.2.6. Distància entre els fragments ossis	103
IV.3. Resultats de la fase 3: Valoració anatòmica de la seguretat i l'efectivitat de la cirurgia percutània de l'Hàl.lux valgus	105
IV.3.1. Estructures neurovasculars en risc	105
IV.3.2. Lesió d'estructures tendinoses	108
IV.3.3. Valoració de lesions en el cartílag de l'articulació metatarsofalàngica	109
IV.3.4. Compleció de l'alliberament del tendó del múscul <i>adductor hallucis</i>	109
IV.3.5. Avaluació de la compleció de les osteotomies	110
V: DISCUSSIÓ	111
V.1. Fase 1: Estudi de les sabates ortopèdiques utilitzades en el postoperatori de la cirurgia d'hàl.lux valgus	112
V.2. Fase 2: Comparació d'osteotomies del primer metatarsià	114
V.2.1. Avaluació de les tècniques mitjançant radiologia anteroposterior	115
V.2.2. Avaluació de les tècniques mitjançant radiologia lateral	117
V.3. Fase 3: Valoració anatòmica de la seguretat i l'efectivitat de la cirurgia percutània de l'hàl.lux valgus	120
V.3.1. Estructures neurovascular en risc	121

<i>V.3.3.a. Seguretat del portal dorsolateral</i>	122
V.3.2. Lesions d'estructures tendinoses	122
V.3.3. Valoració de lesions en el cartílag de l'articulació metatarsofalàngica	123
V.3.4. Compleció de l'alliberament del tendó del múscul <i>adductor hallucis</i>	123
V.3.5. Avaluació de la compleció de les osteotomies	124
VI: CONCLUSIONS	125
VII: BIBLIOGRAFIA	127
VIII: ANNEXOS	135

ÍNDEX DE FIGURES

	Pàgina
<p>Figura 1: Hàl·lux valgus de diferents severitats, les línies vermelles mostren l'angle intermetatarsal. A: lleu, i B: moderat, indicació d'osteotomia distal. C: sever, indicació d'osteotomia proximal. A sota, 1: esquema d'exemple d'osteotomia distal, amb lateralització del cap gràcies a l'acció de palanca d'una agulla de Kischner. 2: esquema d'exemple d'osteotomia proximal, amb cunya d'obertura. Fotografia extreta i adaptada de: Ray J et al. <i>Hallux Valgus. Foot and Ankle Orthopaedics</i> (2019) 4(2).</p>	23
<p>Figura 2: Peu en fase de creixement on s'evidencien els nuclis d'ossificació. Els quatre metatarsians laterals tenen els nuclis d'ossificació a nivell distal. En canvi, el primer metatarsià té el nucli d'ossificació a nivell proximal, igual que les falanges. Fotografia extreta de: <i>The Foot and Ankle: Congenital and Developmental Conditions</i> (2017). http://www.radiologykey.com.</p>	25
<p>Figura 3: Primer radi plantar, format pel primer metatarsià i les dues falanges. Il·lustració extreta de: Henry Gray (1918). <i>Anatomy of the Human Body</i>. http://www.bartleby.com.</p>	26
<p>Figura 4: Il·lustració del primer metatarsià. Extret de: Henry Gray (1918). <i>Anatomy of the Human Body</i>. http://www.bartleby.com.</p>	28
<p>Figura 5: Anatomia de la primera articulació metatarsofalàngica, amb les seves relacions lligamentoses. A: visió medial de l'articulació MTP. B: Primera articulació MTP, detall del complex glenosesamoidal. Extret de: <i>Dorsal cheilectomy for hallux rigidus</i> (2017). http://www.musculoskeletalkey.com/dorsal-cheilectomy-for-hallux-rigidus.</p>	30
<p>Figura 6: Musculatura intrínseca del peu. A: múscul <i>Flexor Hallucis Brevis</i>, B: múscul <i>Abductor Hallucis</i>, C: múscul <i>Adductor Hallucis</i>, i D: múscul <i>Extensor Hallucis Brevis</i>. Extret de: Gray, H (1918). <i>Anatomy of the Human Body</i>. http://www.bartleby.com</p>	31
<p>Figura 7: Insercions musculars de l'hàl·lux. Il·lustració de Matt Skalski. <i>First metatarsophalangeal joint anatomy</i>. www.radiopedia.org</p>	31
<p>Figura 8: Tendó extensor accessori. Extret de: Palomo Lopez et al. <i>Extensor hallucis capsularis o tendón accesorio del extensor hallucis longus: estudio anatómico y funcional, frecuencia y mediciones</i>. <i>Revista Internacional de Ciencias Podológicas</i> (2011) 5(2).</p>	32
<p>Figura 9: Distribució de la innervació plantar de l'hàl·lux. A la dreta, il·lustració de la innervació de la planta del peu, extreta de: Henry Gray (1918). <i>Anatomy of the Human Body</i>. A l'esquerra, dissecció de la part plantar de l'hàl·lux on es visualitza el nervi plantar medial de l'hàl·lux (fletxa vermella) i el nervi plantar lateral de l'hàl·lux (fletxa blava).</p>	33
<p>Figura 10: Distribució de la innervació en el dors del peu. Il·lustració extreta de: Henry Gray (1918). <i>Anatomy of the human body</i>.</p>	34
<p>Figura 11: Distribució arterial al dors del peu. La divisió de la primera artèria dorsal metatarsal (assenyalada a la fotografia amb l'agulla de bola groga) dona una branca que passa per sota de l'EHL i irriga la part medial de l'hàl·lux, i una altra branca que irriga la part lateral de l'hàl·lux i medial del segon dit. Il·lustració de l'esquerra extreta de: www.musculoskeletalkey.com.</p>	35
<p>Figura 12: Distribució arterial de la planta del peu. Il·lustració extreta de: www.musculoskeletalkey.com</p>	36
<p>Figura 13: Fórmula digital, definida segons les longituds relatives de cada dit respecte l'hàl·lux. Il·lustració de Viladot et al. (2009) <i>20 lecciones sobre la Patología del pie</i>. Ediciones Mayo.</p>	36

- Figura 14:** Fórmula metatarsal, definida segons la longitud relativa del primer metatarsià respecte el segon, en una radiografia anteroposterior . Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patologia del pie. Ediciones Mayo. **37**
- Figura 15:** Cicle de la marxa humana. Es divideix entre la fase de recolzament (stance) i la fase de balanceig (swing). Imatge extreta de: Stöckel T et al. The mental representation of the human gait in Young and older adults. *Frontiers in Psychologia* (2015) 6. **37**
- Figura 16:** Representació dels tres *rockers* de la marxa. Fotografia extreta de: Leardini et al. Biomechanics of the natural, arthritic, and replaced human ankle joint. *J Foot Ankle Res.* 2014 Feb 6;7(1):8. doi: 10.1186/1757-1146-7-8. **38**
- Figura 17:** Distribució normal de la força a l'avantpeu. Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patologia del pie. Ediciones Mayo. **38**
- Figura 18:** Arc metatarsal en el pla sagital. Per assolir una bona distribució de la càrrega a l'avantpeu no només és rellevant la longitud dels metatarsians, sinó també el seu angle d'incidència respecte el terra. Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patologia del pie. Ediciones Mayo. **39**
- Figura 19:** Cinemàtica dels dits en la flexió dorsal de la metatarsofalàngica. A: l'hà.lux manté el dit aplicat a terra gràcies a la funció dels sesamoides. B: els altres dits menors s'arrosnen. Extret de: Viladot Voegeli A. Anatomía funcional y biomecànica del tobillo y el pie. *Revista Española de Reumatología* (2003) 30(9). **40**
- Figura 20:** Alteracions de la distribució dels metatarsians que poden produir patologia per hiperpressió. A: sobrecàrrega de tot l'avantpeu. Es pot donar en casos en els que hi hagi un augment de l'angle d'incidència dels metatarsians, com en el peu cavus. B: insuficiència del primer radi. C: sobrecàrrega del primer radi. D: insuficiència dels radis mitjos. Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patologia del pie. Ediciones Mayo. **41**
- Figura 21:** A l'esquerra, peu normal. S'observa com el cap del primer metatarsià està a nivell amb el segon. A la dreta, peu amb hàl·lux valgus. A l'obrir-se l'angle entre el primer i el segon metatarsià, el primer metatarsià queda escurçat en relació amb el segon, provocant una sobrecàrrega sobre el cap del segon metatarsià. Autor: font pròpia. **42**
- Figura 22:** Hiperqueratosi plantar secundària a una sobrecàrrega del segon i tercer metatarsians durant el tercer rocker. Autor: font pròpia. **42**
- Figura 23:** Posició dels ossos sesamoides sobre el cap del primer metatarsià en diferents estadis d'hàl·lux valgus. A: posició normal dels sesamoides, a la radiografia axial es visualitzen centrats a cada costat de la cresta, i a la radiografia anteroposterior es veu la seva posició respecte el cap del metatarsià. B: Hàl·lux valgus lleu, amb lleu subluxació dels sesamoides. C: Hàl·lux valgus moderat, associat amb subluxació moderada dels sesamoides. D: Hàl·lux valgus sever amb un angle d'hàl·lux valgus de 60º, associat amb una luxació completa del sesamoide medial. Imatge extreta de: Michael J.Coughlin. Chapter 10. Sesamoid and accessory bones of the foot. *Musculoskeletalkey.com* **43**
- Figura 24:** Mesura de l'angle d'hàl·lux valgus. A l'esquerra sobre esquema, a la dreta sobre radiografia. Autor: font pròpia. **44**
- Figura 25:** Mesura de l'angle intermetatarsià. A l'esquerra sobre esquema, a la dreta sobre radiografia. Autor: font pròpia. **45**
- Figura 26:** Mesura de l'angle articular del cap del primer metatarsià. A l'esquerra sobre esquema, a la dreta sobre radiografia. Autor: font pròpia. **45**

- Figura 27:** Mesura del grau de luxació dels sesamoides. A l'esquerra esquema de la classificació d'AOFAS (imatge extreta de: Boberg J S, Torgrude E, Pook J. Radiographic evaluation of the hallucal sesamoids. 2003 Textbook Update. Chapter 12. The Podiatry Institute), La línia horitzontal representa l'eix mig del primer metatarsià, i els cercles representen el sesamoide medial. Conforme avança el metatarsus varus, la posició del sesamoide medial va lateralitzant-se respecte el metatarsià. A la dreta, radiografia on es visualitza un grau 0 de luxació sesamoide. **46**
- Figura 28:** Esquema del procediment de Keller Brandes. A: osteotomia i resecció de la base de la falange proximal. B: secció de la part lateral de la càpsula. C: sutura amb retensat de la càpsula medial. Autor: font pròpia. **47**
- Figura 29:** Fotografia d'una artròdesi de la primera articulació metatarsofalàngica. Extret de: Sott A. Minimally invasive arthrodesis of 1st metatarsophalangeal joint for hallux rigidus. *Foot and Ankle Clinics* (2016) 21(3): 567-576. **48**
- Figura 30:** Radiografia d'una pròtesi de primera articulació metatarsofalàngica afluixada, amb el component falàngic desplaçat. Extret de: Stone O. Et al. Long-Term Follow-Up of arthrodesis vs total joint arthroplasty for Hallux Rigidus. *Foot and Ankle International* (2017). 38(4):375-80. **49**
- Figura 31:** Procediment de McBride. A l'esquerra, anatomia normal, on el tendó del múscul *adductor hallucis* s'insereix a la base de la falange proximal. A la dreta, la inserció del tendó del múscul *adductor hallucis* es transfereix al cap del primer metatarsià. Extret de: Wai-Chi Wong. Biomechanics of Hallux Valgus and evaluation of intervention (2014). Hong Kong Polytechnic University. Doi: 10.13140.RG.2.2.36341.60643. **50**
- Figura 32:** Esquema de l'implant Tightrope[®] (Arthrex Inc), que consisteix en una placa metàl·lica que s'aplica a la cara lateral del segon metatarsià, i dues petites plaques metàl·liques que s'apliquen a la cara medial del primer metatarsià. Aquestes estan unides per una sutura d'alta resistència que travessa els metatarsians a través de túnels ossis, i això permet estrènyer la sutura fins a assolir la reducció de l'angle intermetatarsià. Imatge extreta de: <https://www.arthrex.com/es/pie-tobillo/tecnica-mini-tightrope-para-hallux-valgus>. **51**
- Figura 33:** Osteotomia proximal en cunya d'obertura medial del primer metatarsià. A: radiografia anteroposterior de peu on es veu a l'esquerre el peu preoperatòriament, i a la dreta 12 mesos post cirurgia. L'osteotomia està fixada amb una placa que porta una cunya que s'ha introduït dins del focus d'osteotomia. B: esquema de l'osteotomia d'obertura medial de la base del primer metatarsià. Extret de: Han S. Et al. First metatarsal proximal opening wedge osteotomy for correction of hallux valgus deformity: comparison of straight versus oblique osteotomy. *Yonsei Medical Journal* (2015) 56(3):744-750. **52**
- Figura 34:** Esquema de l'osteotomia d'extracció de cunya medial de la base del primer metatarsià. A l'esquerra, osteotomia i extracció de la cunya. A la dreta, desplaçament el valgus del metatarsià i fixació amb cargol. Extret de: Trnka H. Osteotomies for the hallux valgus correction. 2005. *Foot and ankle clinics*. **52**
- Figura 35:** Esquema de la tècnica de Ludloff amb fixació. Un cop realitzada l'osteotomia obliqua de la diàfisi es fixa la part proximal amb un cargol (A). A continuació es desplaça el fragment distal cap a lateral (B), i es fixa distalment. Es fa una resecció del fragment prominent proximal medial. Extret de: Schon L et al. Clinical Tip: stabilization of the proximal Ludloff osteotomy. *Foot and ankle International* (2005) 26(7):579-81. **53**
- Figura 36:** Esquema de l'osteotomia de Scarf. Extret de: Galois L. History of surgical treatments for hallux valgus. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology* (2018) 28:1633-39. **54**

- Figura 37:** Esquema de l'osteotomia de metatarsià en cunya de tancament medial, com descrita per Barker el 1884. Autor: font pròpia. **54**
- Figura 38:** Esquema de l'osteotomia de Chevron. A la part de dalt, visió sagital. A la part inferior, visió obliqua. Extret de: Austin D et al. A new osteotomy for Hallux Valgus: a horizontally directed "V" displacement osteotomy of the metatarsal head for Hallux Valgus and Primus Varus. *Clinical orthopaedics and related research* (1981)157: 25-30. **55**
- Figura 39:** Esquema de l'osteotomia d'Akin. A: osteotomia en forma de cunya, realitzada a la part medial de la base de la falange proximal. B: medialització de l'hàl.lux i fixació amb grapa. Extret de: Bonk JH. Phalangeal osteotomy for hallux valgus. *Hallux valgus and forefoot surgery*. 1994. **56**
- Figura 40:** Incisió en cirurgia oberta d'hàl.lux valgus. Extret de: Easley M et al. Hallux valgus: Proximal first metatarsal osteotomies. *International Advances in Foot and Ankle Surgery* (2012): 11-25 **57**
- Figura 41:** Osteotomia de Reverdin: osteotomia en cunya medial del terç distal del metatarsià. Extret de: Isham SA. The Reverdin-Isham procedure for the correction of hallux abducto valgus. A distal metatarsal osteotomy procedure. *Clin Podiatr Med Surg*. 1991 Jan;8(1):81-94 **58**
- Figura 42:** Esquema del procediment d'Isham en visió anteroposterior. És la combinació de una osteotomia de Reverdin (A), una osteotomia d'Akin (B), una buniectomia (C) i una tenotomia de l'adductor (D). Autor: font pròpia **59**
- Figura 43:** Tècnica SERI. A l'esquerra visió anteroposterior. A la dreta visió sagital. Es realitza una osteotomia obliqua en el pla sagital del terç distal del primer metatarsià, i s'utilitza una agulla de kischner per medialitzar el cap del metatarsià. Autor: font pròpia. **60**
- Figura 44:** Osteotomia de Chevron. A l'esquerra visió lateral, on s'observa la morfologia en V de l'osteotomia. Al mig, imatge anteroposterior de l'osteotomia. A la dreta radiografia de l'osteotomia fixada amb cargols. Imatge extreta de: Redfern D, Perera AM. Minimally invasive osteotomies. *Foot Ankle Clin N Am* 2014;19(2):181-9. doi: 10.1016/j.fcl.2014.02.002. **61**
- Figura 45:** Osteotomia de Chevron fixada amb agulla Kischner. Imatge extreta de: Radwan YA, Mansour AM. Percutaneous distal metatarsal osteotomy versus distal chevron osteotomy for correction of mild-to-moderate hallux valgus deformity. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012;132(11): 1539-1546. doi: 10.1007/s00402-012-1585-5. **62**
- Figura 46:** Diferents models de sabata ortopèdica postoperatòria. Imatge de: Schuh R, Trnka HJ, Sabo A, Reichel M, Kristen KH. Biomechanics of postoperative shoes: plantar pressure distribution, wearing characteristics and design criteria: a preliminary study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010; 131:197-203 **63**
- Figura 47:** Sabates ortopèdiques utilitzades en aquesta recerca. 2a: sabata ortopèdica de doble encoixinat (MedSurg o MS). 2b: sabata de taló invertit (reverse camber shoe o RCS). Imatge extreta de: <https://www.darco-europe.com/es/medsurg-zapato-postquirurgico.html> **70**
- Figura 48:** Bancada de forces i els seus components. A: dinamòmetre. B: sistema de palanca per aplicar força axial. C: sistema de fixació a peça anatòmica. D: base radiotransparent. Autor: font pròpia. **71**
- Figura 49:** Bancada de forces amb peça anatòmica fixada. Autor: font pròpia. **71**
- Figura 50:** Esquema del sensor 400-1500 K-Scan Sensors, i la seva distribució de sensels. Imatge extreta de: <https://www.tekscan.com/products-solutions/pressure-mapping-sensors/4000> **72**

Figura 51: Sistema de distribució homogènia sobre el sensor. A: es requereixen 2 plaques d'acer llises i una escuma de poliuretà. B: Es col·loquen els sensors sobre una de les plaques d'acer. C: A sobre del sensor s'hi posa l'escuma de poliuretà, i a sobre d'aquesta l'altra placa d'acer. Autor: font pròpia.	73
Figura 52: Col·locació progressiva de les peses de 10 kg en el procés de calibratge. Autor: font pròpia.	74
Figura 53: Col·locació dels sensors amb peu descalç. Autor: font pròpia.	74
Figura 54: Col·locació dels sensors dins de la sabata ortopèdica. Autor: font pròpia.	75
Figura 55: Col·locació de sensors amb sabata ortopèdica. Autor: font pròpia.	75
Figura 56: Procediments realitzats durant la cirurgia. A: bunionectomia. B: osteotomia distal del primer metatarsià. C: osteotomia proximal de la falange proximal (Akin). D: alliberament del tendó adductor. Autor: font pròpia.	77
Figura 57: Posició dels portals. 1: Portal dorsomedial distal, 2: Portal medial proximal, 3: Portal dorsolateral. Autor: font pròpia.	78
Figura 58: Visió sagital de la morfologia de l'osteotomia de Chevron. S'observa un traç vertical dorsal, i un traç horitzontal plantar. Autor: font pròpia.	79
Figura 59: Visió sagital de l'osteotomia SERI. S'observa un traç diagonal que progressa de distal i dorsal cap a plantar i proximal. Autor: font pròpia.	79
Figura 60: Visió frontal de la tècnica SERI. Un cop completada l'osteotomia (A) s'insereix una agulla a través del dit del peu, que és medial a les falanges i al cap del metatarsià, i que s'insereix dins de la diàfisi metatarsiana, assolint així un desplaçament lateral del cap metatarsal. Autor: font pròpia.	80
Figura 61: Visió frontal de l'osteotomia d'Akin. S'observa una osteotomia en forma de cunya, conservant el còrtex lateral. Un cop realitzada es força el dit gros en varus per tancar l'osteotomia. Autor: font pròpia.	80
Figura 62: Tenotomia de l'adductor. S'introdueix el bisturí dins de l'articulació amb la fulla orientada a medial (esquerra), un cop dins de l'articulació es gira la fulla 180° fins que queda orientada cap a lateral (centre), i a continuació es col·loca el dit gros en varus forçat (dreta). Autor: font pròpia.	81
Figura 63. Col·locació de l'embenat postoperatori. Es col·loquen esparadraps entre el primer i segon dit, a mode de corbata, que es creuen a la part medial del cap del metatarsià (esquerra). A sobre es col·loquen noves tires d'esparadrap de manera transversa sobre l'avantpeu (dreta). Autor: font pròpia.	82
Figura 64: Arc fluoroscòpic OEC Brivo de General Electrics. Imatge extreta de: https://www.gehealthcare.com/products/surgical-imaging/oec-brivo-plus-c	82
Figura 65: Mesures radiològiques de la projecció anteroposterior. A: Angle d'hà.lux valgus, B: angle intermetatarsià, C: angle articular distal metatarsià, D: posició sesamoide segons classificació d'AOFAS. Autor: font pròpia.	83
Figura 66: Angle metafisodiafisial del primer metatarsià a la projecció lateral. Autor: font pròpia.	83

- Figura 67:** Descripció del mètode per mesurar el desplaçament dels fragments a la radiografia lateral. A dalt radiografia d'una projecció lateral de l'osteotomia de SERI on s'evidencia un desplaçament dorsal del cap. A la radiografia inferior, mateixa radiografia amb la mesura del desplaçament. Es traça una línia que ressegueix la diàfisi metatarsiana (línia negra contínua) i que continua distalment més enllà de l'osteotomia (línia de punts). Des de l'inici del fragment metafisial (creu blava) es traça una línia perpendicular a la línia diafisial (línia vermella) que serà la mesura de la distància entre fragments. Autor: font pròpia. **84**
- Figura 68:** Col·locació de l'arc de fluoroscòpia per a la realització de la projecció lateral. El peu es troba fixat a la bancada de forces, i d'aquesta manera s'aplica força axial progressiva en intervals de 10 kg, prenent radiografies a cada interval. Autor: font pròpia. **85**
- Figura 69:** Col·locació de l'arc de fluoroscòpia per a la realització de la radiografia anteroposterior post quirúrgica i postcàrrega de 60 kg. Autor: font pròpia. **86**
- Figura 70:** Peu de rei digital Lemego Calibre Digital Professional. Imatge estreta de: www.lemego.com **88**
- Figura 71:** Estructures neurovasculars en risc des d'una visió dorsal (A, B) i una visió medial (C). 1: Nervi digital dorsal lateral de l'hàl·lux (LDDN), 2: Artèria primera metatarsiana dorsal (FMDA), 3: Nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux (MDDN), 4: Nervi plantar medial de l'hàl·lux (MPHN), 5: Arteria digital plantar medial de l'hàl·lux (MPDA). Autor: font pròpia. **89**
- Figura 72:** Mesura de la distància entre el portal 3 i la primera artèria metatarsiana dorsal (fletxa taronja), i entre el portal 3 i el nervi digital dorsal lateral de l'hàl·lux (fletxa vermella). A través de la incisió cutània es va marcar el portal amb una agulla. Un cop finalitzada la dissecció de les estructures neurovasculars, i amb el portal identificat amb l'agulla, es mesurava amb un peu de rei digital la distància entre el portal i cadascuna de les estructures en risc. Autor: font pròpia. **90**
- Figura 73:** Mesura de la distància entre el portal 1 i 2 i el nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux. A través de la incisió cutània es van marcar els portals amb una agulla (portal 1 amb agulla verda, portal 2 amb agulla vermella). Amb els portals marcats es va procedir a la dissecció del peu. Un cop finalitzada la dissecció, havent identificat les estructures neurovasculars, i amb els portals identificat amb l'agulla, es mesurava amb un peu de rei digital la distància entre cada portal i el nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux. Autor: font pròpia. **91**
- Figura 74:** Valoració de l'estat del cartílag. Per poder-lo valorar completament, es realitzava una incisió circumferencial de la càpsula i es luxava l'articulació metatarsofalàngica. Autor: font pròpia. **92**
- Figura 75:** Distribució de la càrrega al taló. A partir de 30 kg la diferència entre anar descalç i portar sabata és significativa. Autor: font pròpia. **96**
- Figura 76:** Gràfica de la distribució de les càrregues sota el primer metatarsià. La càrrega és superior en el grup descalç, i aquesta diferència és significativament rellevant a partir de 30 kg de càrrega. Autor: font pròpia. **98**
- Figura 77:** Gràfica representant la distribució de l'HVA. Hi ha una disminució significativa entre el pre i el postoperatori en les dues tècniques quirúrgiques. Aquesta disminució es perd lleugerament després de l'estudi de càrrega, però aquesta pèrdua no és estadísticament significativa. No hi ha diferències entre tècniques quirúrgiques. Autor: font pròpia. **100**
- Figura 78:** Gràfica representant la distribució de l'IMTT. Hi ha una disminució significativa entre el pre i el postoperatori en les dues tècniques quirúrgiques, que es manté també després de l'estudi amb càrrega. No hi ha diferències entre tècniques quirúrgiques. Autor: font pròpia. **101**

- Figura 79:** Osteotomia de Chevron. A l'esquerra radiografia preoperatòria. A la dreta, post-osteotomia de Chevron. Els canvis en HVA i IMTT van ser estadísticament significatius. La posició dels sesamoides, tot i que va millorar en peus com el de la imatge (observar la posició del sesamoide lateral respecte el cap del metatarsià), aquesta millora no va ser estadísticament significativa. Autor: font pròpia. **102**
- Figura 80:** Osteotomia SERI. A l'esquerra, radiografia preoperatòria. A la dreta, post-osteotomia SERI i fixació amb agulla Kischner. Les diferències en HVA i IMTT no van ser significatives respecte l'osteotomia de Chevron. Autor: font pròpia. **102**
- Figura 81:** Peu 3D, osteotomia de SERI. A l'esquerra amb una càrrega de 10 kg: s'observa un desplaçament plantar del cap del metatarsià, amb un augment de l'angulació plantar del mateix. A la dreta amb una càrrega de 60 kg: el desplaçament plantar del cap del metatarsià s'ha corregit amb la càrrega. L'angulació plantar del cap està només parcialment corregida. Autor: font pròpia. **104**
- Figura 82:** Peu 3E, osteotomia de Chevron. A l'esquerra amb una càrrega de 10 kg, s'observa un desplaçament plantar molt menor a l'observat a la seva parella amb osteotomia SERI. També el canvi d'angulació és menor. A la dreta amb una càrrega de 60 kg, hi ha hagut un desplaçament dorsal de l'osteotomia, també molt menor que en el cas del SERI. Autor: font pròpia. **105**
- Figura 83:** Peu 9D en la que s'observa la secció completa del nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux (MDDN). Autor: font pròpia. **106**
- Figura 84:** Posició del nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux (MDDN) en relació als Portals 1 i 2. S'observa com es dirigeix de dorsal a plantar conforme progressa a distal (3), deixant el portal 1 dorsal al MDDN, i el Portal 2 plantar al MDDN. Autor: font pròpia. **106**
- Figura 85:** Mesura de la distància entre el MPHN i el Portal 1 (fletxa esquerra), i el Portal 2 (fletxa dreta) en el peu 2 D. Autor: font pròpia. **107**
- Figura 86:** Relació entre el Portal 3 i les estructures neurovasculars. L'agulla de bola groga assenyala la posició del Portal 3. La fletxa negra assenyala l'artèria primera metatarsal dorsal (FDMA) i la fletxa blanca assenyala el nervi digital dorsal lateral de l'hàl·lux (LDDN). S'observa la distància mínima entre aquestes estructures neurovasculars i el portal 3. Autor: font pròpia. **108**
- Figura 87:** Cartílag articular d'articulació metatarsofalàngica. Autor: font pròpia. **109**
- Figura 88:** A la fotografia de l'esquerra s'observa la indemnitat del tendó del múscul *adductor hallucis* en el peu 8E. A la fotografia de la dreta s'assenyala la secció completa del tendó del múscul *adductor hallucis* del peu 1D. Autor: font pròpia. **110**

INDEX DE TAULES

	Pàgina
Taula 1. Classificació de l'hàl.lux valgus segons severitat. Els valors dels angles HVA i IMTT estan representats en graus. La classificació de la posició dels sesamoides és segons la classificació d'AOFAS.	46
Taula 2. Randomització de l'osteotomia distal del metatars. El número correspon al número assignat al parell de peus. E: Esquerre. D: Dret	76
Taula 3. Estructures neurovasculars en risc en relació als tres portals definits en l'estudi. Portal 1: dorsomedial distal, portal 2: medial proximal, portal 3: dorsolateral.	88
Taula 4: Resultats de la pressió al taló (expressat en Newtons).	96
Taula 5: resultats per la pressió sota el primer metatarsià, expressat en Newtons. La P s'obté realitzant una anàlisi d'ANOVA comparant els tres grups: descalç, MS, RCS.	97
Taula 6: Pressió sota el primer metatarsià. Comparació entre sabates: MS versus RCS.	98
Taula 7. Mesura d'angle d'hàl.lux valgus (HVA). Els resultats s'expressen en graus i mostren la mitjana i, entre parèntesis, desviació estàndard.	99
Taula 8: Mesura d'angle intermetatarsià (IMTT). Els resultats s'expressen en graus i mostren la mitjana i, entre parèntesis, desviació estàndard.	100
Taula 9: Mesura d'angle articular del cap del primer metatarsià (DMAA). Els resultats s'expressen en graus i mostren la mitjana i, entre parèntesis, desviació estàndard.	101
Taula 10. Canvis en l'angle metafisodiafisial mesurats en graus.	103

Taula 11. Distància entre fragments ossis, en mil·límetres.	104
Taula 12. Distància mitjana i desviació estàndard des de cada portal fins a cadascuna de les estructures neurovasculars en risc, representat en mil·límetres. MDDN: nervi digital dorsal medial de l'hà·lux, MPHN: nervi plantar medial de l'hà·lux, MPDA: artèria digital plantar medial de l'hà·lux, LDDN: Nervi digital dorsal lateral de l'hà·lux, FDMA: Artèria primera metatarsiana dorsal.	107

ÍNDEX D'ANNEXOS

Annex 1: Autorització del Comitè d'Ètica d'investigació CEI de Girona de l'Hospital Universitari Doctor Josep Trueta de Girona, en data del 26/03/2019.

Annex 2: Document de col·laboració entre l'Hospital Comarcal de Blanes i la Universitat de Girona a data del 17/05/2016.

Annex 3: Resultats de l'estudi de càrregues. Els valors estan representats en Newtons. MT: metatars. MS: sabata ortopèdica MedSurg. RCS: sabata de taló invertit.

Annex 4: Resultats en les mesures obtingudes a les radiografies anteroposteriors. Els resultats estan expressats en graus, excepte en la posició dels sesamoides, que s'utilitza la classificació d'AOFAS.

Annex 5: Resultats de l'estudi radiològic lateral. Els resultats estan expressats en graus.

Annex 6: Taula de resultats de les disseccions anatòmiques. Distàncies expressades en mil·límetres.

Annex 7: Còpia de l'article: A comparison of two designs of postoperative shoe for hallux valgus surgery: A biomechanical study in a cadaveric model. Navarro-Cano E, Guevara-Noriega KA, Lucar-Lopez G, Reina F, Carrera A. *Foot Ankle Surg.* 2021 Jan;27(1):82-86. Doi:10.1016/j.fas.2020.02.010.

Annex 8: Manuscrit de l'article: Distal percutaneous osteotomy of the first metatarsal bone for the correction of Hallux Valgus. Comparison of two operative techniques on a cadaveric model. Navarro-Cano E, Guevara-Noriega KA, Sanjuan-Castillo MA, Carrera A, Reina F. En revisió editorial per *Journal of Foot & Ankle Surgery*.

Annex 9: Manuscrit de l'article: Percutaneous Hallux Valgus surgery: anatomical study of its safety and effectiveness. Navarro-Cano E, Carrera A, Korschake M, Guevara-Noriega KA, Reina F. Acceptat per publicació en *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. Pendent de revisió editorial de canvis menors.

Llista d'abreviatures

AOFAS:	American Orthopedic Foot and Ankle Society. Societat Americana d'ortopèdia de peu i turmell
AP:	Antero-posterior
DMAA:	Distal Metatarsal Articular Angle. Angle articular distal del metatars.
EHL:	Extensor Hallucis Longus. Tendó extensor llarg de l'hàl.lux.
FDMA:	First Dorsal Metatarsal Artery. Artèria primera metarsiana dorsal.
FHL:	Flexor Hallucis Longus. Tendó flexor llarg de l'hàl.lux.
HVA:	Hallux Valgus Angle. Angle d'hàl.lux valgus.
IMTT:	Intermetatarsal Angle. Angle intermetatarsià.
LDDN:	Lateral Dorsal Digital Nerve. Nervi digital dorsal lateral de l'hàl.lux.
MDDN:	Medial Dorsal Digital Nerve. Nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux.
MPDA:	Medial Plantar Digital Artery. Artèria digital plantar medial de l'hàl.lux.
MPHN:	Medial Plantar Hallucal Nerve. Nervi plantar medial de l'hàl.lux.
MS:	Med Surg. Sabata ortopèdica amb encoixinat doble.
MTF:	Articulació metatarsofalàngica.
RCS:	Reverse Camber Shoe. Sabata de taló invertit.
SD:	Standard Deviation. Desviació estàndar.
SERI:	Simple, Efficient, Rapid and Inexpensive. Simple, eficient, ràpid i barat.

RESUM

L'hà.lux valgus és una deformitat freqüent del primer radi del peu, amb aparició progressiva d'abducció i pronació de la primera falange. Al mateix temps apareix una adducció, elevació i pronació del primer metatarsià (*metatarsus primus varus*), concomitantment amb una retracció de la part lateral de la càpsula de l'articulació metatarsofalàngica.

A més de l'impacte estètic, l'hà.lux valgus també provoca dolor i desconfort, ja que causa la inflamació de la bursa que es troba a la cara medial del cap del primer metatarsià, i això causa per contigüïtat l'afectació del nervi digital dorsal medial de l'hà.lux (MDDN). De manera secundària, l'hà.lux valgus canvia la dinàmica del peu, causant el que Viladot va definir com a una insuficiència del primer radi. Aquesta insuficiència porta a una sobrecàrrega dels caps del segon i tercer metatarsians, que pot ser dolorosa durant la marxa.

Per aquest motiu, quan es decideix la correcció quirúrgica de l'hà.lux valgus, és també essencial corregir el *metatarsus primus varus*. Per a un hà.lux valgus lleu o moderat (amb un angle intermetatarsià de menys de 20 graus), la correcció del *metatarsus primus varus* es pot assolir amb una osteotomia distal del primer metatarsià. Per a deformitats superiors, altres tècniques com una osteotomia proximal del primer metatarsià podrien ser més adequades.

Tradicionalment la correcció de l'hà.lux valgus s'ha fet mitjançant abordatge quirúrgic obert (és a dir, fent una incisió amb una mida suficient per visualitzar directament les estructures òssies). No és fins els 1980s que les tècniques mínimament invasives i percutànies van començar a aparèixer. L'objectiu de la cirurgia percutània era preservar les parts toves, i així millorar l'impacte estètic de la cirurgia. Estudis posteriors van mostrar que a més de la milloria estètica, amb la cirurgia percutània s'assolia una reducció del temps quirúrgic, una reducció del dolor postoperatori, i una recuperació funcional més ràpida.

La cirurgia percutània es realitza sota control fluoroscòpic, sense una visualització directa dels teixits, el que podria comportar un potencial augment del risc de lesió iatrogènica neurovascular i/o tendinosa. Tot i que s'han descrit complicacions com lesions neurovasculars, osteonecrosis, retard de consolidació o pseudoartrosi, hi ha estudis que han trobat un menor percentatge de complicacions en la cirurgia percutània en comparació amb la cirurgia oberta.

De tota manera, tot i que la literatura disponible sobre cirurgia percutània de l'hà.lux valgus va en augment, és encara limitada, i hi ha pocs estudis de qualitat: la majoria d'estudis disponibles són descripcions d'una determinada tècnica quirúrgica, mostrant els resultats assolits amb aquesta

tècnica, i els estudis comparatius entre tècniques són poc freqüents. Fins i tot els articles de revisió solen estar basats en estudis amb evidència grau III o IV.

L'objectiu principal d'aquest treball es dur a terme un estudi experimental que permeti una valoració de la cirurgia percutània de l'hàl.lux valgus tant a nivell funcional com a nivell anatòmic. Per a fer-ho, es van utilitzar vint peus aparellats de deu espècimens reals congelats, procedents de donants voluntaris del "Servei de Donació del Cos a la Ciència" de la Facultat de Medicina de la Universitat de Girona (UdG). El projecte es va separar en tres parts experimentals diferenciades.

A la primera part es va avaluar quin tipus de calçat post-operatori és més adient, i quina és la seva utilitat. El maneig postoperatori de l'hàl.lux valgus no està clarament definit a la literatura, i la decisió d'utilitzar sabates ortopèdiques o no, o de quin tipus, va moltes vegades lligada als gustos del propi cirurgià. En aquest estudi es van comparar la distribució de forces en el peu sota pressió progressiva, descalç i amb dos tipus de sabata ortopèdica. Els resultats van evidenciar que per sota de una càrrega axial menor de 30 kg, no hi ha diferències entre portar una sabata ortopèdica o anar descalç. A partir de 30 kg, les forces en el peu disminueixen significativament si es porta una sabata ortopèdica, pel que si decidim permetre la càrrega de l'extremitat és millor indicar una sabata ortopèdica. No es van trobar diferències entre els dos tipus de sabata ortopèdica.

A la segona part de la present tesi cada peu es va intervenir quirúrgicament, amb l'objectiu de comparar dos tipus concrets d'osteotomia percutània distal del primer metatarsià:

1. Osteotomia SERI: osteotomia simple que requereix estabilització amb una agulla.
2. Chevron percutani: una osteotomia en forma de V sense estabilització externa.

A més de realitzar-se l'osteotomia distal de metatarsià, el procediment quirúrgic incloïa una osteotomia proximal de falange (Akin) i una tenotomia de l'adductor. Postoperatoriament, es valorava quina osteotomia ofereix més resistència a la càrrega i si hi ha diferències en els resultats postoperatoris.

Les dues osteotomies van ser escollides al ser dues tècniques sense una fixació estable, àmpliament descrites a la literatura i freqüentment utilitzades en la cirurgia percutània del peu.

En aquesta part del treball es va observar que, tot i que les dues tècniques assoleixen l'objectiu de millorar els angles rellevants per a la correcció de l'hàl.lux valgus a la radiografia anteroposterior, no mantenen una estabilitat acceptable en el pla sagital. Aquesta inestabilitat és més evident amb la tècnica SERI per a càrregues de menys de 30 kg, però les diferències entre tècniques s'igualen a

l'augmentar la càrrega sobre el peu. La nostra recomanació és implementar una fixació més sòlida (com per exemple un cargol) al realitzar qualsevol d'aquestes osteotomies.

La tercera part de l'experiment va consistir en la valoració de la seguretat dels portals de treball de la cirurgia percutània i de l'efectivitat dels procediments realitzats. A tal efecte es va realitzar una dissecció anatòmica curosa dels vint peus on s'havia practicat la intervenció quirúrgica, identificant-se les estructures neurovasculars i tendinoses potencialment en risc, valorant si havien estat danyades, i mesurant la distància entre dites estructures i els portals de treball de la cirurgia percutània. També es va valorar el fet de que les osteotomies fossin completes i amb el traç pertinent, i que la tenotomia del múscul *adductor hallucis* fos completa.

Es va identificar el MDDN com l'estructura amb més risc de patir una lesió durant la cirurgia percutània. L'observació del trajecte d'aquest nervi ens ha servit per descriure unes zones de seguretat per l'abordatge de les osteotomies. Cap altra estructura neurovascular va ser lesionada, tot i que en el cas del portal dorsolateral vam trobar poc marge de seguretat respecte el nervi digital dorsal lateral de l'hàl.lux (LDDN) i l'artèria primera metatarsiana dorsal (FDMA). Per tant, tot i que la cirurgia percutània de l'hàl.lux valgus és segura, cal una tècnica quirúrgica estricta per disminuir el risc de lesió neurovascular.

Totes les osteotomies van ser completes. La tenotomia de l'adductor va ser completa en un 70% dels casos i subtotal en un 20%. Només dos peus presentaven una tenotomia de menys del 50% del gruix del tendó. Amb això creiem que la cirurgia percutània de l'avantpeu és efectiva i reproducible.

RESUMEN

Hallux valgus es una deformidad frecuente del primer radio del pie, con aparición progresiva de abducción y pronación de la primera falange. A la vez aparece una aducción, elevación y pronación del primer metatarsiano (*metatarsus primus varus*), concomitantemente con una retracción de la parte lateral de la cápsula de la articulación metatarsofalángica.

Además del impacto estético, el hallux valgus también provoca dolor y discomfort, ya que causa la inflamación de la bursa que se encuentra en la cara medial de la cabeza del primer metatarsiano, y por contigüidad la afectación del nervio digital dorsal medial del hallux (MDDN). De manera secundaria, el hallux valgus cambia la dinámica del pie, causando lo que Viladot definió como una insuficiencia del primer radio. Esta insuficiencia lleva a una sobrecarga de las cabezas del segundo y tercer metatarsianos, que puede ser dolorosa para la marcha.

Por este motivo, cuando se decide la corrección quirúrgica del hallux valgus, es también esencial corregir el *metatarsus primus varus*. Para un hallux valgus leve o moderado (con un ángulo intermetatarsiano de menos de 20 grados), la corrección del *metatarsus primus varus* se puede conseguir con una osteotomía distal del primer metatarsiano. Para deformidades superiores, otras técnicas como una osteotomía proximal del primer metatarsiano podrían ser más adecuadas.

Tradicionalmente la corrección del hallux valgus se ha practicado a través de un abordaje quirúrgico abierto (es decir, haciendo una incisión con un tamaño suficiente para visualizar directamente las estructuras óseas). No es hasta los 1980s cuando las técnicas mínimamente invasivas y percutáneas empezaron a aparecer. El objetivo de la cirugía percutánea era preservar las partes blandas, y así mejorar el impacto estético de la cirugía. Estudios posteriores mostraron que además de la mejoría estética, con la cirugía percutánea se conseguía una reducción del tiempo quirúrgico, una reducción del dolor postoperatorio, y una recuperación funcional más rápida.

La cirugía percutánea se realiza bajo control fluoroscópico, sin una visualización directa de los tejidos, lo que podría comportar un potencial aumento del riesgo de lesión neurovascular o tendinosa. Aunque se han descrito complicaciones como lesiones neurovasculares, osteonecrosis, retraso de la consolidación o pseudoartrosis, hay estudios que han encontrado una menor tasa de complicaciones en la cirugía percutánea comparada con la cirugía abierta.

No obstante, aunque la literatura disponible sobre cirugía percutánea del hallux valgus va en aumento, todavía es limitada, y hay pocos estudios de calidad: la mayoría de estudios disponibles son descripciones de una determinada técnica quirúrgica, mostrando los resultados obtenidos con esta técnica, y los estudios comparativos entre técnicas son poco frecuentes. Incluso los artículos de revisión suelen estar basados en estudios con evidencia grado III o IV.

El objetivo principal del presente trabajo es llevar a cabo un estudio experimental que permita una valoración de la cirugía percutánea del hallux valgus, tanto a nivel funcional como a nivel anatómico. Para hacerlo, se utilizaron veinte pies apareados de diez especímenes reales congelados, procedentes del “Servicio de Donación del Cuerpo a la Ciencia” de la Facultad de Medicina de la Universidad de Girona (UdG). El proyecto se dividió en tres partes experimentales diferenciadas.

En la primera parte se evaluó qué tipo de calzado postoperatorio es el más adecuado, y cuál es su utilidad. El manejo postoperatorio del hallux valgus no está claramente definido en la literatura, y la decisión de utilizar zapato ortopédico o no, o de qué tipo, va muchas veces ligada a los gustos del propio cirujano. En este estudio se compararon las distribuciones de carga en el pie bajo presión progresiva, descalzo y con dos tipos de zapato ortopédico.

Los resultados de esta parte de nuestro estudio evidenciaron que por debajo de una carga axial menor a 30 kg no hay diferencias entre llevar un zapato ortopédico o ir descalzo. A partir de 30 kg, las fuerzas en el pie disminuyen significativamente si se lleva un zapato ortopédico, por lo que si decidimos permitir la carga de la extremidad es mejor indicar un zapato ortopédico. No se encontraron diferencias entre los dos tipos de zapato.

En la segunda parte cada pie se intervino quirúrgicamente, con el objetivo de comparar dos tipos concretos de osteotomía percutánea distal del primer metatarsiano:

1. Osteotomía SERI: osteotomía simple que requiere estabilización con una aguja.
2. Chevron percutáneo: una osteotomía en forma de V sin estabilización externa.

Además de realizarse la osteotomía distal del metatarsiano, el procedimiento quirúrgico incluía una osteotomía proximal de la falange (Akin) y una tenotomía del aductor. Postoperatoriamente se valoraba qué osteotomía ofrecía más resistencia a la carga y si se observaban diferencias en los resultados postoperatorios.

Estas dos osteotomías fueron elegidas al ser dos técnicas sin fijación estable, ampliamente descritas en la literatura y frecuentemente utilizadas en la cirugía percutánea del pie.

En esta parte del trabajo se observó que, aunque las dos técnicas conseguían el objetivo de mejorar los ángulos relevantes para la corrección del hallux valgus en la radiografía anteroposterior, no mantienen una estabilidad aceptable en el plano sagital. Esta inestabilidad es más evidente con la técnica SERI para cargas menores a 30 kg, pero las diferencias entre técnicas se igualan al aumentar la carga sobre el pie. Nuestra recomendación es implementar una fijación más sólida (como por ejemplo un tornillo) al realizar cualquiera de estas osteotomías.

La tercera parte del experimento consistió en la valoración de la seguridad de los portales de trabajo de la cirugía percutánea y la efectividad de los procedimientos realizados. A tal efecto se realizó una cuidadosa disección anatómica de los veinte pies donde se había practicado la intervención quirúrgica, identificándose las estructuras neurovasculares y tendinosas potencialmente en riesgo, valorando si habían sido dañadas, y midiendo la distancia entre dichas estructuras y los portales de trabajo de la cirugía percutánea. También se valoró que las osteotomías fueran completas y con el trazo pertinente, y que la tenotomía del músculo *adductor hallucis* fuera completa.

Se identificó el MDDN como la estructura con más riesgo de sufrir una lesión durante la cirugía percutánea. La observación del trayecto de este nervio nos ha servido para describir unas zonas de seguridad para el abordaje de las osteotomías. Ninguna otra estructura neurovascular fue lesionada, aunque en el caso del portal dorsolateral encontramos poco margen de seguridad respecto el nervio digital dorsal lateral del hallux (LDDN) i la arteria primera metatarsiana dorsal (FDMA). Por tanto, aunque la cirugía del hallux valgus es segura, requiere una técnica quirúrgica estricta para disminuir el riesgo de lesión neurovascular.

Todas las osteotomías fueron completas. La tenotomía del aductor fue completa en un 70% de los casos y subtotal en un 20%. Sólo dos pies presentaban una tenotomía de menos del 50% del grosor del tendón. Con esto consideramos que la cirugía percutánea del antepié es efectiva y reproducible.

ABSTRACT

Hallux valgus is a frequent deformity of the first ray of the foot, with progressive abduction and pronation of the first phalanx. At the same time, adduction, elevation, and pronation of the first metatarsal happens (metatarsal primus varus), concomitantly with a lateral capsule retraction of the metatarsophalangeal joint.

In addition to the aesthetic impact, pain and discomfort are experienced, due to the inflammation of the bursa overlying the medial eminence of the first metatarsal head, and this causes the irritation of the medial dorsal digital nerve of the hallux (MDDN). Secondly, hallux valgus changes the foot dynamics leading into what Viladot defined as a first radius insufficiency. This insufficiency might also lead into second and third metatarsal head overload, which might be painful when standing or walking.

For that reason, when surgery is indicated, it is essential to correct the metatarsus primus varus, as well as the hallux valgus. For moderate hallux valgus (with intermetatarsal angle < 20 degrees) this can be achieved with a distal first metatarsal osteotomy. For greater deformities, other techniques such as proximal osteotomies of the first metatarsus might be more adequate.

Traditionally hallux valgus correction is performed through an open surgical approach (i.e., making a skin incision big enough to be able to directly visualize bony structures). It was not until 1980s that minimally invasive and percutaneous procedures started appearing.

The objective of percutaneous surgery was to preserve soft tissue, thus improving the aesthetic outcome. Later studies found that on top of the aesthetic improvement, percutaneous surgery achieved shorter surgical time, better postoperative pain control, and shorter recovery time.

Percutaneous surgery is usually conducted under fluoroscopy without direct visualization of the soft tissues, which could potentially lead to an increased risk of neurovascular or tendon injury. Although complications such as nerve damage, osteonecrosis, delayed unions, and non-unions have been described, some studies have found a lower rate of these complications in percutaneous surgery when compared to open surgery.

However, even though the number of research papers on percutaneous hallux valgus surgery is increasing, this is still limited and not many high quality papers are available: most of them are descriptions of a certain surgical technique, showing the results of this technique, and comparative studies are rare. Even revision papers are based in level III or IV research papers.

The main goal of this research is to assess hallux valgus percutaneous surgery, both functionally and anatomically. For that purpose, twenty paired feet from ten real fresh frozen specimens were used. The specimens belonged to the Body Donation Program at the Faculty of Medicine Faculty in the University of Girona (UdG). The project was divided into three differentiated experimental parts.

During the first part postoperative shoes were evaluated, with the objective of assessing their functionality and comparing which shoe was more effective. Hallux valgus postoperative management is not clearly defined, and the decision to use orthopedic shoes, or what kind of shoe, seems to rely on the surgeon personal preference. In this study we compared the distribution of forces on the foot under progressive load, bare-foot and with two kinds of orthopedic shoe on.

The results in this part of our study showed that bearing an axial load under 30 kg there are no differences between wearing an orthopedic shoe or being bare foot. From 30 kg upwards, forces on the foot are significantly reduced when wearing an orthopedic shoe. Therefore, if we decided to allow our patient to weightbear it is better to do so with an orthopedic shoe. We did not find differences between both kinds of orthopedic shoe.

During the second part, each foot underwent a surgical intervention, with the objective of comparing two different kinds of percutaneous distal first metatarsal osteotomy:

1. SERI osteotomy: simple osteotomy which requires stabilization with K-wire
2. Percutaneous Chevron: V shaped osteotomy without hardware stabilization.

On top of distal metatarsal osteotomy, proximal phalanx osteotomy (Akin) and adductor tendon release were performed. Postoperatively, we assessed which osteotomy was more resistant to load, and we compared the differences in the results.

Both osteotomies were chosen as both of them are techniques without stable stabilization, widely reported in scientific papers, and frequently used in percutaneous forefoot surgery.

In this part of our research we observed that, although both techniques achieved the objective of improving the relevant angles for the hallux valgus correction in the anteroposterior x-ray view, neither manages to achieve an acceptable stability on the sagittal plane. This instability is more evident with the SERI technique when the axial load is less than 30 kg, but the differences between techniques disappear when the load on the foot increases. Our recommendation is to implement a more solid fixation (like a screw) when performing any of these two osteotomies.

The third part of our research was based on the assessment of the safety of percutaneous surgery working portals and the effectiveness of the performed procedures. For that purpose, a careful anatomical dissection was performed, identifying neurovascular and tendinous structures potentially at risk, describing whether any damage had been inflicted, and measuring the distance between these structures and surgical portals. We also assess the completion and correct shape of the osteotomies, and the completion of adductor tendon release.

MDDN was identified as the structure most likely to be injured during percutaneous forefoot surgery. Describing this nerve trajectory has allowed us to define some security zones when performing the osteotomies incisions. No other neurovascular structure was damage, although in the case of the dorsolateral portal we found little safe margin in relation to lateral dorsal digital nerve of the hallux (LDDN) and first dorsal metatarsal artery (FDMA). For that reason, although hallux valgus surgery is safe, it requires a strict surgical technique in order to decrease the risk of neurovascular damage.

All osteotomies were complete. Adductor tendon release was complete in 70% of the cases and subtotal in 20%. Only two feet had a release of less than 50% of the tendon thickness. With these results we consider that percutaneous forefoot surgery is effective and reproducible.

I : INTRODUCCIÓ

I.1. JUSTIFICACIÓ

L'hàl.lux valgus és una deformitat del peu freqüent en la població, i la seva incidència augmenta conforme augmenta l'edat de la població, essent present en el 28,4% dels adults de >40 anys, i en un 35,7% dels adults de més de 65 anys (1)

L'hàl.lux valgus afecta el primer radi del peu, amb aparició progressiva d'abducció i pronació de la primera falange. A la mateixa vegada apareix una adducció, elevació i pronació del primer metatarsià (*metatarsus primus varus*), concomitantment amb una retracció de la part lateral de la càpsula de l'articulació metatarsofalàngica.

L'hàl.lux valgus provoca dolor a dos nivells. En primer lloc, apareix dolor a la part medial de la primera articulació metatarsofalàngica. Aquest dolor és secundari a la inflamació de la bursa que es troba a la cara medial del cap del metatars, i causa per contigüïtat l'afectació del nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux (MDDN) (2,3). Aquesta afectació del nervi és per una part secundària a una estimulació química, ja que la inflamació capsular provoca l'alliberament d'algògens que estimulen les fibres nociceptives del nervi, i per l'altra part mecànica, secundària a la compressió directa del nervi entre el cap del metatarsià i la pell.

En segon lloc, l'hàl.lux valgus canvia la dinàmica del peu, causant el que Viladot et al. (4) va definir com a una insuficiència del primer radi. Aquesta insuficiència porta a una sobrecàrrega dels caps del segon i tercer metatarsians, que pot ser dolorosa per la marxa (5,6).

Per aquest motiu, quan s'indica la correcció quirúrgica de l'hàl.lux valgus, és essencial corregir també el *metatarsus primus varus* (7). En termes generals, per corregir l'hàl.lux valgus *per se* (és a dir la desviació lateral de la falange), es realitza una osteotomia de la falange proximal. Per corregir el *metatarsus primus varus*, es realitza una osteotomia del metatars. Segons la severitat del *metatarsus primus varus* l'osteotomia del metatars serà (*Figura 1*):

- **Distal:** a nivell de la unió entre la diàfisi i la metàfisi distal del primer metatarsià. Indicada en casos lleus o moderats (amb un angle intermetatarsià (IMTT) menor a 20 graus) (8).
- **Proximal:** a nivell de la base del primer metatarsià. Indicada en casos severos (amb angle IMTT de més de 20 graus) (9).

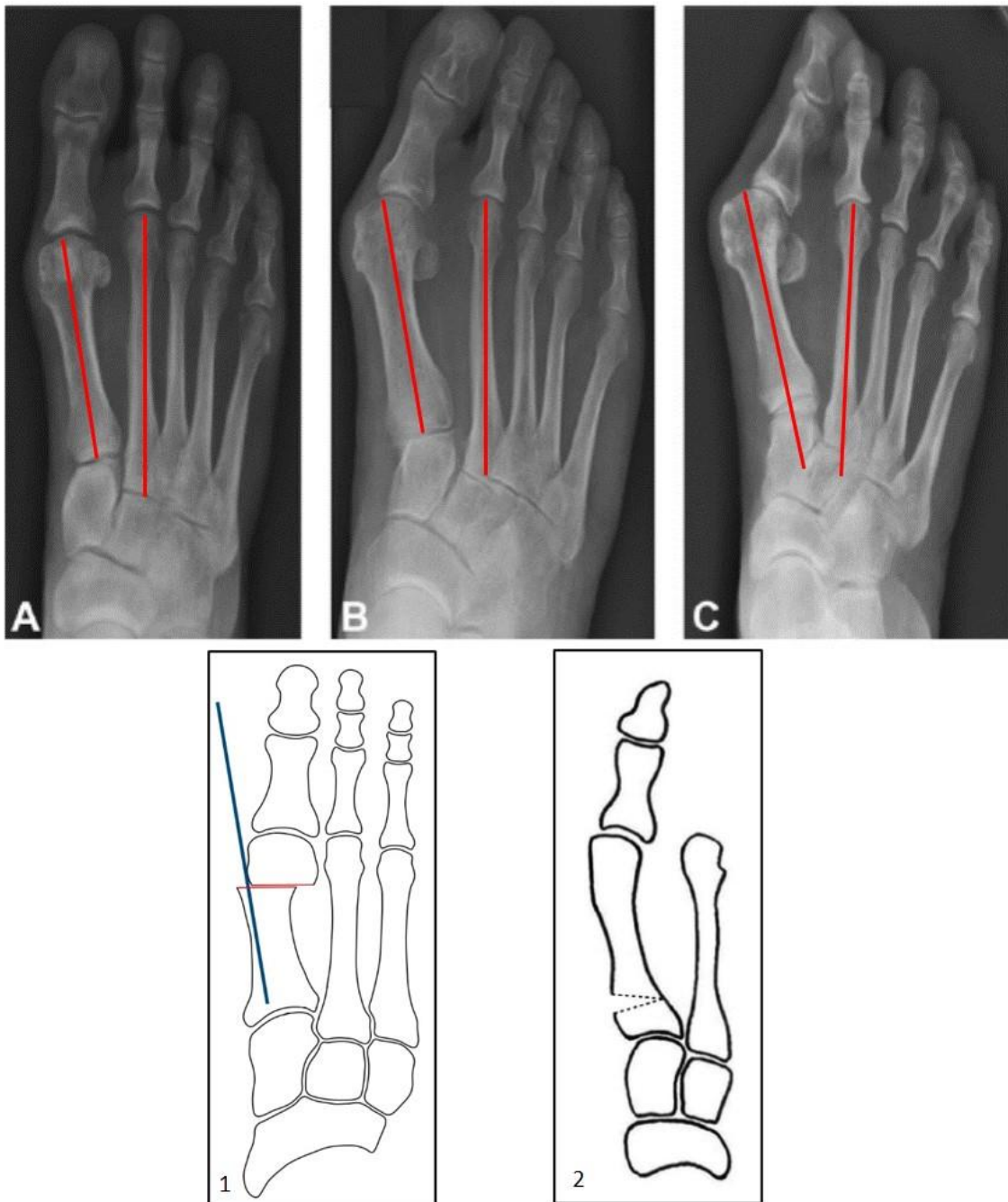


Figura 1: Hàl-lux valgus de diferents severitats, les línies vermelles mostren l'angle intermetatarsià. A: lleu, i B: moderat, indicació d'osteotomia distal. C: sever, indicació d'osteotomia proximal. A sota, 1: esquema d'exemple d'osteotomia distal, amb lateralització del cap gràcies a l'acció de palanca d'una agulla de Kischner. 2: esquema d'exemple d'osteotomia proximal, amb cunya d'obertura. Fotografia extreta i adaptada de: Ray J et al. Hallux Valgus. Foot and Ankle Orthopaedics (2019) 4(2). (10)

L'osteotomia proximal permet una major correcció degut a l'augment del braç de palanca, però es reserva als casos severos degut a l'augment de dificultat tècnica i la possibilitat de complicacions més alta que una osteotomia distal (11).

Hi ha múltiples tècniques descrites per a realitzar una osteotomia distal de metatars, amb traços de diferents morfologies (12).

Les tècniques percutànies permeten la realització d'aquestes osteotomies, que segons els autors poden ser posteriorment fixades amb cargols, plaques, agulles o mantenir-se sense fixació. Hi ha pocs estudis comparatius entre tècniques a la literatura, i solen ser comparant cirurgia oberta *versus* percutània. En general, la cirurgia percutània assoleix un menor temps quirúrgic, amb un índex d'infecció més baix, menys dolor postoperatori, i una recuperació funcional més ràpida (2).

Els cirurgians que prefereixen la cirurgia oberta creuen que no poder visualitzar les estructures directament pot portar a un augment de les lesions a estructures neurovasculars i tendinoses, a realitzar traços incorrectes o incomplets d'osteotomia, a un major índex de necrosi secundària degut a l'alta temperatura assolida per la fresa, i/o a un augment de taxa de mala-unió o pseudoartrosi si la fixació no és rígida.

En tot cas, només un estudi ha trobat un augment significatiu de complicacions de la cirurgia percutània respecte l'oberta (13), mentre que la resta de literatura consultada sembla indicar que la cirurgia percutània és segura i dona resultats satisfactoris i reproduïbles. Cal matisar que aquests estudis solen ser conduïts per cirurgians que normalment fan cirurgia percutània, que solen ser estudis observacionals descriptius, amb evidència grau III o IV. Tot i que hi ha estudis comparatius disponibles, són poc freqüents i no solen ser prospectius ni randomitzats, i fins i tot les metaanàlisis de les que disposem estan basades en estudis de grau III o IV.

La gran varietat d'osteotomies distals de metatarsià descrites, i el fet de que la cirurgia percutània estigui guanyant popularitat per la correcció de l'hà.lux valgus, justifica l'interès en la recerca sobre aquest àmbit. Aquest treball vol endinsar-se en el maneig percutani de l'hà.lux valgus, comparant dues tècniques percutànies d'osteotomia distal del metatarsià, a més de valorar la necessitat d'incorporar una sabata ortopèdica en el postoperatori immediat, i definint distàncies de seguretat entre les estructures neurovasculars i els portals d'accés de la cirurgia percutània.

I.2. ANATOMIA DE L'HÀL.LUX

L'hàl.lux (o *digitus primus* –primer dit-), normalment conegut com a dit gros del peu, és el corresponent al dit polze del membre superior. A diferència dels altres dits del peu, es considera que només té dues falanges. No obstant, a nivell evolutiu el primer metatarsià hauria de considerar-se com a la falange proximal del dit gros, essent la primera cunya l'equivalent als ossos metatarsians dels altres dits. Hi ha evidència en fòssils d'altres espècies de mamífers extints d'aquesta funció metatarsiana de la primera cunya. A més, durant el creixement el punt d'ossificació epifisial del primer metatarsià està situat a nivell proximal (*Figura 2*), igual que la resta de falanges (14).

L'ésser humà és l'únic primat en el que l'hàl.lux és paral·lel a la resta dels dits, sent això un factor clau per a la locomoció bípeda.



Figura 2: Peu en fase de creixement on s'evidencien els nuclis d'ossificació. Els quatre metatarsians laterals tenen els nuclis d'ossificació a nivell distal. En canvi, el primer metatarsià té el nucli d'ossificació a nivell proximal, igual que les falanges. Fotografia extreta de: *The Foot and Ankle: Congenital and Developmental Conditions* (2017). <http://www.radiologykey.com>.

I.2.1. Osteologia de l'hàllux

L'hàllux és part d'una cadena osteo-articular de tres peces anomenada primer radi plantar (15). El primer radi s'inicia distalment a la primera cunya, i és part de l'arc medial del peu. Està format pel primer metatarsià i per les dues falanges del primer dit.

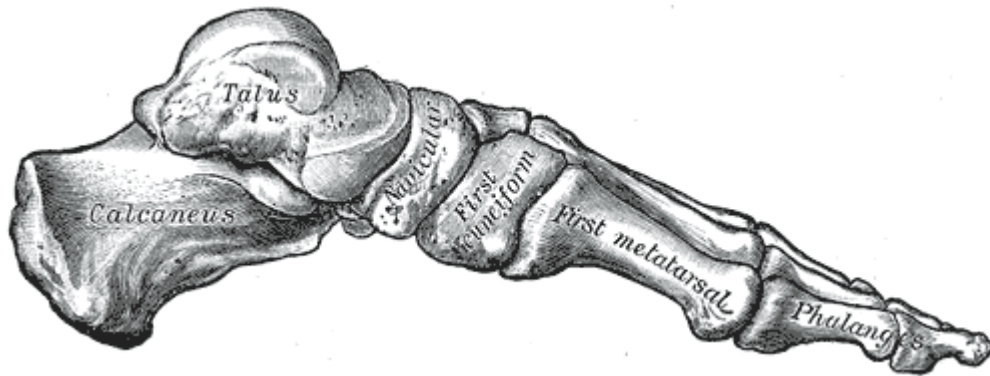


Figura 3: Primer radi plantar, format pel primer metatarsià i les dues falanges. Il·lustració extreta de: Henry Gray (1918). *Anatomy of the Human Body*. <http://www.bartleby.com>

El primer metatarsià és relativament més curt i gruixut que la resta de metatarsians. Té una base, una diàfisi i un cap. La base, que és proximal, és ampla. La diàfisi es còncava per sota i convexa per sobre. El cap metatarsià té una geometria variable, amb una superfície articular convexa que s'estén més a proximal per la cara dorsal que per la plantar. La cara plantar del cap metatarsià té excavades dues superfícies còncaves per a rebre els ossos sesamoides: la medial és més marcada i més sagital. Estan separades per una cresta sagital que assegura l'estabilitat transversal de l'articulació metatarsosesamoide (16).



Figura 4: Il·lustració del primer metatarsià. Extret de: Henry Gray (1918). *Anatomy of the Human Body*. <http://www.bartleby.com>

La primera falange proximal té una base, una diàfisi i un cap. La base té una faceta articular còncava i ovoide que s'articula amb el primer metatarsià. El cap té un solc al centre i elevacions a cada costat.

1.2.2. Primera articulació metatarsofalàngica

La primera articulació metatarsofalàngica (MTF) és una articulació sinovial. Morfològicament és una bicondília asimètrica, que permet moviments complexes, que associen rotació i moviments en el pla sagital i coronal (17).

L'articulació MTF de l'hàl.lux, al ser una articulació sinovial, està envoltada per una càpsula articular. A nivell plantar aquesta càpsula està reforçada per una placa fibrocartilaginosa, que forma part del sistema glenosesamoide, i per dins de la qual es troben els dos ossos sesamoides.

La placa fibrocartilaginosa està fermament unida a la base de la falange per dos reforços lligamentosos denominats sesamoide-falàngics (18).

El cap del primer metatarsià està connectat a l'aparell sesamoide i a la falange proximal mitjançant quatre lligaments:

- Dos lligaments suspensoris metatarsosesamoides, que uneixen els tubercles medial i lateral del cap del metatarsià a les vores dels sesamoides.
- Dos lligaments colaterals metatarsofalàngics, que connecten els tubercles medial i lateral del cap del metatarsià a la base de la falange proximal.

Els ossos sesamoides estan units entre si mitjançant el lligament transvers intersesamoide, que es confon en la part dorsal amb el fibrocartílag plantar, i per la part plantar forma part del sostre de la beina fibrosa del tendó del múscul flexor llarg de l'hàl.lux (*Flexor Hallucis Longus - FHL*), que passa entre els sesamoides (15).

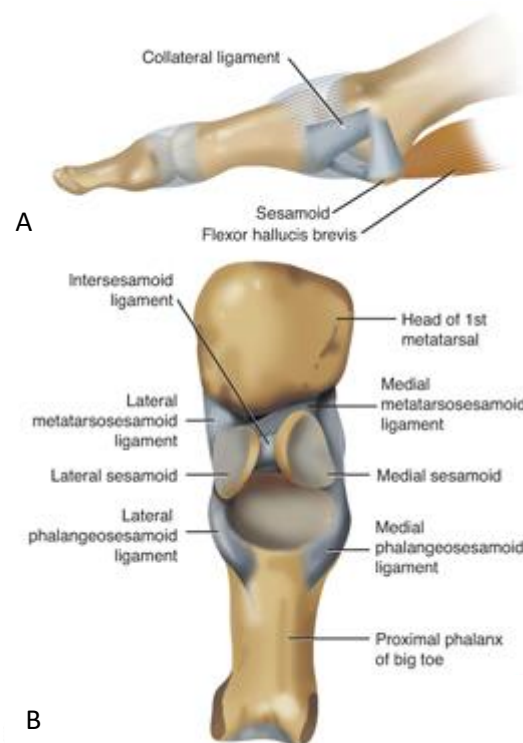


Figura 5: Anatomia de la primera articulació metatarsofalàngica, amb les seves relacions lligamentoses. A: visió medial de l'articulació MTF. B: Primera articulació MTF, detall del complex glenosesamoidal. Extret de: Dorsal cheilectomy for hallux rigidus (2017).<http://www.musculoskeletalkey.com/dorsal-cheilectomy-for-hallux-rigidus>.

Excepte el primer amb el segon metatarsià, la resta de metatarsians estan units per les seves bases a través dels lligaments metatarsians dorsals, plantars i interossis:

- Els lligaments dorsals passen de manera transversa entre les superfícies dorsals de la base dels metatarsians adjacents.
- Els lligaments plantars es distribueixen de manera semblant als dorsals.
- Els lligaments interossis consisteixen en fortes fibres transverses que connecten les porcions no articulars de les superfícies adjacents (17)

Existeix un lligament que uneix la base del segon metatarsià amb la primera articulació tarsometatarsiana, anomenat lligament interossi medial o lligament de Lisfranch, que ajuda a mantenir l'estabilitat del primer metatarsià amb el segon (15).

A nivell distal, els caps metatarsians estan connectats pel lligament intermetatarsià transvers profund, que connecta els lligaments plantars de les articulacions metatarsofalàngiques.

En el cas del primer metatarsià amb el segon, el lligament intermetatarsià transvers profund uneix el cap del segon metatarsià amb l'os sesamoide lateral. Els sesamoides estan també connectats amb el calcani a través de l'aponeurosi plantar. L'aponeurosi plantar s'estén distalment fins a la base de la falange proximal.

El lligament intermetatarsià transvers profund juntament amb l'aponeurosi plantar són els principals estabilitzadors de la primera articulació MTF.

I.2.3. Musculatura de l'hàl.lux

L'hàl.lux rep directament sis músculs, quatre intrínsecs i dos extrínsecs (18). Els intrínsecs són:

- **Múscul flexor curt de l'hàl.lux (*Flexor Hallucis Brevis*):** s'origina a la zona medial de la superfície inferior de l'os cuboides, de la tercera cunya i de la perllongació del tendó del tibial posterior. Es divideix en dues parts que s'insereixen a cada os sesamoide. A la seva inserció el cap medial es combina amb el múscul *abductor hallucis*, i la porció medial es combina amb el múscul *adductor hallucis*.
- **Múscul abductor de l'hàl.lux (*Abductor Hallucis*):** S'origina a la tuberositat del calcani, i forma un ventre muscular que recorre la vora interna del peu, i s'insereix a l'os sesamoide medial.
- **Múscul adductor de l'hàl.lux (*Adductor Hallucis*):** està format per dos ventres musculars: un en posició obliqua i l'altre transversal. El ventre oblic s'origina en el cuboides i a la base del tercer i quart metatarsians. El ventre transvers s'origina en el cap del tercer, quart i cinquè metatarsians. Ambdós ventres es dirigeixen cap a l'hàl.lux on s'insereixen mitjançant dos tendons. El tendó del ventre oblic s'uneix al tendó del cap lateral del *Flexor Hallucis Brevis*, i s'insereix juntament amb ell en el sesamoide lateral i a la part lateral de la base de la falange proximal. El tendó del cap transvers es divideix a l'alçada de la primera articulació metatarsofalàngica en dos grups de fibres: unes s'uneixen a la cara dorsal del tendó del múscul *Extensor Hallucis Longus*; les altres s'uneixen al tendó del ventre oblic (19).
- **Múscul extensor curt de l'hàl.lux (*Extensor Hallucis Brevis*):** és l'únic múscul propi en posició dorsal. S'origina a la cara dorsal del calcani i en el si del tars, i forma un ventre muscular allargat que avança obliquament en el dors del peu, fins a inserir-se a la base de la falange proximal de l'hàl.lux.

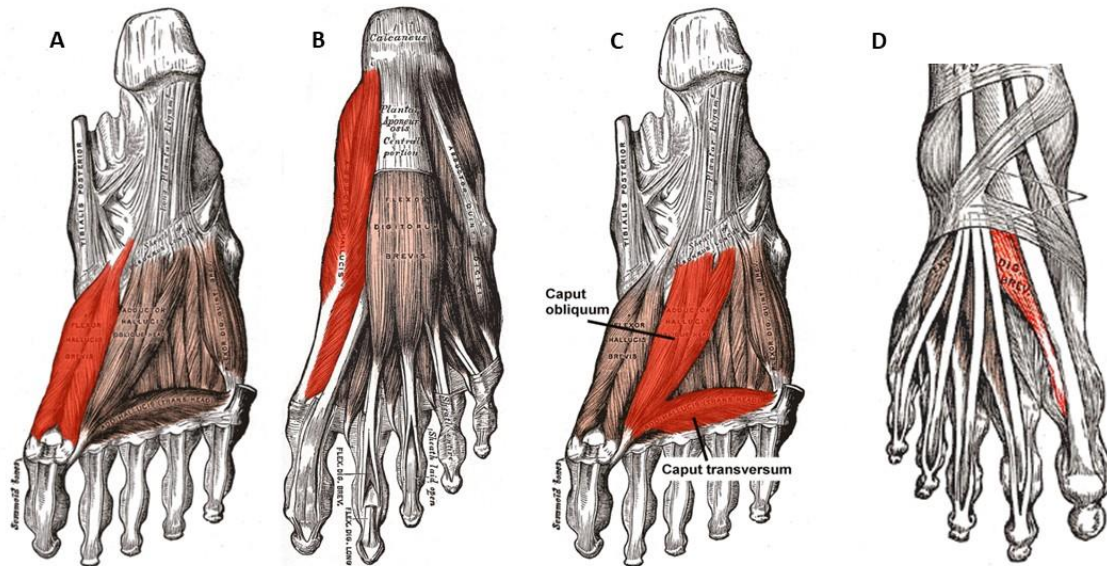


Figura 6: Musculatura intrínseca del peu. A: múscul *Flexor Hallucis Brevis*, B: múscul *Abductor Hallucis*, C: múscul *Adductor Hallucis*, i D: múscul *Extensor Hallucis Brevis*. Extret de: Gray, H (1918). *Anatomy of the Human Body*. <http://www.bartleby.com>

La musculatura extrínseca de l'hàl.lux és:

- **Múscul flexor llarg de l'hàl.lux (*Flexor Hallucis Longus*):** s'origina en els 2/3 inferiors de la cara posterior del peroné i membrana interòssia. Es dirigeix medialment i creua per darrera del mal·lèol intern i discorre per la cara plantar interna del peu, entre els ventres musculars del *flexor hallucis brevis*. Arriba al primer dit passant entre els dos ossos sesamoides i s'insereix a la base de la falange distal de l'hàl.lux (18).
- **Múscul extensor llarg de l'hàl.lux (*Extensor Hallucis Longus*):** s'origina del terç mig de la cara anterior del peroné, medial a l'origen de l'*Extensor Digitorum Longus*, i s'insereix a la base de la falange distal de l'hàl.lux.

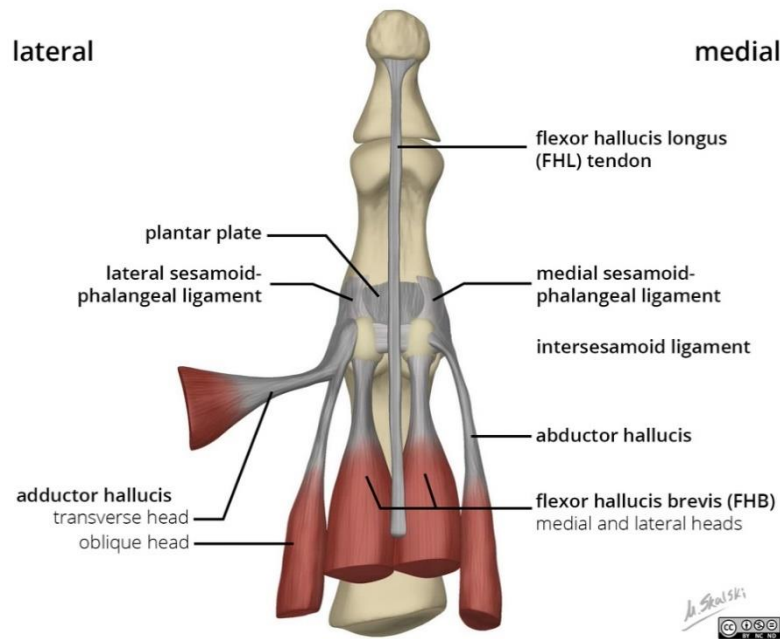


Figura 7: Insercions musculars de l'hàl.lux. Il·lustració extreta de: Matt Skalski. First metatarsophalangeal joint anatomy. www.radiopedia.org

Es descriu un extensor accessori que sol provenir de l'*Extensor Hallucis Longus*, o més rarament del múscul *Tibialis Anterior*, i que s'insereix a la cara dorsal de la càpsula MTF de l'hàl.lux. Es coneix com a tendó accessori de l'*Extensor Hallucis Longus* o *Extensor Hallucis Capsularis*, i el seu percentatge d'aparició s'ha reportat entre el 78% d'individus (20) fins al 98,3% de la població (21).

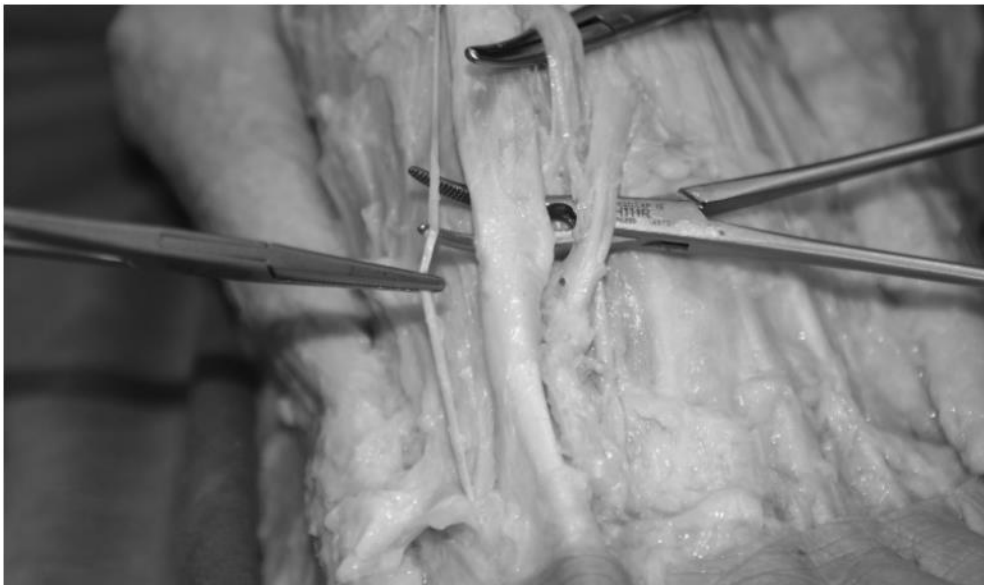


Figura 8: Tendó extensor accessori. Extret de: Palomo Lopez et al. Extensor hallucis capsularis o tendón accesori del extensor hallucis longus: estudio anatómico y funcional, frecuencia y mediciones. *Revista Internacional de Ciencias Podológicas* (2011) 5(2).

I.2.4. Innervació

Pel que fa la innervació de l'hàl.lux hem de tenir en compte quatre estructures, dues plantars i dues dorsals.

La innervació de la cara plantar prové de les branques terminals del nervi plantar medial, que és habitualment la més gran de les dues divisions terminals del nervi tibial. El nervi plantar medial passa profund al múscul *Abductor Hallucis*, fent-se superficial entre aquest i el múscul *Flexor Digitorum Brevis*. A aquest nivell deixa anar una branca, que es converteix en el nervi plantar medial de l'hàl.lux (MPHN), i que innerva el múscul *Flexor Hallucis Brevis* i la part interna de la pell de l'hàl.lux.

En el seu curs per la planta del peu, a l'arribar a la base dels metatarsians, el nervi plantar medial deixa anar unes altres tres branques terminals, la més medial d'elles es divideix i innerva la part externa de l'hàl.lux i la part interna del segon dit. La branca que va a la part externa de l'hàl.lux és el nervi plantar lateral de l'hàl.lux.

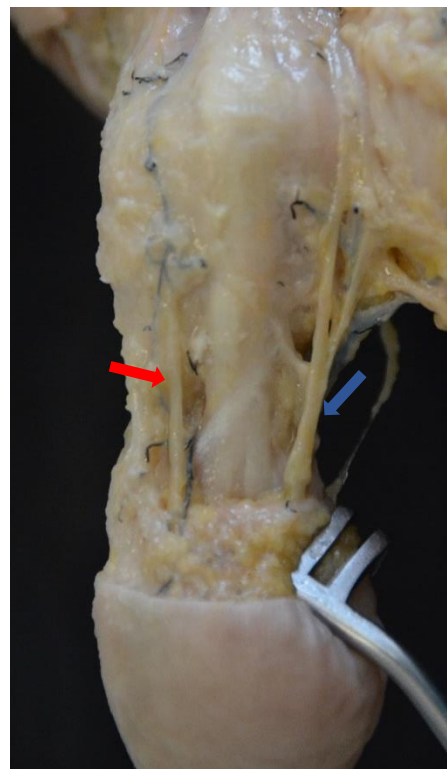
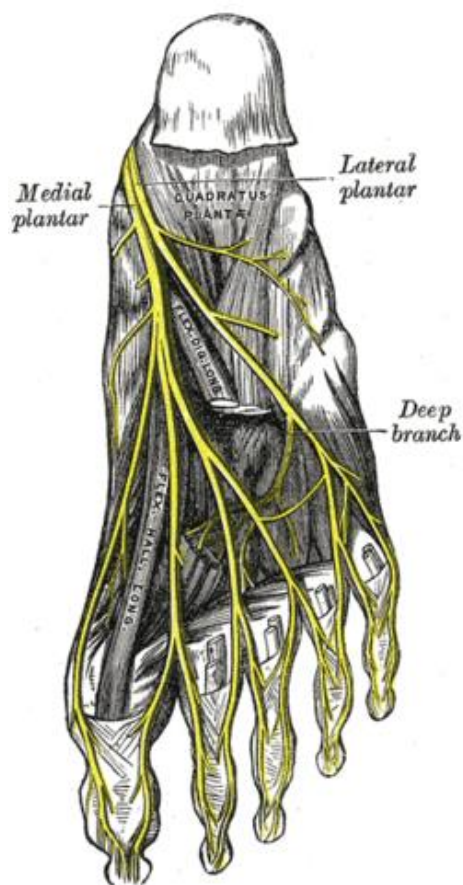


Figura 9: distribució de la innervació plantar de l'hàl.lux. A la dreta, il·lustració de la innervació de la planta del peu. Extret de: Henry Gray (1918)). *Anatomy of the Human Body*. A l'esquerra, dissecció de la part plantar de l'hàl.lux on es visualitza el nervi plantar medial de l'hàl.lux (fletxa vermella) i el nervi plantar lateral de l'hàl.lux (fletxa blava)

La innervació de la cara dorsal del primer dit depèn de branques del nervi cutani dorsal medial del peu, procedent del nervi peroneu superficial. Passa per davant de l'articulació del turmell, superficial al retinacle extensor, i es divideix en tres branques:

- Branca medial. Forma el nervi digital dorsal medial de l'hà.lux (MDDN), que innerva la part medial del dit gros
- Branca intermèdia. Aquesta s'uneix amb el nervi peroneu profund i forma el nervi digital dorsal lateral de l'hà.lux (LDDN), que innerva el primer espai interdigital.
- Branca lateral, que innerva el segon espai interdigital.

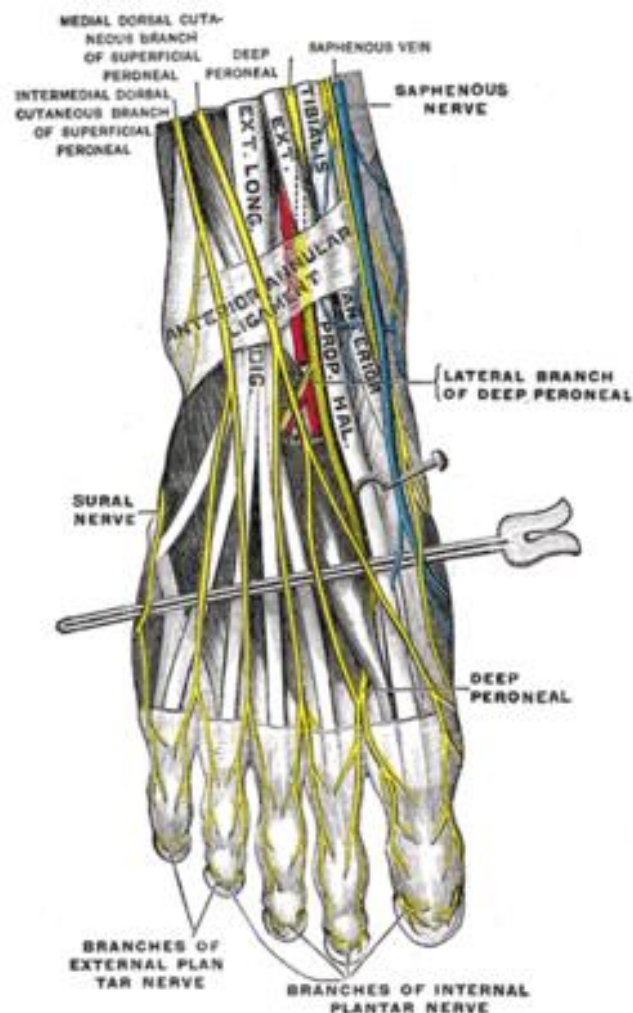


Figura 10: distribució de la innervació en el dors del peu. Il·lustració extreta de: Henry Gray (1918). *Anatomy of the human body*. <http://www.bartleby.com>

I.2.5. Vascularització

La vascularització de la cara dorsal de l'hàl.lux prové de l'artèria dorsal del peu. Aquesta artèria dona l'artèria primera metatarsiana dorsal (FDMA) i l'artèria plantar profunda. La FDMA segueix un trajecte superficial al primer múscul interossi dorsal, i abans de la comissura entre el primer i el segon dit es divideix en dues branques: una passa per sota del tendó de l'*Extensor Hallucis Longus*, i es distribueix per la vora medial del dit gros. L'altra es bifurca i irriga la part lateral de l'hàl.lux i la part medial del segon dit.

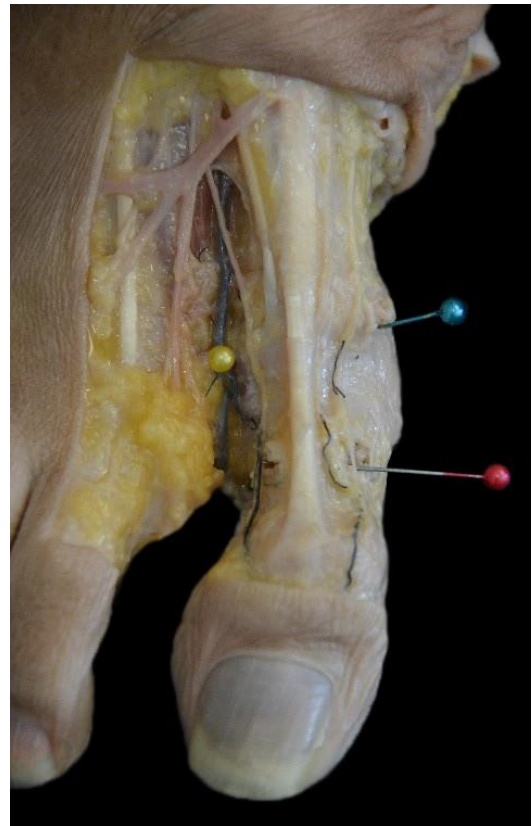
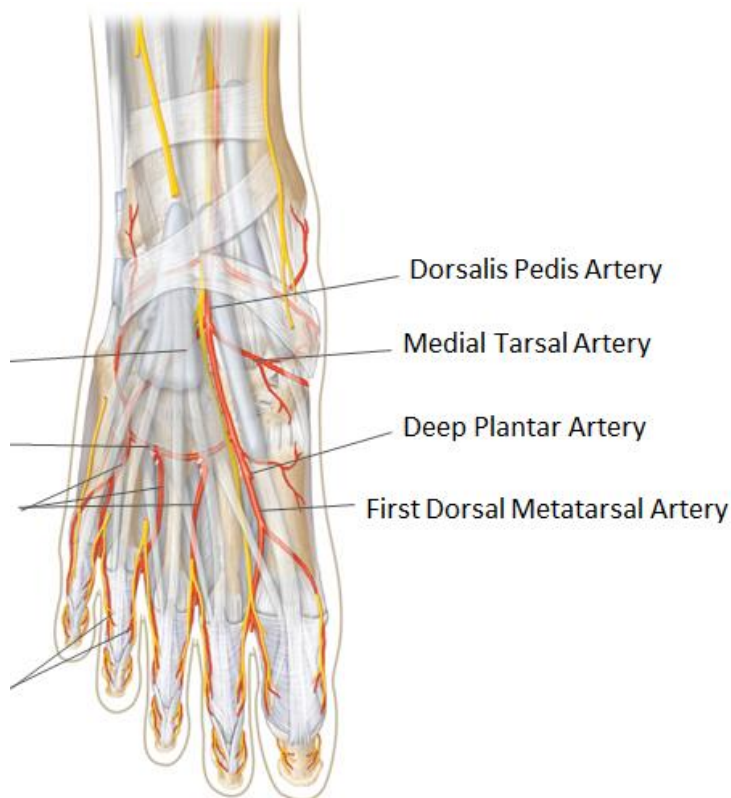


Figura 11: distribució arterial al dors del peu. La divisió de l'artèria primera dorsal metatarsiana (assenyalada a la fotografia amb l'agulla de bola groga) dona una branca que passa per sota de l'EHL i irriga la part medial de l'hàl.lux, i una altra branca que irriga la part lateral de l'hàl.lux i medial del segon dit. Il·lustració de l'esquerra extreta de: www.musculoskeletalkey.com.

La vascularització plantar de l'hàl.lux depèn de l'artèria tibial posterior. Aquesta artèria entra al peu per darrera del mal·lèol tibial, i es situa a mig camí entre el mal·lèol tibial i el procés medial de la tuberositat del calcani, on es divideix en dues branques terminals:

- L'artèria plantar medial, que discorre per la part interna del peu, i acaba en l'artèria plantar medial de l'hàl.lux, que vascularitza la part interna de l'hàl.lux.
- L'arteria plantar lateral. És de calibre superior a la medial. Forma l'arc plantar del peu, que es troba en el pla profund a l'aponeurosi plantar i als tendons flexors llargs. Dona quatre artèries metatarsianes plantars, la primera de les quals vascularitza la part lateral de l'hàl.lux i la part interna del segon dit.

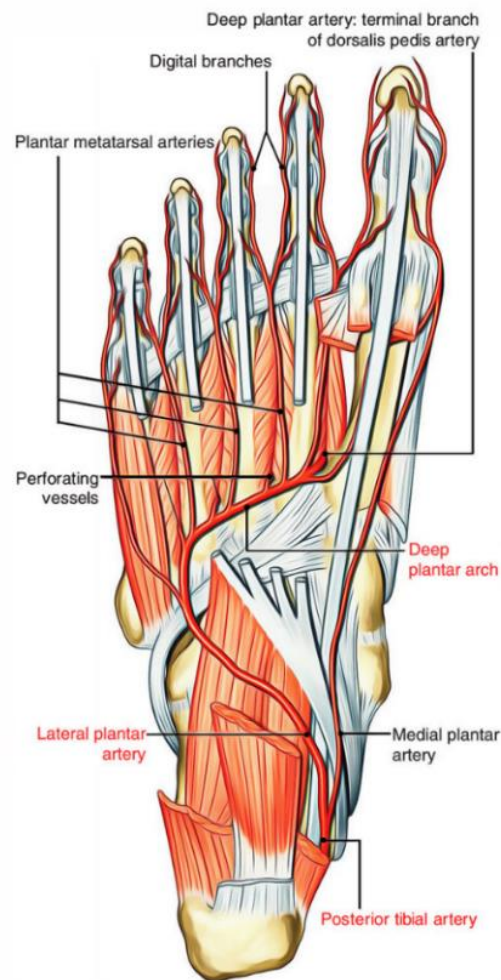


Figura 12: Distribució arterial de la planta del peu. Il·lustració extreta de: www.musculoskeletalkey.com

I.5. FÓRMULA DIGITAL I METATARSIANA

Segons les longituds relatives de cada dit respecte l'hàl.lux, s'estableix la **fórmula digital**, que està dividida en tres grups (22):

- Peu egipci (69% de la població). L'hàl.lux és més llarg que el segon dit
- Peu grec (10-22% de la població). El segon dit és més llarg que l'hàl.lux
- Peu quadrat (9% de la població). Els tres primers dits són de la mateixa longitud.

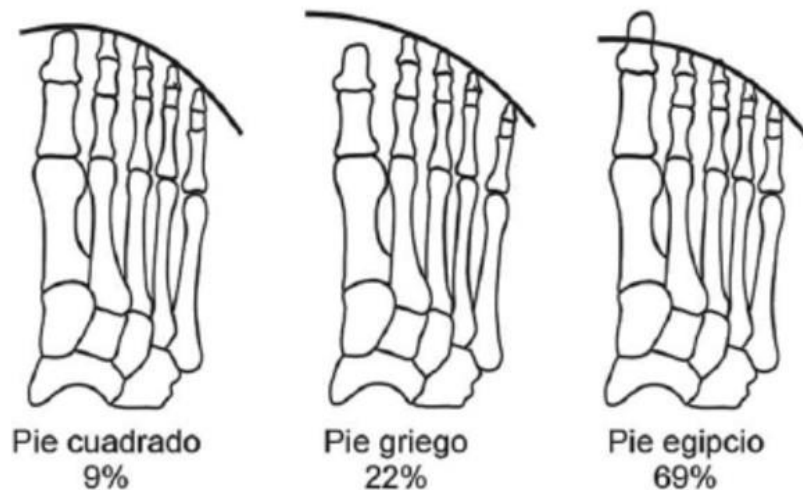


Figura 13: Fórmula digital, definida segons les longituds relatives de cada dit respecte l'hàl.lux. Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patología del pie. Ediciones Mayo.

Segons la longitud del primer metatarsià respecte al segon, observats en una radiografia anteroposterior en càrrega, s'estableix la **fórmula metatarsiana**, que també està dividida en tres grups:

- Índex minus (56% de la població): el primer metatarsià és més curt que el segon, i la resta són cada cop més curts.
- Índex plus-minus (28% de la població): el primer i el segon metatarsià són iguals.
- Índex plus (16% de la població): el primer metatarsià és més llarg que el segon.

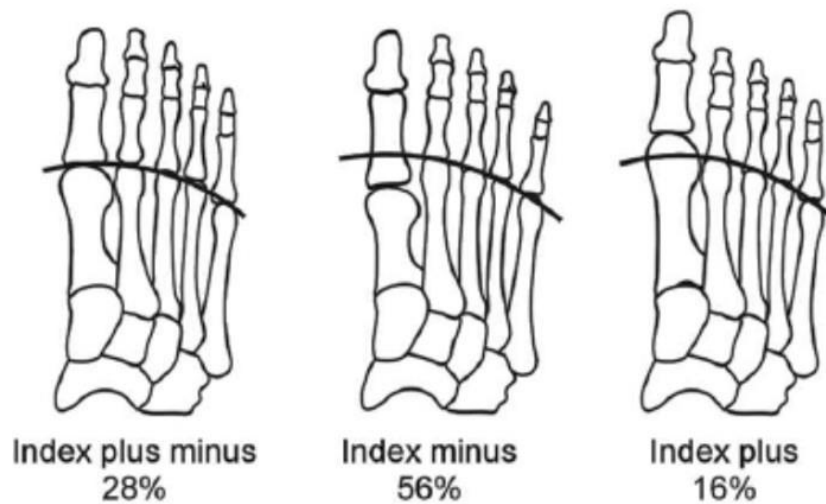


Figura 14: Fórmula metatarsiana, definida segons la longitud relativa del primer metatarsià respecte el segon, en una radiografia anteroposterior. Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patologia del pie. Ediciones Mayo.

I.4. CINEMÀTICA DE LA MARXA HUMANA

El coneixement de la cinemàtica normal de la marxa humana és bàsic per entendre la fisiopatologia de l'hàl.lux valgus.

La marxa humana és una forma de locomoció bipodal. Es descriu mitjançant una sèrie d'accions que tenen lloc de manera repetitiva, constituint el cicle de la marxa.

El cicle de la marxa es pot dividir en dues fases diferenciades: la fase de recolzament o *stance* (60% del temps) i la fase de balanceig o *swing* (40% del temps) (Figura 15).

La fase de balanceig és aquella en la que el peu es troba a l'aire(23).

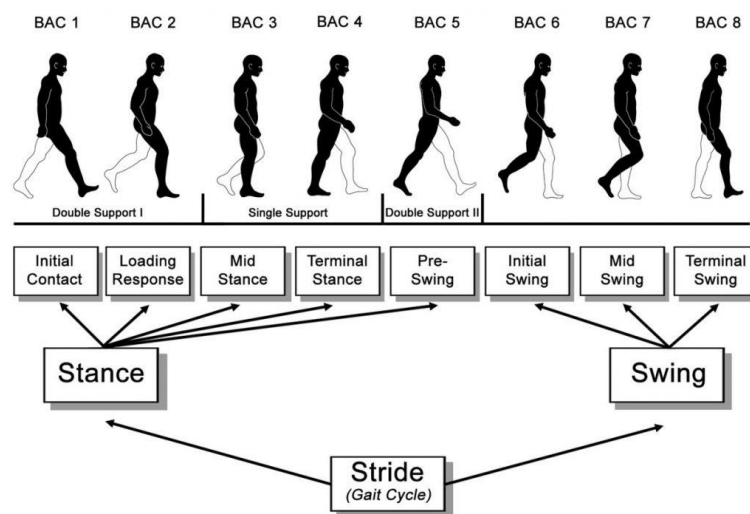


Figura 15: Cicle de la marxa humana. Es divideix entre la fase de recolzament (*stance*) i la fase de balanceig (*swing*). Imatge extreta de: Stöckel T et al. The mental representation of the human gait in Young and older adults. *Frontiers in Psychology* (2015) 6.

La fase de recolzament es pot dividir en tres parts (*Figura 16*), segons quina estructura és la que actua de corró o *rocker* (24):

- **Primer rocker:** fase de taló. Va des de que el taló es recolza a terra fins que tot el peu es deposita a terra.
- **Segon rocker:** fase del turmell. El pes del cos progressa sobre el peu estacionari, anant de posterior a anterior.
- **Tercer rocker:** fase de l'avantpeu. El cos progressa per davant del peu, i la càrrega cau sobre el metatars, que ajuda a impulsar al peu del terra.

Especialment durant el tercer rocker és quan els metatarsians suporten més càrrega (4).



Figura 16: Representació dels tres rockers de la marxa. Fotografia extreta de: Leardini et al. Biomechanics of the natural, arthritic, and replaced human ankle joint. J Foot Ankle Res. 2014 Feb 6;7(1):8. doi: 10.1186/1757-1146-7-8.

En condicions normals, quan el peu està pla a terra, la càrrega sobre el metatars es distribueix uniformement: si suposem que la càrrega que arriba a l'avantpeu té un valor de sis unitats, cadascun dels metatarsians laterals (de segon a cinquè) rebrien una unitat, i les altres dues anirien al primer metatarsià, a través de cadascun dels sesamoides (22). Per tant, el primer metatarsià rep el doble de càrrega que cadascun de la resta dels metatarsians (*Figura 17*).

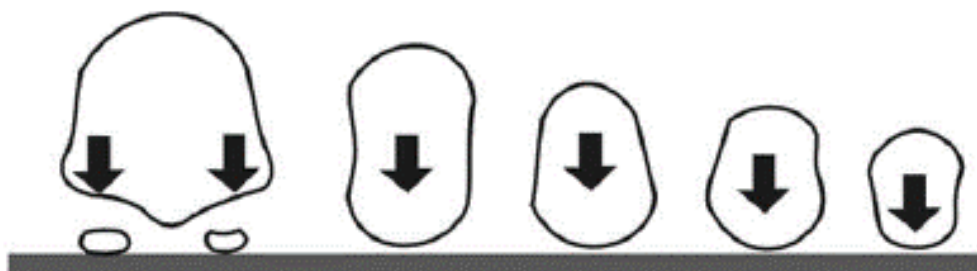


Figura 17: Distribució normal de la força a l'avantpeu. Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patología del pie. Ediciones Mayo.

S'ha de tenir en compte que per assolir això, no només és important la longitud dels metatarsians, sinó també l'angle d'incidència de cada metatarsià amb el terra. És a dir, tot i tenir una fórmula metatarsiana amb unes longituds metatarsianes adequades, si l'angle d'incidència del primer metatarsià està augmentat, com en el cas d'un peu cavus, això provocarà que el primer metatarsià toqui a terra abans que els altres i causarà sobrecàrrega a aquest nivell (*Figura 18*).

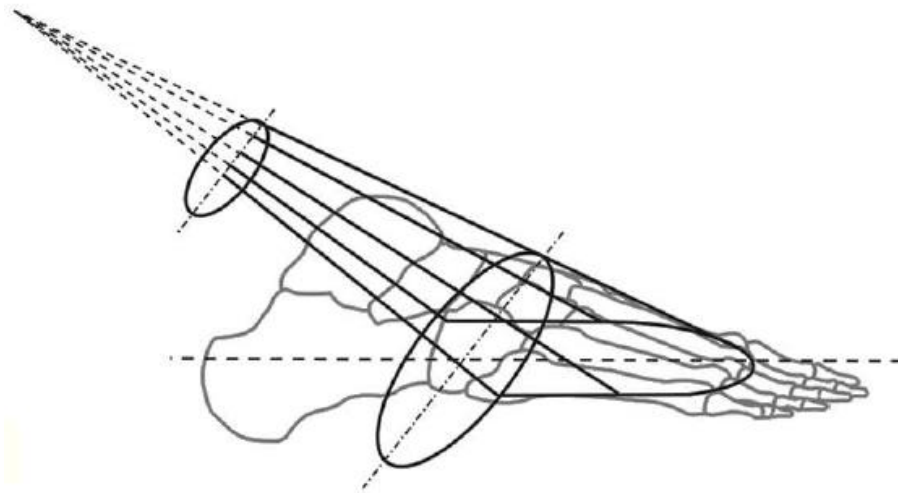


Figura 18: arc metatarsià en el pla sagital. Per assolir una bona distribució de la càrrega a l'avantpeu no només és rellevant la longitud dels metatarsians, si no també el seu angle d'incidència respecte el terra. . Il·lustració extreta de: Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patologia del pie. Ediciones Mayo.

Durant el tercer rocker, quan es s'eleva el peu del terra, la càrrega exercida sobre el primer radi és molt superior al doble de la suportada pels radis restants. Per aquest motiu, el primer metatarsià és d'un gruix molt superior als altres metatarsians i compta amb el complex glenosesamoide.

Sota circumstàncies normals d'un peu sa, estant dempeus descalç, l'avantpeu rep el 28% del pes del cos (25,26). Durant el tercer rocker d'una marxa normal, els músculs *Flexor Hallucis Longus* i *Brevis* apliquen un 52% i un 36% del pes del cos respectivament, i el múscul *Peroneus Longus* més del 58% del pes del cos (27). Això produeix una càrrega axial sobre el cap del primer metatarsià que resulta en un 119% del pes del cos, convertint així el primer radi en l'estructura de l'avantpeu que rep més càrrega (28).

El sistema glenosesamoide de l'hàl.lux, a més d'ajudar a la distribució de la càrrega de l'avantpeu, actua com a politja de la musculatura plantar: els sesamoides donen inserció als músculs plantars curts de la part interna del peu (el sesamoide intern al múscul *flexor hallucis brevis* i al múscul *abductor hallucis*; el sesamoide extern al múscul *flexor hallucis brevis* i als dos fascicles de l'*adductor hallucis*), la força dels quals, a través dels lligaments glenofalàngics, es transmet al dit gros. Els sesamoides actuen com a ròtula que porta la contracció muscular cap al dit gros i el manté fortament aplicat a terra durant la posició de puntetes (22).

Gràcies a aquest sistema, en els moviments de flexoextensió de la MTF, el cap del metatarsià gira sense traslladar-se, mantenint constantment el dit gros aplicat a terra (*Figura 19*).

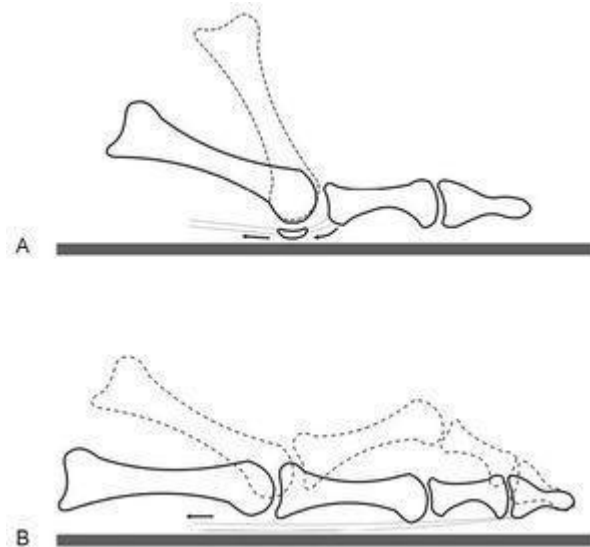


Figura 19: cinemàtica dels dits en la flexió dorsal de la metatarsofalàngica. A: l'hà.lux manté el dit aplicat a terra gràcies a la funció dels sesamoides. B: els altres dits menors s'arrossen. Extret de: Viladot Voegeli A. Anatomía funcional y biomecànica del tobillo y el pie. Revista Española de Reumatología (2003) 30(9).

I.5. ETIOPATOGÈNIA DE L'HÀ.LUX VALGUS

L'hà.lux valgus és la patologia de l'avantpeu més freqüent a la població. El fet de que la seva incidència augmenti conforme augmenta l'edat de la població (28,4% dels adults de >40 anys, 35,7% dels adults de més de 65 anys) (1) i que sigui molt més prevalent en dones que en homes (30% vs 13% respectivament), ha fet que s'associï a la utilització de calçat estret. Choi et al. (29) van comparar radiològicament un grup de dones Masai que caminen descalces amb un grup de dones que normalment porten sabates, i van trobar que la incidència d'hà.lux valgus era significativament menor en el grup de dones Masai. Troballes semblants ja s'havien descrit anteriorment: el 1958 Sim-Fook (30) va trobar un 1,9% d'incidència d'hà.lux valgus en un grup de dones xineses que anaven descalces comparat amb un 33% d'incidències en dones calçades.

De tota manera, a més del calçat, hi ha altres alteracions que poden afavorir l'aparició d'hàl·lux valgus: la relació d'una fórmula metatarsiana tipus índex minus i una fórmula digital de tipus egipci (és a dir, un primer metatarsià curt i un primer dit llarg) s'ha associat a una predisposició a patir hàl·lux valgus(22). Altres factors que s'han observat són la presència d'un peu pronat, la hipermobilitat del primer radi, i la morfologia de la careta articular del primer metatarsià amb la primera cunya (31).

L'hàl·lux valgus comporta l'aparició progressiva d'abducció i pronació de la primera falange. A la mateixa vegada apareix una adducció, elevació i pronació del primer metatarsià (*metatarsus primus varus*), concomitantment amb una retracció de la part lateral de la càpsula de l'articulació metatarsofalàngica (32).

Aquest desplaçament progressiu del primer metatarsià condueix a un escurçament relatiu del mateix. Es a dir, tenint en compte que la càrrega a l'avantpeu es reparteix entre els caps dels metatarsians de manera uniforme, cal que aquests estiguin correctament alineats per a tenir una distribució òptima de la càrrega durant la deambulació.

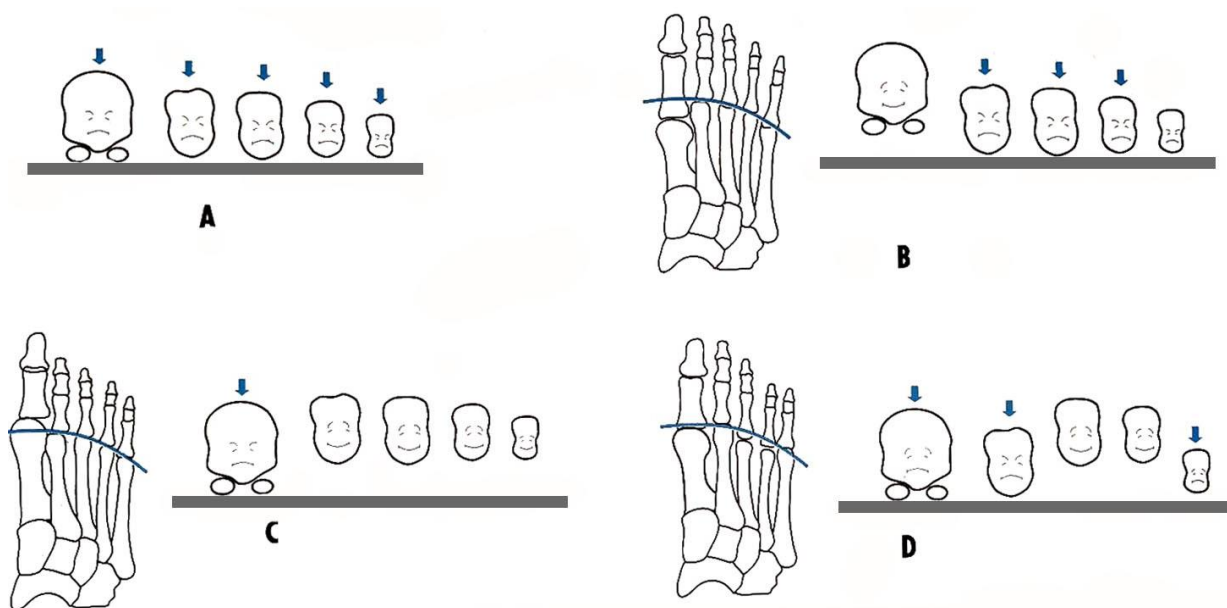


Figura 20: Alteracions de la distribució dels metatarsians que poden produir patologia per hiperpressió. A: sobrecàrrega de tot l'avantpeu. Es pot donar en casos en els que hi hagi un augment de l'angle d'incidència dels metatarsians, com en el peu cavus. B: insuficiència del primer radi. C: sobrecàrrega del primer radi. D: insuficiència dels radis mitjos. Il·lustració de Viladot et al. (2009) 20 lecciones sobre la Patologia del pie. Ediciones Mayo.

Imaginem que en condicions normals la separació entre el primer metatarsià i el segon formen un triangle isòsceles (*Figura 21*), amb 2 angles de la base iguals i els dos costats iguals. Conforme es va obrint el primer metatars medialment, passem a tenir un triangle escalè, i el costat format pel segon metatarsià queda mes avançat en relació al primer. Això causa que una mala transferència de la càrrega durant la marxa, i quan l'avantpeu es recolza al terra durant el tercer rocker es sobrecarrega el cap del 2n i tercer metatarsians.

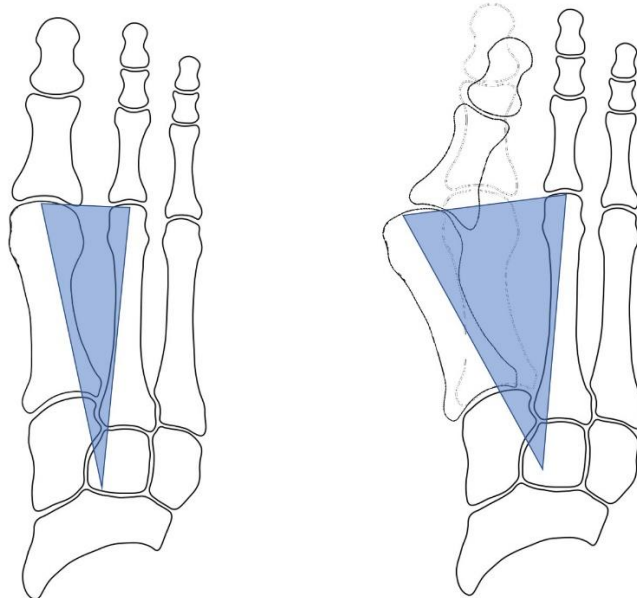


Figura 21: Esquema demostratiu de com la desviació del primer radi comporta un avançament relatiu del punt de càrrega del segon radi. A l'esquerra, peu normal. S'observa com el cap del primer metatarsià està a nivell amb el segon. A la dreta, peu amb hàl·lux valgus. A l'obrir-se l'angle entre el primer i el segon metatarsià, el primer metatarsià queda escurçat en relació amb el segon, provocant una sobrecàrrega sobre el cap del segon metatarsià. Autor: Font pròpia.

Aquesta situació a la llarga provoca dolor a nivell del cap d'aquests metatarsians (metatarsàlgia de transferència) i pot provocar la ruptura de la placa plantar i l'aparició de dits en urpa.



Figura 22: hiperqueratosis plantar secundària a una sobrecàrrega del segon i tercer metatarsians durant el tercer rocker. Autor: Font pròpia.

Per altra banda, tot i que augmenti el *metatarsus primus varus*, els ossos sesamoides es mantenen al seu lloc. D'aquesta manera el metatarsià es luxa progressivament respecte els sesamoides. Això altera la distribució de la càrrega, disminuint la càrrega sobre el sesamoide lateral i incrementant-la sobre el sesamoide medial. Com a conseqüència pot aparèixer dolor i canvis degeneratius a nivell de l'articulació entre el cap del metatarsià i l'os sesamoide medial.



Figura 23: Posició dels ossos sesamoides sobre el cap del primer metatarsià en diferents estadis d'hàl·lux valgus. A: posició normal dels sesamoides, a la radiografia axial es visualitzen centrats a cada costat de la cresta, i a la radiografia anteroposterior es veu la seva posició respecte el cap del metatarsià. B: Hàl·lux valgus lleu, amb lleu subluxació dels sesamoides. C: Hàl·lux valgus moderat, associat amb subluxació moderada dels sesamoides. D: Hàl·lux valgus sever amb un angle d'hàl·lux valgus de 60°, associat amb una luxació completa del sesamoide medial. Imatge extreta de: Michael J.Coughlin. Chapter 10. Sesamoid and accessory bones of the foot. Musculoskeletalkey.com

Per aquests motius, en els casos en el que l'angle intermetatarsià estigui augmentat es aconsellable no limitar la correcció quirúrgica només a l'hàl·lux valgus, sinó corregir també el *metatarsus primus varus*.

I.6. MESURES I CLASSIFICACIÓ DE L'HÀL.LUX VALGUS

Existeixen múltiples mesures per a valorar el grau de deformitat de l'hàl.lux valgus, que s'obtenen de manera clínica, amb radiografia simple o mitjançant Tomografia Computada (TC). Algunes d'elles, a més de ser utilitzades amb freqüència en el nostre medi, es caracteritzen per la seva fàcil obtenció, reproductibilitat, i baixa variabilitat interobservador (33).

- **Angle d'hàl.lux valgus (HVA, Hallux Valgus Angle)** es forma per la intersecció dels eixos longitudinals de la falange proximal i el primer metatarsià. Es considera normal per sota de 15°. Aquest angle és el principal predictor radiològic per a la correcció quirúrgica de l'hàl.lux valgus (34).

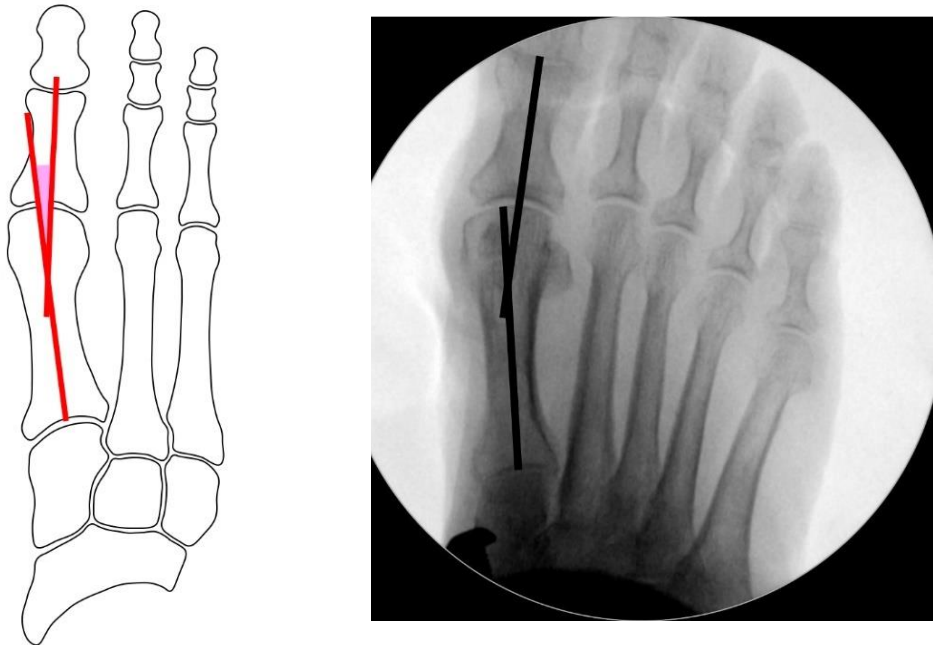


Figura 24: mesura de l'angle d'hàl.lux valgus. A l'esquerra sobre esquema, a la dreta sobre radiografia. Autor: Font pròpia.

- **Angle intermetatarsià (IMTT, Intermetatarsal Angle)**: angle entre l'eix longitudinal del primer metatarsià i l'eix longitudinal del segon. Es considera normal per sota de 9°.

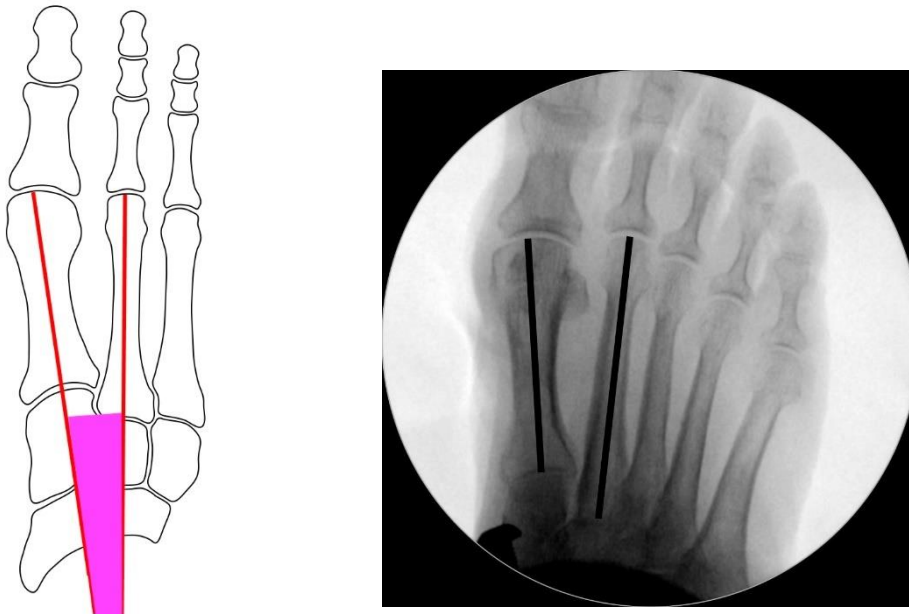


Figura 25: Mesura de l'angle intermetatarsià. A l'esquerra sobre esquema, a la dreta sobre radiografia. Autor: Font pròpia.

- **Angle articular del cap del primer metatarsià (DMAA, Distal Metatarsal Articular Angle):** es traça una línia que uneix els extrems lateral i medial de la superfície articular del cap del 1r metatarsià. El DMAA és l'angle entre la perpendicular a aquesta línia i l'eix longitudinal del primer metatarsià. Es considera normal per sota de 8° . És un angle difícil de mesurar, i té una alta variabilitat interobservador. El DMAA augmenta quan la superfície articular del cap del metatarsià està lateralitzada, i això normalment es troba només en casos d'hà·lux valgus juvenil.

Hi ha tècniques quirúrgiques d'osteotomia distal del primer metatarsià que poden modificar aquest angle, cosa que podria portar a un hà·lux varus iatrogènic.

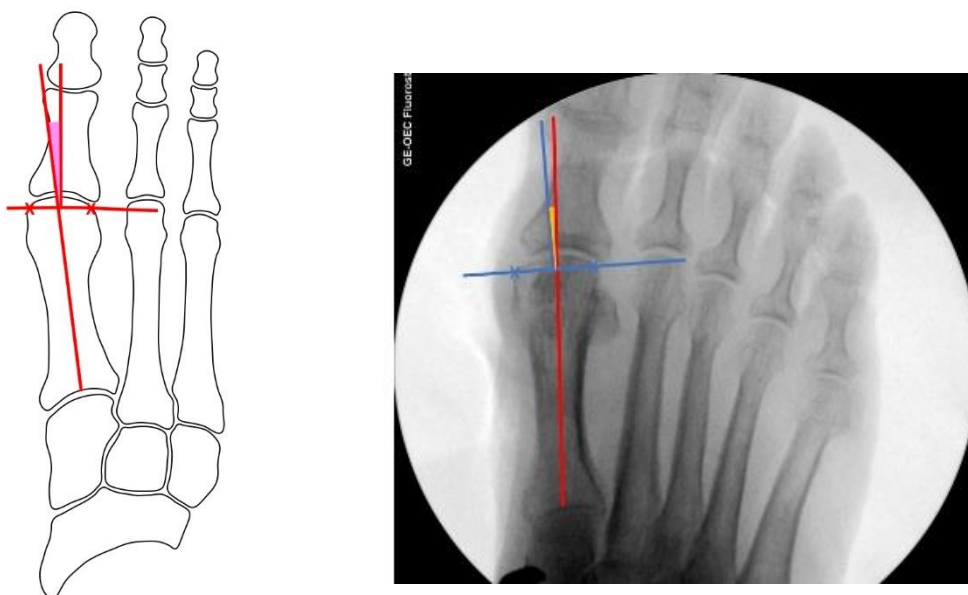


Figura 26: mesura de l'angle articular del cap del primer metatarsià. A l'esquerra sobre esquema, a la dreta sobre radiografia. Autor: Font pròpia.

- **Grau de luxació del sesamoides** (classificació American Orthopedic Foot and Ankle Society o AOFAS) (35): els ossos sesamoides no perden la seva posició inicial encara que progressi el *metatarsus varus*, per tant la seva posició relativa a la posició del cap del primer metatarsià indica el grau de deformitat.

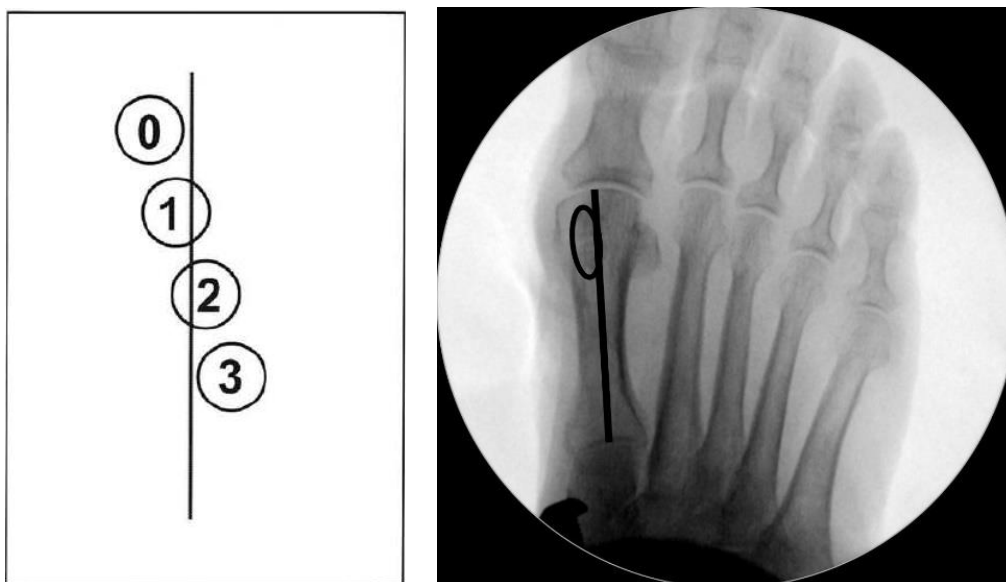


Figura 27: Mesura del grau de luxació dels sesamoides.. A l'esquerra esquema de la classificació d'AOFAS (imatge obtinguda de: Boberg J S, Torgrude E, Pook J. Radiographic evaluation of the hallual sesamoids. 2003 Textbook Update. Chapter 12. The Podiatry Institute), La línia horitzontal representa l'eix mig del primer metatarsià, i els cercles representen el sesamoide medial. Conforme avança el metatarsus varus, la posició del sesamoide medial va lateralitzant-se respecte el metatarsià. A la dreta, radiografia on es visualitza un grau 0 de luxació sesamoide.

Amb la mesura dels angles HVA i IMTT i de la posició dels sesamoides es classifica l'hà.lux valgus segons la seva severitat en tres estadis (36): lleu, moderat i sever (*Taula 1*).

Taula 1. Classificació de l'hà.lux valgus segons severitat. Els valors dels angles HVA i IMTT estan representats en graus. La classificació de la posició dels sesamoides és segons la classificació d'AOFAS.

Deformitat	HVA	IMTT	Sesamoides
Lleu	15-20	10-15	G0-G1
Moderada	21-40	15-20	G1
Severa	>40	>20	G2-G3

I.7. PROCEDIMENTS PER A LA CIRURGIA D'HÀL·LUX VALGUS

El primer indicatiu de correcció quirúrgica d'hàl·lux valgus data del 1836, per Gernet (12). Des de llavors múltiples tècniques quirúrgiques han estat descrites. L'objectiu de totes aquestes tècniques és re-establir el màxim possible l'arquitectura de l'avantpeu(37).

Algunes d'aquestes tècniques comporten l'osteotomia d'algun dels ossos del primer radi, i algunes només fan modificacions a les parts toves. També hi ha procediments que impliquen la fusió o la protètzació de la primera articulació MTF. Moltes vegades diferents tècniques s'utilitzen en combinació en un mateix temps quirúrgic.

Hi ha tècniques que han caigut en el desús, i d'altres, com la cirurgia percutània, està augmentant la seva popularitat.

I.7.1. Artroplasties de resecció

Una artroplàstia de resecció consisteix en extreure una de les parts de l'articulació. La més popular d'elles va ser el procediment de Keller-Brandes, descrit el 1904 (38), que consistia en una osteotomia de la base de la falange proximal i l'extracció del fragment ossi. Això també s'acompanyava d'un alliberament de la càpsula lateral, i d'un retensat de la càpsula medial, cosa que permetia centrar el cap del primer metatarsià a sobre dels sesamoides (*Figura 28*).

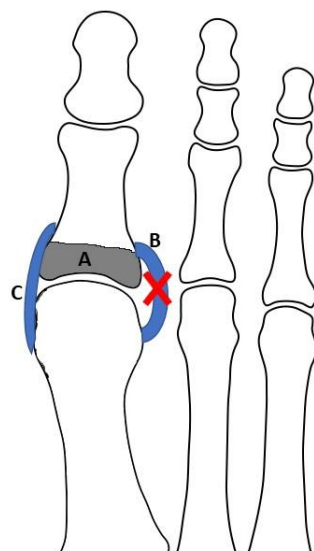


Figura 28: Esquema del procediment de Keller Brandes. A: osteotomia i resecció de la base de la falange proximal. B: secció de la part lateral de la càpsula. C: sutura amb retensat de la càpsula medial. Autor: font pròpia.

Les artroplasties de resecció no donaven resultats satisfactoris, al generar una insuficiència del primer radi, i actualment el seu ús es limita en pacients d'edat avançada amb baixa demanda funcional, o amb un procés degeneratiu avançat a l'articulació (37)

I.7.2. Artròdesi metatarsofalàngica

L'artrodesi consisteix en la fusió de la primera articulació MTF. Aquest procediment està indicat en casos d'hàlux valgus associat a artrosi severa de l'articulació (hàlux rigidus). Dona resultats funcionals satisfactoris, i es pot associar amb una osteotomia del primer metatarsià si cal fer una correcció important del valgus (39).



Figura 29: fotografia d'una artròdesi de la primera articulació metatarsofalàngica. Extret de: Sott A. Minimally invasive arthrodesis of 1st metatarsophalangeal joint for hallux rigidus. Foot and Ankle Clinics (2016) 21(3): 567-576.

I.7.3. Artroplàstia metatarsofalàngica

Des que Swanson va descriure una pròtesi de la primera articulació metatarsofalàngica feta de Silàstic®, s'han desenvolupat diferents models de pròtesis fetes de diferents materials com de ceràmica o de metalls (acer inoxidable, crom – cobalt, titani)(40).

Inicialment les pròtesis d'hàlux van reportar mals resultats, amb una taxa elevada de complicacions i d'afluixament precoç de l'implant. Posteriorment els implants van anar millorant, generalitzant-se la seva utilització. Tot i així, s'ha reportat una taxa d'afluixament radiològic d'entre el 14 i el 30% amb un

seguiment mig de 85 mesos (41), i quan es comparen els resultats entre l'artròdesi i la pròtesi de la primera articulació metatarsofalàngica, l'índex de satisfacció és clarament superior en el grup d'artròdesi (42).

S'ha de dir que la principal indicació per a una pròtesi d'hàl·lux és, igual que per a una artròdesi, l'hàl·lux rigidus, i que els resultats obtinguts amb hàl·lux valgus són encara menys satisfactoris que amb l'hàl·lux rigidus (40).



Figura 30: radiografia d'una pròtesi de primera articulació metatarsofalàngica afluixada, amb el component falàngic desplaçat. Extret de: Stone O. Et al. Long-Term Follow-Up of arthrodesis vs total joint arthroplasty for Hallux Rigidus. *Foot and Ankle International* (2017). 38(4):375-80.

I.7.4. Procediments de parts toves

Els procediments de parts toves sempre van acompanyats d'un alliberament de la càpsula lateral, el que implica una secció de la part lateral de la càpsula i dels lligaments laterals. També pot incloure la secció del tendó del múscul *adductor hallucis*.

I.7.4.a. Procediment de McBride

Descrit inicialment el 1928, consisteix en la desinserció del tendó conjunt del múscul *adductor hallucis* de la base de la falange proximal, i la seva transferència al cap del primer metatarsià, on s'insereix a través d'un túnel ossi (*Figura 31*). Això permet la reducció del *metatarsus varus* i el descens del cap del primer metatarsià (43). Es sol associar a una osteotomia de la base de la falange.

El procediment de McBride va ser una tècnica molt utilitzada fins els 1990s, però donat la dificultat tècnica i el risc de desenvolupar un hàl·lux varus iatrogènic va fer que caigués en desús (37)

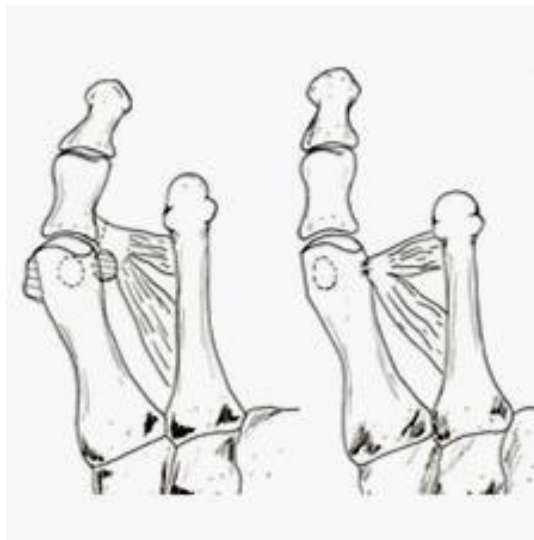


Figura 31: procediment de McBride. A l'esquerra, anatomia normal, on el tendó del múscul *adductor hallucis* s'insereix a la base de la falange proximal. A la dreta, la inserció del tendó del múscul *adductor hallucis* es transfereix al cap del primer metatarsià. Extret de: Wai-Chi Wong. Biomechanics of Hallux Valgus and evaluation of intervention (2014). Hong Kong Polytechnic University. Doi: 10.13140.RG.2.2.36341.60643.

I.7.4.b. Procediment de Smith Petersen

Descrit inicialment el 1888, es basa en la reducció del *metatarsus varus* a través de la sutura capsular entre les dues primeres articulacions metatarsofalàngiques. Per a assegurar-se l'estabilitat, s'hi afegia una tenòdesi del tendó del múscul *adductor hallucis*, que es fixava a la capsula lateral del cap del primer metatarsià. El risc de hàl·lux varus era molt elevat amb aquesta tècnica i es va abandonar progressivament (37).

Actualment ha aparegut una variació de la tècnica en la que s'utilitza un implant que manté units el primer metatarsià amb el segon, reduint així l'espai intermetatarsià (*Figura 32*). Tot i que els estudis encara són de curta durada, els resultats són aparentment satisfactoris amb aquest implant (44).



Figura 32: esquema de l'implant Tightrope[®] (Arthrex Inc), que consisteix en una placa metàl·lica que s'aplica a la cara lateral del segon metatarsià, i dues petites plaques metàl·liques que s'apliquen a la cara medial del primer metatarsià. Aquestes estan unides per una sutura d'alta resistència que travessa els metatarsians a través de túnels ossis, i això permet estrènyer la sutura fins a assolir la reducció de l'angle intermetatarsià. Imatge extreta de: <https://www.arthrex.com/es/pie-tobillo/tecnica-mini-tightrope-para-hallux-valgus>.

I.7.5. Osteotomies del primer metatarsià

En el maneig quirúrgic de l'hàl.lux valgus es sol realitzar invariablement una bunionectomia, o resecció de la part medial del cap del primer metatarsià. A la bunionectomia s'hi pot afegir una osteotomia del primer metatarsià, que segons la localització es pot classificar com a proximal, diafisial o distal.

L'osteotomia proximal permet una major correcció degut a l'augment del braç de palanca, però es reserva als casos severs degut a l'augment de dificultat tècnica i a la possibilitat més alta de complicacions que una osteotomia distal (11).

I.7.5.a. Osteotomies proximals del primer metatarsià

Són molt efectives en corregir el *metatarsus varus*, però tenen el risc de modificar excessivament el DMAA (37). A més, poden modificar l'angle d'incidència del primer metatarsià, provocant un metatars elevat, que causaria una sobrecàrrega sobre els caps dels altres metatarsians, o excessivament angulat, que causaria una sobrecàrrega sobre el cap del primer metatarsià (12).

Es poden dividir en dos:

- En cunya d'obertura medial (*Figura 33*): es realitza una osteotomia medial i es col·loca un implant o un empelt d'os que desplaci el metatars cap a lateral (45).
- En cunya de tancament lateral (*Figura 34*): es realitza una osteotomia en forma de V a la part lateral de la base del metatarsià i s'extreu la cunya d'os, desplaçant el metatars en sentit lateral.

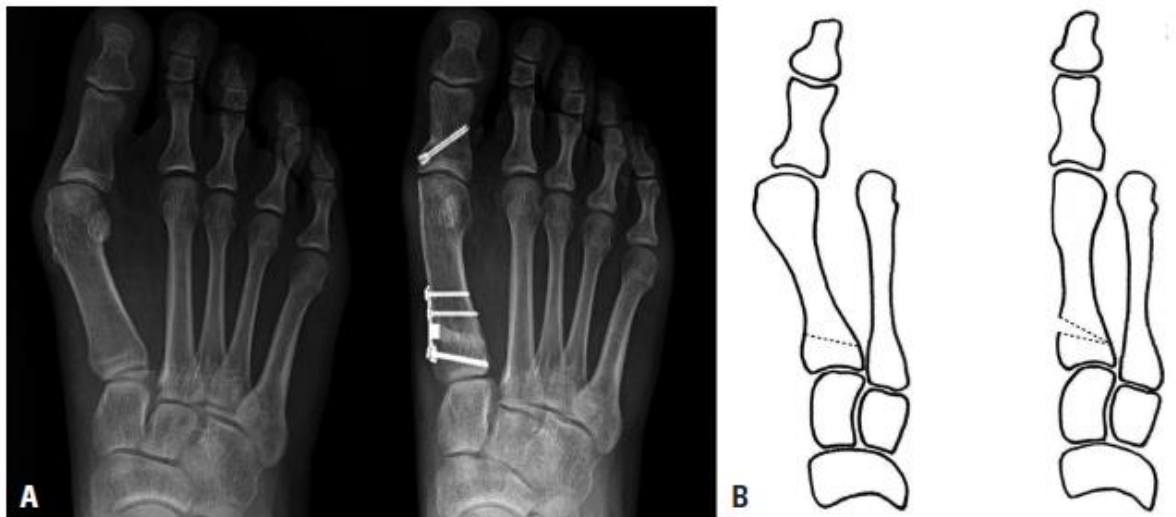


Figura 33: osteotomia proximal en cunya d'obertura medial del primer metatarsià. A: radiografia anteroposterior de peu on es veu a l'esquerra el peu preoperatoriament, i a la dreta 12 mesos post cirurgia. L'osteotomia està fixada amb una placa que porta una cunya que s'ha introduït dins del focus d'osteotomia. B: esquema de l'osteotomia d'obertura medial de la base del primer metatarsià. Extret de: Han S. Et al. First metatarsal proximal opening wedge osteotomy for correction of hallux valgus deformity: comparison of straight versus oblique osteotomy. *Yonsei Medical Journal* (2015) 56(3):744-750.

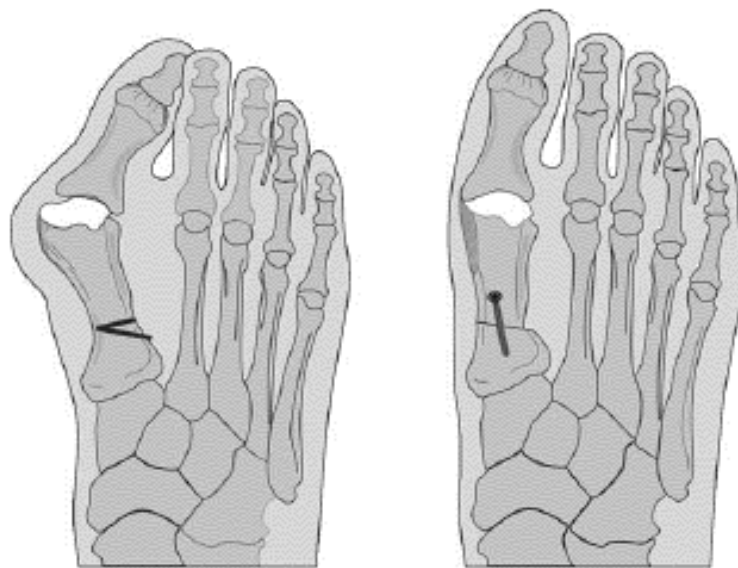


Figura 34: esquema de l'osteotomia d'extracció de cunya medial de la base del primer metatarsià. A l'esquerra, osteotomia i extracció de la cunya. A la dreta, desplaçament el valgus del metatarsià i fixació amb cargol. Extret de: Trnka H. Osteotomies for the hallux valgus correction. 2005. *Foot and ankle clinics*.

I.7.5.b. Osteotomies diafisials del primer metatarsià

La primera osteotomia diafisial va ser descrita per **Ludloff** el 1913 (12,37,46), i consistia en una osteotomia obliqua llarga, que s'iniciava dorsal proximal i es dirigia en direcció distal i plantar (*Figura 35*). La manca de fixació la convertia en una osteotomia inestable, pel que es va abandonar. No va ser fins el 1983 que es va reintroduir amb fixació amb dos cargols(12,47).

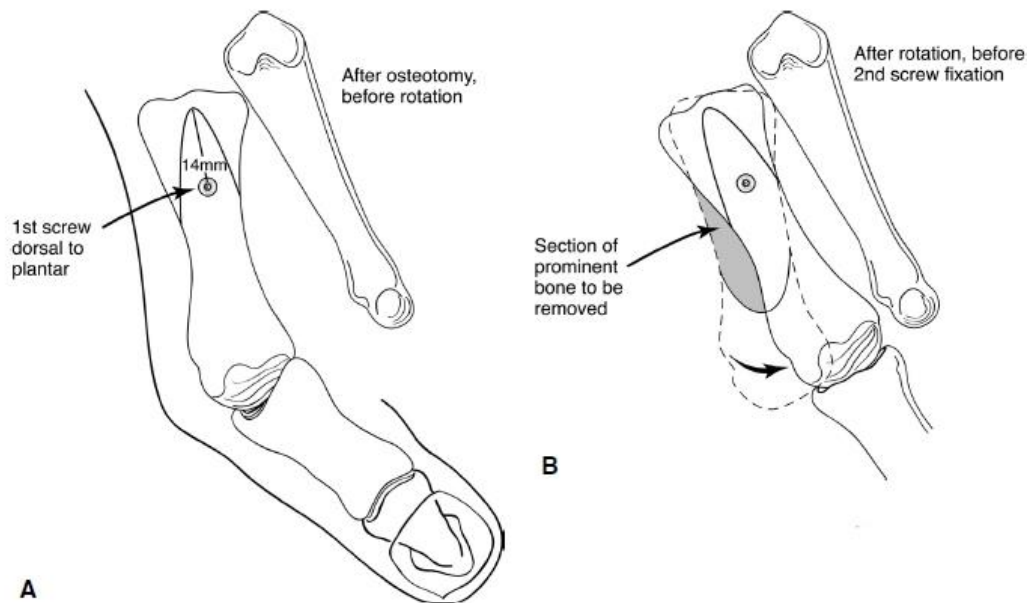


Figura 35: esquema de la tècnica de Ludloff amb fixació. Un cop realitzada l'osteotomia obliqua de la diàfisi es fixa la part proximal amb un cargol (A). Llavors es desplaça el fragment distal cap a lateral (B), i es fixa distalment. Es fa una resecció del fragment prominent proximal medial. Extret de: Schon L et al. Clinical Tip: stabilization of the proximal Ludloff osteotomy. *Foot and ankle International* (2005) 26(7):579-81.

A partir de la tècnica de Ludloff es va desenvolupar l'osteotomia de **Scarf** que es va utilitzar àmpliament a partir dels anys 90. Combina una osteotomia llarga longitudinal amb dues osteotomies curtes frontals. Aquesta morfologia li dona una bona estabilitat intrínseca, però tot i així la tècnica ja va ser descrita amb la fixació amb dos cargols (*Figura 36*). D'aquesta manera, els pacients poden iniciar la càrrega immediatament després de la cirurgia. És una tècnica molt versàtil que permet allargar o escurçar la llargada del primer metatarsià segons es necessiti, a més de permetre una bona correcció de l'angle IMTT. A més, la llargada de l'osteotomia longitudinal permet una consolidació precoç (37).

Té l'inconvenient, però, de ser un procediment laboriós amb alta demanda tècnica, i que assoleix una menor correcció del IMTT que una osteotomia de la base o que la tècnica Ludloff (12).

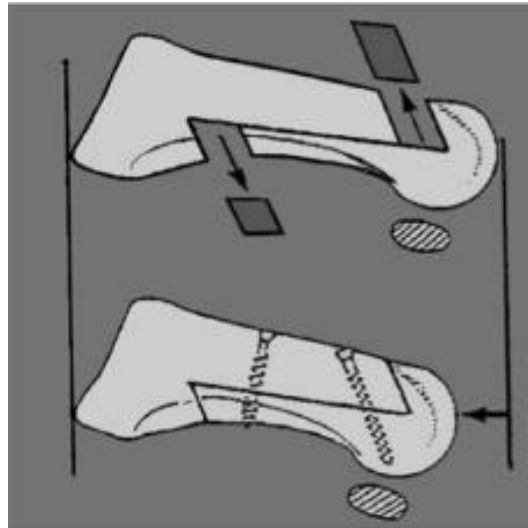


Figura 36: esquema de l'osteotomia de Scarf. Extret de: Galois L. History of surgical treatments for hallux valgus. European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology (2018) 28:1633-39.

I.7.5.c. Osteotomies distals del primer metatarsià

La primera descripció d'una osteotomia distal de primer metatarsià en cunya de tancament la va fer Barker el 1884 (48), amb l'objectiu de desplaçar l'hàl.lux en varus (Figura 37). Tenia l'inconvenient de que, al treure una cunya d'os, el metatarsià quedava escurçat i, a més, com que no portava fixació, calia immobilitzar el peu amb guix durant setmanes després de la cirurgia.



Figura 37: Esquema de l'osteotomia de metatarsià en cunya de tancament medial, com descrita per Barker el 1884. Autor: font pròpia.

Aquesta osteotomia va ser modificada per Kramer, que la va convertir en una osteotomia simple (sense cunya) amb translació lateral del cap i fixació amb una agulla kishner (12). A partir d'aquí es van descriure múltiples versions de l'osteotomia distal. Cal destacar l'aparició de l'osteotomia de Chevron desenvolupada per Austin D. l'any 1962(49). Consisteix en una osteotomia distal del metatars en forma de V en el pla sagital, amb posterior desplaçament lateral del cap (*Figura 38*). Tot i que l'osteotomia és inherentment estable, es va descriure amb fixació amb un cargol. Austin també li associava un alliberament del tendó del múscul *adductor hallucis* i de la càpsula lateral.

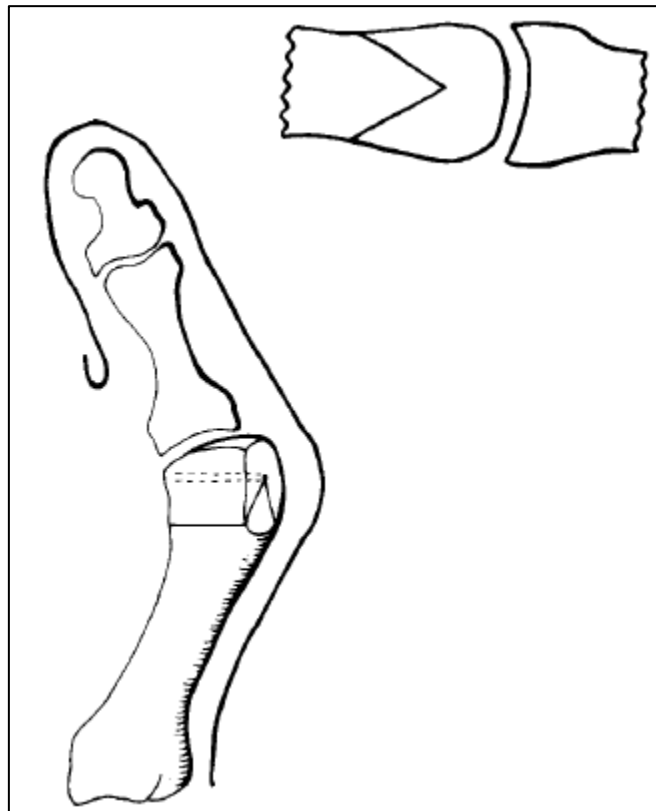


Figura 38: esquema de l'osteotomia de Chevron. A la part de dalt, visió sagital. A la part inferior, visió obliqua. Extret de: Austin D et al. A new osteotomy for Hallux Valgus: a horizontally directed "V" displacement osteotomy of the metatarsal head for Hallux Valgus and Primus Varus. *Clinical orthopaedics and related research* (1981)157: 25-30.

L'any 2007, l'osteotomia de Chevron es va considerar el *Gold Standard* per al tractament quirúrgic de l'hàl.lux valgus segons l'Acadèmia Americana de Cirurgians Ortopèdics (AAOS)(37).

I.7.6. Osteotomia de la falange proximal

L'osteotomia de la falange proximal més coneguda és l'osteotomia d'Akin. Consisteix en una osteotomia en cunya d'extracció medial a la base de la falange proximal (*Figura 39*). Inicialment descrita per Akin DF. el 1925(37), no tenia fixació, però posteriorment es va descriure fixacions amb grapes o cargols.

L'osteotomia d'Akin permet la correcció del HVA, però sense la realització concomitant d'alguna altra tècnica que disminueixi l'IMTT resultaria en un hàl·lux varus iatrogènic. Per aquest motiu la tècnica d'Akin sempre es realitza en conjunció amb altres tècniques quirúrgiques.

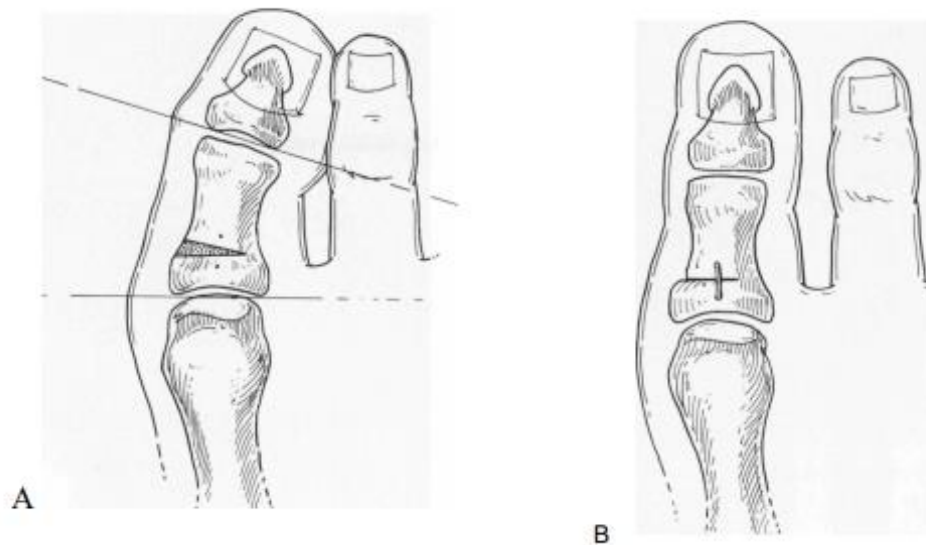


Figura 39: esquema de l'osteotomia d'Akin. A: osteotomia en forma de cunya, realitzada a la part medial de la base de la falange proximal. B: medialització de l'hàl·lux i fixació amb grapa. Extret de: Bonk JH. Phalangeal osteotomy for hallux valgus. Hallux valgus and forefoot surgery. 1994.

I.7.7. Cirurgia percutània

Els procediments descrits en els apartats anteriors van ser desenvolupats utilitzant abordatges quirúrgics amplis que permetien visualitzar les estructures òssies i tendinoses de manera directa (*Figura 40*). Així la cirurgia de l'hàl·lux valgus s'associava a períodes postoperatoris dolorosos, amb alta demanda d'analgèsia postquirúrgica.



Figura 40: incisió en cirurgia oberta d'hàl·lux valgus. Extret de: Easley M et al. Hallux valgus: Proximal first metatarsal osteotomies. *International Advances in Foot and Ankle Surgery* (2012): 11-25

La cirurgia percutània consisteix en realitzar els procediments correctors de l'hàl·lux valgus mitjançant incisions mil·limètriques. Els avantatges potencials de fer unes incisions petites inclouen un menor temps quirúrgic, una recuperació més precoç, i una estada hospitalària menor que amb la cirurgia oberta, i s'han vist demostrats en diferents treballs (2).

Inicialment la van desenvolupar podiatres en els Estats Units fa més de 50 anys, però es va abandonar ràpidament ja que no es van desenvolupar estudis amb resultats objectius (50). Posteriorment, els treballs desenvolupats per Isham en els Estats Units (51) i per de Prado i Golanó a Espanya (52), van augmentar els coneixements sobre aquestes tècniques i van construir una base anatòmica i tècnica per al desenvolupament de les tècniques percutànies. Per aquest motiu, des dels anys 90 les tècniques percutànies han augmentat progressivament la seva popularitat, especialment a Europa (37).

I.8. HISTÒRIA DE LES OSTEOTOMIES DISTALS DEL PRIMER METATARSÀ PERCUTÀNIES

Abans dels anys 80 existien múltiples tècniques obertes per fer una osteotomia distal del primer metatarsià, però no va ser fins llavors que van començar a aparèixer tècniques mínimament invasives i percutànies (53). Els autors que promulgaven aquestes tècniques creien que la cirurgia percutània de l'hà.lux valgus ofería múltiples avantatges, com la millora estètica, la conservació de les parts toves, un temps quirúrgic més baix, un menor temps de recuperació postoperatòria, i un millor control del dolor postoperatori. Aquestes avantatges superaven el risc potencial de lesió neurovascular o tendinosa, que posteriorment s'ha evidenciat que és mínim (54).

El primer procediment percutani àmpliament disseminat va ser publicat per Isham l'any 1991(51), i era una variació de l'osteotomia de Reverdin (*Figura 41*) (osteotomia del terç distal del metatarsià en cunya, de tancament medial), juntament amb una osteotomia d'Akin (osteotomia de la base de la falange proximal), tenotomia de l'adductor i buniectomia (55) (*Figura 42*).

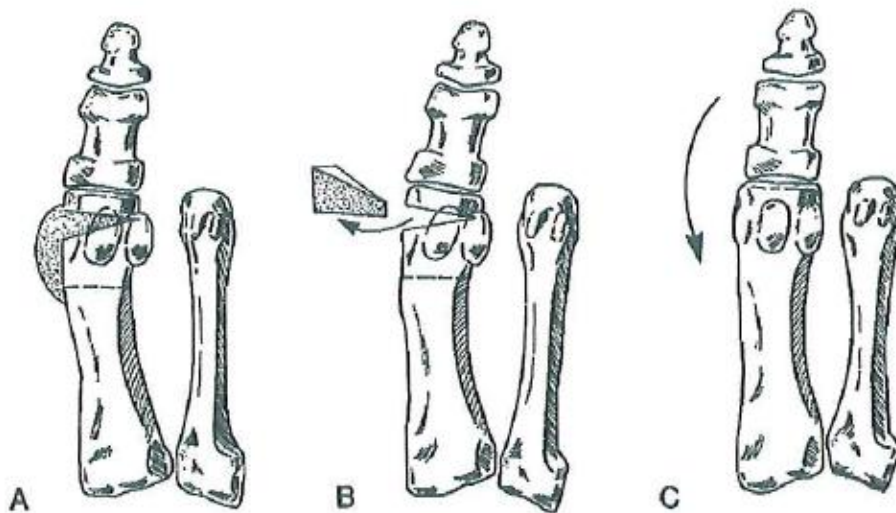


Figura 41: Osteotomia de Reverdin: osteotomia en cunya medial del terç distal del metatarsià. Il·lustració extreta de: Isham SA. The Reverdin-Isham procedure for the correction of hallux abducto valgus. A distal metatarsal osteotomy procedure. Clin Podiatr Med Surg. 1991 Jan;8(1):81-94

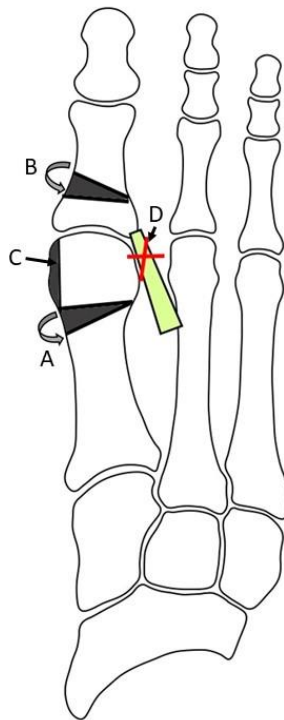


Figura 42: Esquema del procediment d'Isham en visió anteroposterior. És la combinació de una osteotomia de Reverdin (A), una osteotomia d'Akin (B), una bunietomia (C) i una tenotomia de l'adductor (D). Autor: font pròpia.

Aquest procediment millora el HVA i el DMAA, però no l'IMTT, i no es recomana per a casos amb un IMTT més gran de 12-13°(11). A més, si partim d'un hàl·lux valgus amb DMAA normal, aquesta osteotomia podria medialitzar la superfície articular del cap del primer metatarsià i desembocar en un hàl·lux varus iatrogènic (32,56).

Per aconseguir una millor correcció de l'IMTT, Bosch et al. (57) van dissenyar una nova osteotomia en la que no es treia una cunya òssia, sinó que es desplaçava lateralment el cap metatarsià amb l'ajuda d'una agulla de Kirschner. Aquesta tècnica la va popularitzar posteriorment Giannini et al. (8), que la va batejar com a SERI: simple, effective, rapid, inexpensive (simple, efectiva, ràpida, barata). (Figura 43)

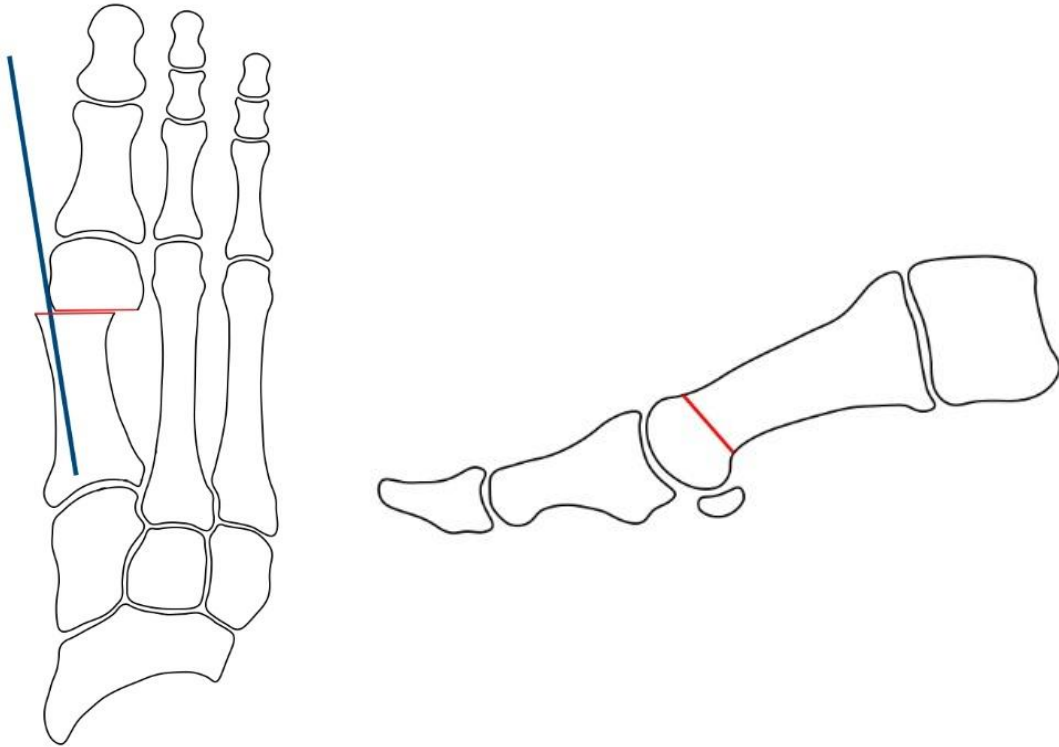


Figura 43: tècnica SERI. A l'esquerra visió anteroposterior. A la dreta visió sagital. Es realitza una osteotomia obliqua en el pla sagital del terç distal del primer metatarsià, i s'utilitza una agulla de kischner per medialitzar el cap del metatarsià. Autor: font pròpia.

Giannini et al. (8) van publicar uns resultats molt bons tant a nivell radiològic com funcional, tot i que descriuen un desplaçament dorsal del cap metatarsià en una proporció molt baixa de pacients (1%). Per a evitar-ho, recomanaven utilitzar una agulla de Kirschner gruixuda (de 2,0 mm de diàmetre). Els beneficis d'aquesta tècnica quirúrgica s'han reportat fins a períodes de seguiment de 10 anys (58)

Malgrat això, altres autors han trobat un desplaçament dorsal del cap metatarsià molt superior (12-20%) (58,59), i fins un 60% reportat per Magnan et al. (60). Aquest desplaçament dorsal pot comportar un escurçament del primer metatarsià, que pot a la seva vegada produir metatarsàlgia per transferència.

Mantenir una agulla Kirschner durant un període de 6 setmanes, a més de ser incòmode pel pacient, pot potencialment augmentar el risc d'infecció. Els autors no descriuen un augment de la taxa d'infecció (8,58), tot i que s'ha descrit un augment de la rigidesa de l'articulació MTF, especialment a la flexió dorsal, respecte a la mobilitat preoperatòria. De tota manera, aquesta rigidesa postoperatòria és menor que l'observada amb les tècniques quirúrgiques obertes (56,61,62).

L'osteotomia percutània de Chevron va ser descrita per Vernois (63) i Redfern (62). Es una osteotomia en forma de V, en la que la primera part és dorsal, curta i vertical, i la segona part és plantar, més llarga i gairebé horitzontal (3). Aquesta osteotomia permet la correcció del HVA i l'IMTT sense modificar el DMAA. Un cop feta l'osteotomia els autors la fixaven amb un cargol de manera percutània (*Figura 44*).

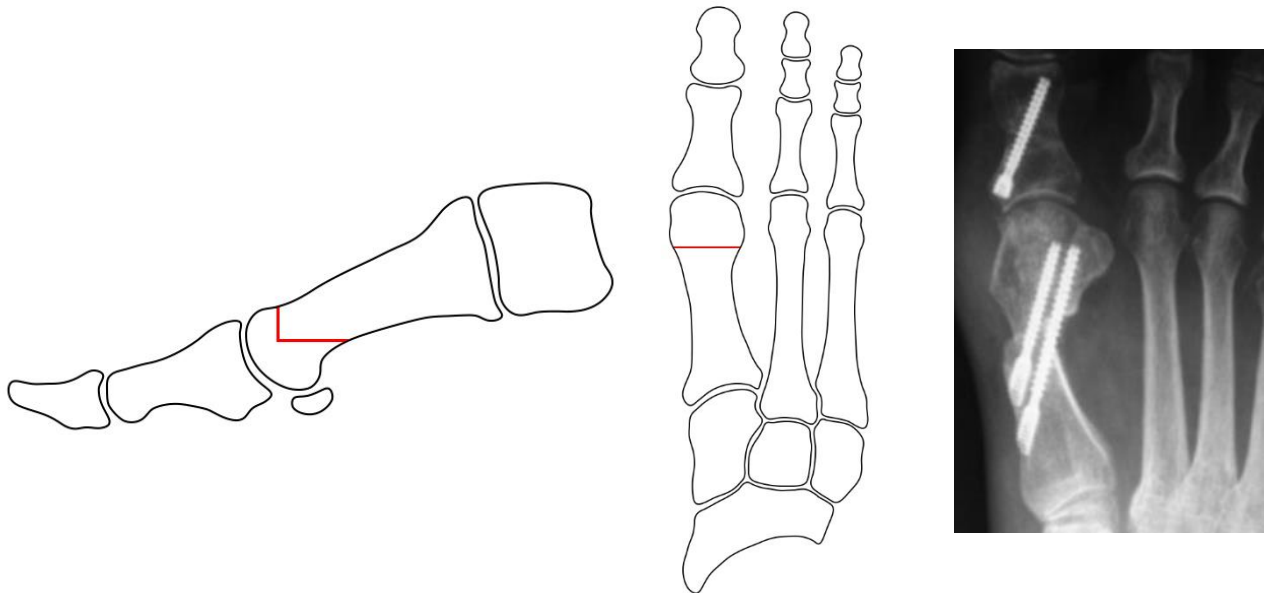


Figura 44: osteotomia de chevron. A l'esquerra visió lateral, on s'observa la morfologia en V de l'osteotomia. A la dreta radiografia anteroposterior de peu on s'aprecia l'osteotomia fixada amb cargols. Imatge extreta de: Redfern D, Perera AM. Minimally invasive osteotomies. Foot Ankle Clin N Am 2014;19(2):181-9. doi: 10.1016/j.fcl.2014.02.002.

Altres autors han preferit mètodes de fixació menys rígida. Radwan et al. (61) va comparar la tècnica SERI percutània amb l'osteotomia de Chevron oberta, les dues només fixades amb agulles Kischer, obtenint bons resultats (*Figura 45*).



Figura 45: Osteotomia de Chevron fixada amb agulla Kirschner. Imatge de extreta de: Radwan YA, Mansour AM. Percutaneous distal metatarsal osteotomy versus distal chevron osteotomy for correction of mild-to-moderate hallux valgus deformity. Arch Orthop Trauma Surg. 2012;132(11): 1539-1546. doi: 10.1007/s00402-012-1585-5.

I.9. MANEIG POSTOPERATORI DE LA CIRURGIA DE L'HÀLLUX VALGUS

Durant el període postoperatori immediat de la cirurgia d'hàllux valgus, la majoria de cirurgians permeten la càrrega completa del peu a terra amb l'ajuda d'una sabata ortopèdica postoperatoria (64). Depenent de l'estabilitat de la síntesi de l'osteotomia i de la qualitat òssia del pacient, alguns autors prefereixen permetre només càrrega parcial (65) i fins i tot no deixar recolzar en absolut (66). Tot i que no hi ha una evidència clara sobre quina és la millor pauta postoperatoria, està demostrat que un excés de càrrega sobre l'osteotomia pot portar a una pèrdua de reducció i mala-unió o pseudoartrosi (67).

Sota circumstàncies normals d'un peu sa, estant dempeus descalç, l'avantpeu rep el 28% del pes del cos (25,26). Durant el tercer rocker d'una marxa normal, els músculs *Flexor Hallucis Longus* i *Brevis* apliquen un 52% i un 36% del pes del cos respectivament, i el múscul *Peroneus Longus* més del 58% del pes del cos (27). Això produeix una càrrega axial sobre el cap del primer metatarsià que resulta en un 119% del pes del cos, convertint així el primer radi en l'estructura de l'avantpeu que rep més càrrega (28).

La sola flexible d'una sabata ordinària augmenta l'àrea total de contacte del peu amb el terra durant la fase de recolzament plantar (segon rocker), permetent una distribució homogènia de la càrrega. En canvi les sabates ortopèdiques s'han dissenyat per reduir la càrrega en àrees específiques del peu (68,69). Les sabates que s'utilitzen en el postoperatori de la cirurgia d'hàl·lux valgus tenen com a objectiu disminuir la pressió a l'avantpeu, permetent la unió dels fragments ossis disminuint el risc de pèrdua de reducció.

Diferents estudis han comparat diferents tipus de sabata ortopèdica, obtenint resultats variables. Trnka et al. (12) van comparar tres tipus de sabata ortopèdica en subjectes sans (una sabata ortopèdica de sola tova, una de sola rígida, i una de taló invertit), i van trobar que el pic més baix de pressió mitja sota el primer metatarsià s'assolia amb una sabata de taló invertit, seguit de la sabata postoperatòria de sola tova. Schuh (67) també va observar que la sabata de taló invertit rebia el pic més baix de pressió sota el primer metatarsià, però que a nivell del migpeu s'hi mesuraven altes pressions, que també podrien ser perjudicials en el postoperatori immediat de la cirurgia d'hàl·lux valgus. En el seu estudi, els millors resultats s'obtenien amb la sabata postoperatòria de sola tova.

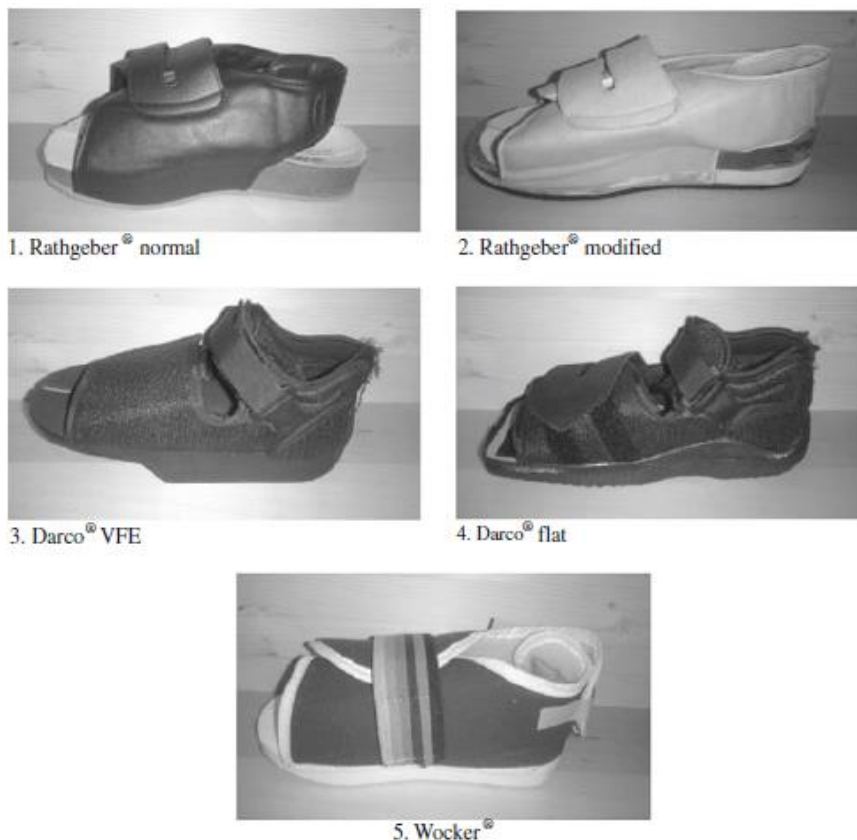


Figura 46: Diferents models de sabata ortopèdica postoperatòria. Imatge extreta de: Schuh R, Trnka HJ, Sabó A, Reichel M, Kristen KH. Biomechanics of postoperative shoes: plantar pressure distribution, wearing characteristics and design criteria: a preliminary study. Arch Orthop Trauma Surg. 2010; 131:197-203

A més de disminuir la càrrega sobre l'avantpeu, les sabates ortopèdiques també han de permetre al pacient caminar amb cert confort. Patel et al. (70) va comparar una sabata de taló invertit amb una sabata ortopèdica de rigidesa transicional, en pacients que van ser intervinguts de cirurgia d'hàl·lux valgus. I, tot i que els pacients van mostrar una satisfacció per la sabata similar entre els grups, va haver-hi una incidència més alta de mal d'esquena i d'abandonament en el grup de la sabata de taló invertit.

II: HIPÒTESI I OBJECTIUS

HIPÒTESIS

- L'osteotomia de Chevron té més estabilitat intrínseca que l'osteotomia SERI.
- La cirurgia percutània de l'hàl.lux valgus és efectiva pel que fa a la compleció de les osteotomies i de la tenotomia de l'adductor, i preserva les estructures neurovasculars i tendinoses adjacents.

OBJECTIUS

- Disseny d'un dispositiu mecànic que permeti analitzar la distribució estàtica de càrregues sobre el peu utilitzant com a model espècimens humans procedents d'un servei de donació del cos a la ciència.
- Comparar la distribució de forces estàtiques sota càrrega progressiva en el peu descalç i en dos models diferents de sabata ortopèdica postoperatòria de cirurgia d'hàl·lux valgus.
- Comparar els resultats de dues tècniques quirúrgiques d'osteotomia del primer metatarsià, mitjançant la valoració radiològica dels espècimens sota càrrega progressiva.
- Determinar les estructures neurovasculars i tendinoses en risc durant la cirurgia percutània de l'hàl.lux valgus.
- Analitzar morfològicament les relacions entre els portals de treball de la cirurgia percutània i les estructures neurovasculars en risc, valorant la seva possible lesió
- Valorar la compleció de les osteotomies realitzades, així com de la tenotomia del múscul adductor.

III: METODOLOGIA

CONSIDERACIONS GENERALS

El projecte es va dividir en tres fases:

1. Fase 1: Estudi de les sabates ortopèdiques utilitzades en el postoperatori de la cirurgia d'hàl·lux valgus.
2. Fase 2: Estudi comparatiu de dues tècniques quirúrgiques mínimament invasives per a la cirurgia de l'hàl·lux valgus.
3. Fase 3: Valoració anatòmica de la seguretat i l'efectivitat de la cirurgia percutània d'hàl·lux valgus.

Aquestes tres parts experimentals es van dur a terme amb una mostra de 20 peus pertanyents a 10 espècimens cadavèrics adults criopreservats (-20^o), procedents del Servei de Donació del Cos a la Ciència de la Universitat de Girona (UdG). Aquest servei segueix la reglamentació vigent per a l'ús del cadàver amb finalitats docents i d'investigació, així com les directrius de la Societat Anatòmica Espanyola expressades a les Actes de Madrid (2015) i de Barcelona (1996), que contemplen entre altres aspectes, les característiques que ha de tenir un laboratori d'anatomia humana, la signatura d'un consentiment informat per part del donant per l'ús del seu cos en docència i investigació, la pràctica de serologies front a VHB, VHC i VIH en tots els donants, i un conjunt de bones pràctiques en el circuit del cadàver des de la seva entrada fins a la seva eliminació final (SAE, 1996, 2015). L'estudi va ser aprovat pel Comitè d'Ètica d'Investigació (CEI Girona) de l'Hospital Universitari Dr Josep Trueta amb data de 26/03/2019 (Annex 1). Tots els donants formen part d'una base de dades protegida, d'acord amb la normativa vigent de la UdG i la Llei de Protecció de Dades. Els espècimens són anonimitzats mitjançant una referència que ens permet conèixer edat, gènere i data d'ingrés en el Servei.

Cada espècimen consistia en un peu sencer i el terç distal de la tibia i el peroné. Es van excloure espècimens amb cicatrius visibles al peu o bé història clínica de patologia traumàtica prèvia o evidència de malaltia osteodegenerativa greu. L'edat dels espècimens estava compresa entre els 62 i els 84 anys. Com a primer pas abans dels procediments experimentals es va procedir a la injecció intraarterial de làtex acolorit per a una correcta identificació dels trajectes vasculars. Abans de dur a terme qualsevol part de l'experiment, els peus eren descongelats a temperatura ambient, i es tornaven a congelar després de la seva utilització.

La mida de la mostra es va decidir basant-se en la bibliografia consultada. De tots els articles consultats, 12 van ser estudis amb peces anatòmiques. La majoria d'autors van utilitzar menys de 20 peus: Schneider et al.(71) van utilitzar 15 peus, Malagelada et al.(72) 10 peus, Yañez et al.(73) 16 peus, del Vecchio et al.(74) 8 peus, Dhukaram et al.(54) 10 peus, Kennedy et al.(75) 14 peus, McGann et al.(76) 10 peus, Simons et al.(77) 6 parells de peus, Teoh et al.(78) 13 peus. Només tres autors en van utilitzar més de 20: Dalmau-Pastor et al.(79) van utilitzar 22 peus per comparar dues tècniques quirúrgiques; Kaipel et al.(80) van utilitzar 40 peus, on 20 van ser intervinguts per un cirurgia amb experiència i els altres 20 per residents sense formació. Trnka et al.(66) va utilitzar 60 peus per a un estudi comparatiu de 6 tipus d'osteotomia (per tant, 10 peus per cada tipus d'osteotomia).

Es va estimar que, pel tipus d'estudi que anàvem a dur a terme, deu parells de peus (per tant, vint espècimens) per la comparació de dos tipus d'osteotomia, ens podrien donar resultats amb rellevància significativa, similarment a l'article de Trnka et al.

III.1. FASE 1: ESTUDI DE LES SABATES ORTOPÈDIQUES UTILITZADES EN EL POSTOPERATORI DE LA CIRURGIA D'HÀL.LUX VALGUS

La fase 1 va consistir en l'estudi de la distribució de la càrrega sota el peu, tant descalç com amb dos models de sabata ortopèdica. Mitjançant una bancada de forces s'aplicava una força axial progressiva sobre cadascun dels peus, i amb uns sensors col·locats sota el taló i sota el cap del primer metatarsià, es valorava com es distribuïa aquesta força i si aquesta distribució era diferent segons el tipus de calçat. Aquesta part del projecte es va dur a terme en el Laboratori d'Anatomia de la Facultat de Medicina de la UdG.

III.1.1. Sabates ortopèdiques

Es van triar dos dissenys de sabata ortopèdica postoperatòria, ambdós de la marca comercial Darco (Darco International Inc, Huntington, West Virginia, USA). Aquests dos dissenys són els més freqüentment utilitzats pels cirurgians en el nostre medi (66). El primer model és una sabata ortopèdica amb encoixinat doble (Darco MedSurg o MS), i el segon és una sabata de taló invertit (reverse camber shoe o RCS) (*Figura 47*).



Figura 47: Sabates ortopèdiques utilitzades en aquesta recerca. 2a: sabata ortopèdica de doble encoixinat (MedSurg o MS). 2b: sabata de taló invertit (reverse camber shoe o RCS). Imatge extreta de: <https://www.darco-europe.com/es/medsurg-zapato-postquirurgico.html>

III.1.2. Bancada de forces

Amb l'objectiu de poder aplicar una força axial sobre el peu de manera controlada es va dissenyar una bancada de forces (Figura 48). Aquesta bancada permetia una fixació estable de la peça anatòmica, mitjançant uns cargols que agafaven la tibia fermament. Un sistema de palanca permetia aplicar un vector de força axial sobre la peça anatòmica col·locada amb un angle de 90° a nivell de l'articulació talocrural (figura 49). Un dinamòmetre (Mecmesin BFG 1000N, Mecmesin Ltd, Slinfold UK) permetia mesurar la quantitat de força aplicada.

La bancada de forces disposava d'una base radiotransparent, que permetia la realització de radiografies dels peus en una fase experimental posterior.

La construcció d'aquest disseny la va dur a terme LandesPoli Ibèrica S.L. (Barcelona), que és una empresa especialitzada en la instal·lació d'equips i instruments per a metrologia dimensional i assajos físics d'aplicació en laboratoris, departaments de control de qualitat, I+D etc, de les indústries automobilística, electrònica, farmacèutica, química i aeronàutica entre d'altres. Els seus productes tenen el certificat de calibratge ENAC.

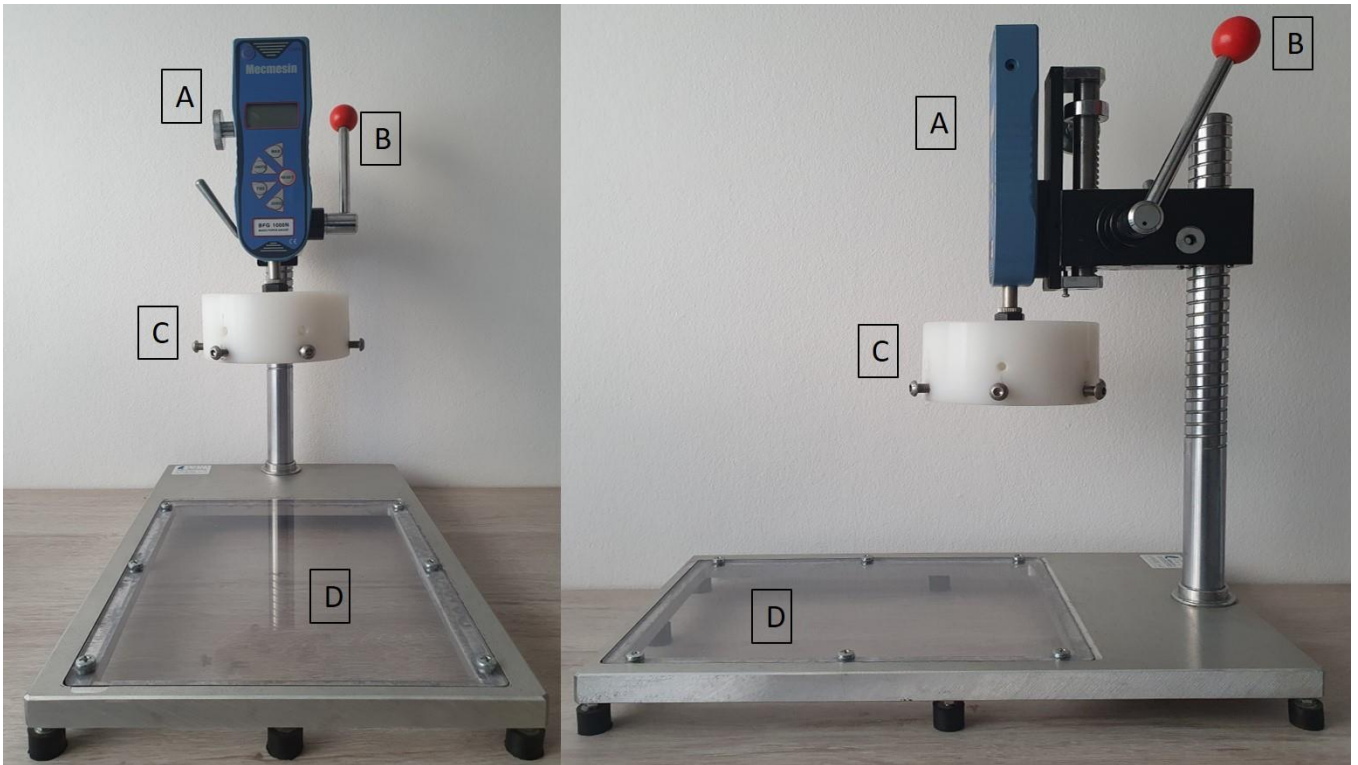


Figura 48: bancada de forces i els seus components. A: dinamòmetre. B: sistema de palanca per aplicar força axial. C: sistema de fixació a peça anatòmica. D: base radiotransparent. Autor: Font pròpia.

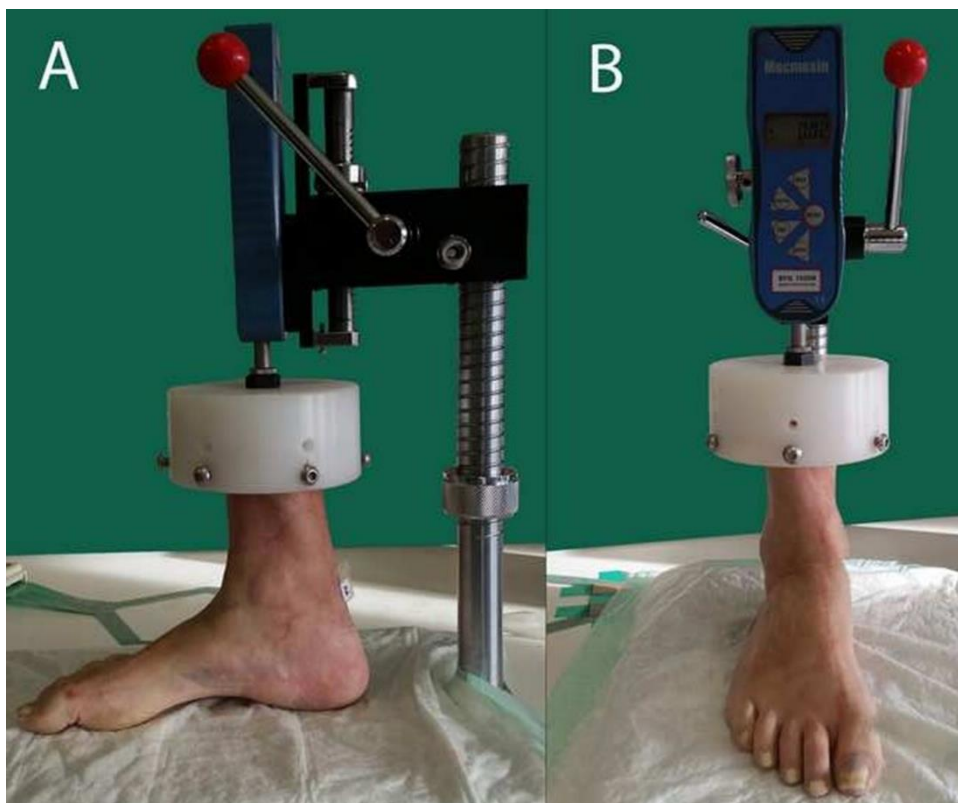


Figura 49: bancada de forces amb peça anatòmica fixada. Autor: Font pròpia.

III.1.3. Dades barogràfiques

Un cop aplicada la força axial a la tíbia, aquesta es distribueix pel peu recolzat sobre la base radiotransparent. Per mesurar aquesta distribució de forces es va utilitzar el sistema I-Scan™ cable system. Aquest sistema compta amb uns sensors, 4000-1500 K-Scan Sensors (Tekscan Inc, South Boston, USA), que estan equipats amb 62 sensels/cm² (Figura 50). Les dades obtingudes pel sensor passaven a l'ordinador, i eren analitzades pel sistema I-Scan™ Pressure Mapping System.

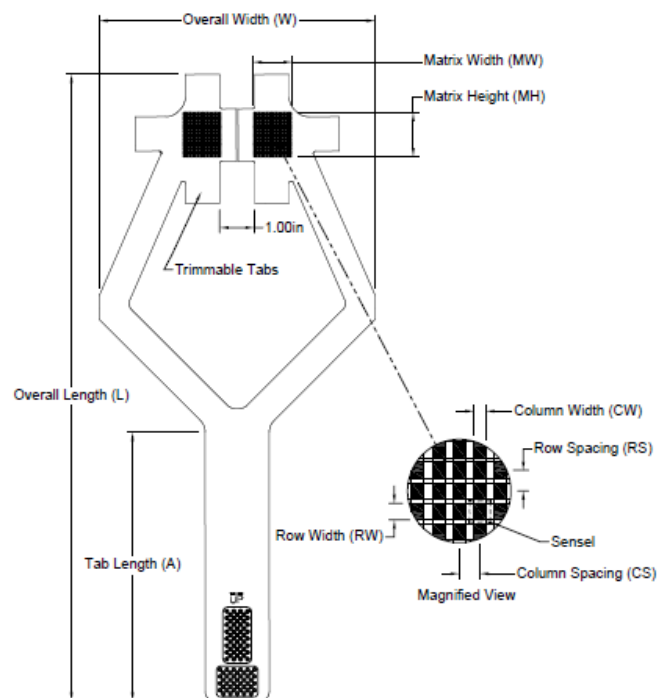


Figura 50: esquema del sensor 400-1500 K-Scan Sensors, i la seva distribució de sensels. Imatge extreta de: <https://www.tekscan.com/products-solutions/pressure-mapping-sensors/4000>

Abans de poder iniciar el treball experimental, els sensors havien de ser calibrats. El primer pas era aconseguir que la força estigués ben distribuïda sobre el sensor. Per a aconseguir això requeríem un material semitou, que pogués omplir l'espai entre els sensels. Un material rígid no permetria una distribució homogènia. Per aquest motiu, es van col·locar unes peces d'escuma de poliuretà al sobre dels sensors (Figura 51).

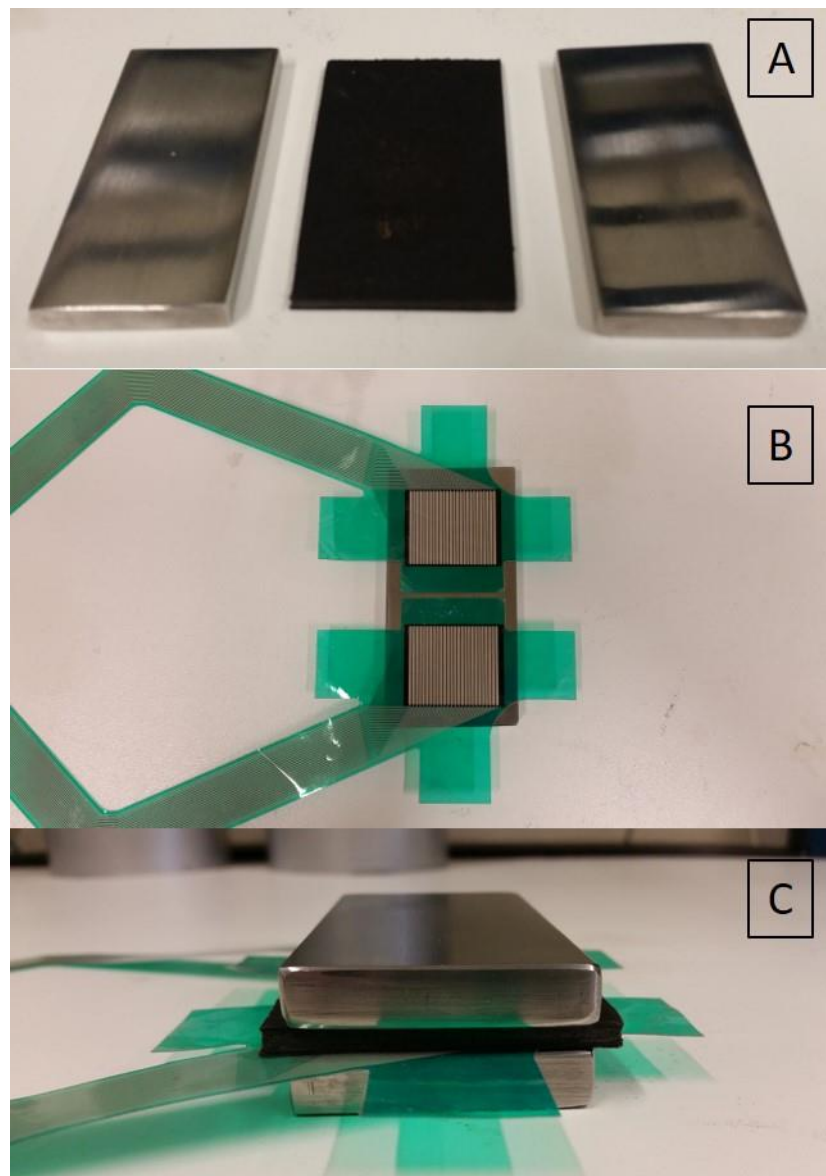


Figura 51: Sistema de distribució homogènia sobre el sensor. A: es requereixen 2 plaques d'acer llises i una escuma de poliuretà. B: Es col·loquen els sensors sobre una de les plaques d'acer. C: A sobre del sensor s'hi posa l'escuma de poliuretà, i a sobre d'aquesta l'altra placa d'acer. Autor: Font pròpia.

El segon pas va consistir en realitzar una corba de càrrega progressiva amb pesos coneguts, a partir de la qual el sistema Tekscan pogués extrapolar les forces rebudes sobre els sensors. Per fer això, es van aconseguir quatre peses de 10 kg cadascuna. Per calibrar el sensor s'hi anava posant una pesa darrera de l'altra fins als 40 kg i registrant-ho en el sistema (Figura 52).



Figura 52: col·locació progressiva de les peses de 10 kg en el procés de calibratge. Autor: Font pròpia.

La fase experimental es podia iniciar un cop calibrats el sensors.

Es va col·locar un sensor a sota del cap del primer metatarsià i l'altre a sota del taló, tant amb el peu descalç com amb els dos models de sabata ortopèdica (sabata MS i sabata RCS).



Figura 53: Col·locació dels sensors amb peu descalç. Autor: Font pròpia.



Figura 54: col·locació dels sensors dins de la sabata ortopèdica. Autor: Font pròpia.

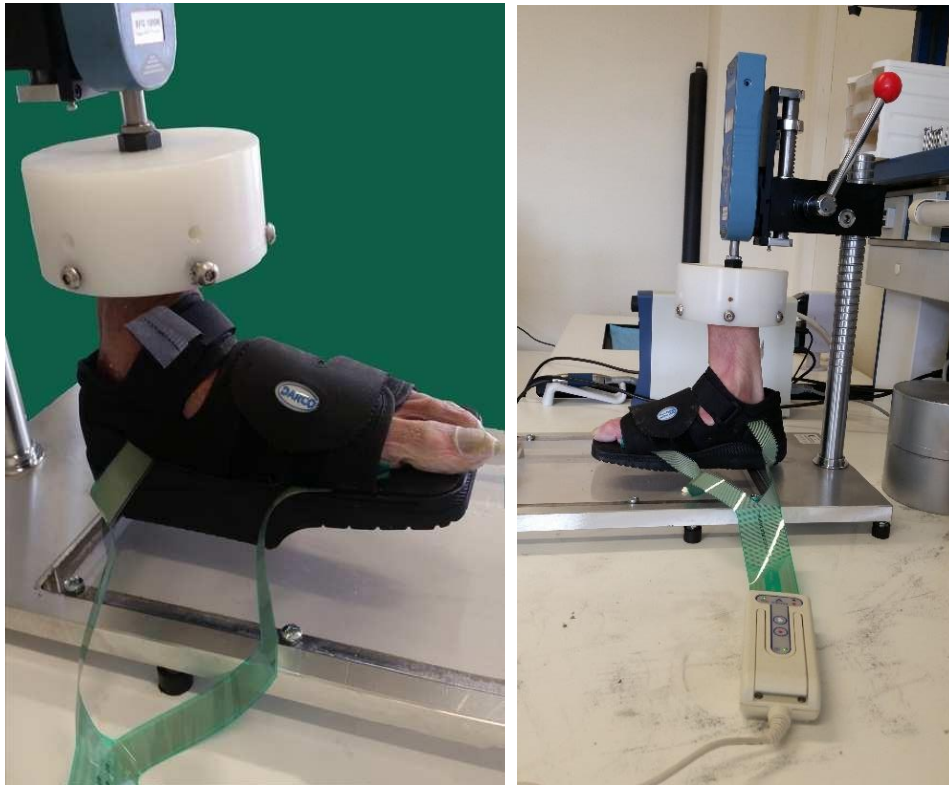


Figura 55: col·locació de sensors amb sabata ortopèdica. A l'esquerra, amb sabata de taló invertit (RCS). A la dreta amb sabata d'encoixinat doble (MS). Autor: Font pròpia.

A través de la bancada de forces, la càrrega axial aplicada s'anava augmentant en intervals de 10kg, fins arribar als 60 kg. A cada interval es registrava la força rebuda tant en el sensor metatarsià com en el del taló. La unitat de mesura va ser Newtons (N).

III.1.4. Anàlisi estadístic

Les dades obtingudes es van analitzar mitjançant el software SPSS (SPSS IBM®, Chicago, USA). Les dades del taló i del primer metatarsià es van analitzar separatament. La significança estadística es va establir amb una $P < 0,05$. Es van decidir dos anàlisis estadístics diferents: en el primer, es va comparar els tres grups diferents (descaç, MS i RCS) a través d'una ANOVA de tres grups. En la segona anàlisi es va comparar el grup descaç versus "sabata ortopèdica" sense separar els dissenys de sabata. Es va calcular la mitjana de les càrregues i la desviació estàndard, que es van comparar mitjançant una T-Student.

III.2. FASE 2: ESTUDI COMPARATIU DE DUES TÈCNiques QUIRÚRGiques

La segona fase del projecte va consistir en la realització d'un procediment quirúrgic sobre cadascun dels peus. Aquesta fase es va dur a terme en col·laboració amb el Servei de Cirurgia Ortopèdica i Traumatologia de l'Hospital Comarcal de Blanes (Corporació de Salut del Maresme i la Selva), simulant l'entorn quirúrgic habitual que utilitzem per la pràctica d'aquestes tècniques. Les autoritzacions per a aquesta col·laboració es troben a l'annex 2.

Els procediments quirúrgics que es van comparar van ser dues tècniques d'osteotomia percutània distal del metatars habituals en el tractament de l'hàl·lux valgus (8,81,82): l'osteotomia de Chevron i l'osteotomia de SERI. Les dues tècniques quirúrgiques es van distribuir de manera randomitzada (Taula 2), de manera que cadascun dels peus d'un parell rebés cirurgies diferents.

Taula 2. Randomització de l'osteotomia distal del metatars. El número correspon al número assignat al parell de peus. E: Esquerre. D: Dret

Chevron	1E	2D	3E	4E	5D	6D	7E	8D	9E	10D
SERI	1D	2E	3D	4D	5E	6E	7D	8E	9D	10E

A més de l'osteotomia distal del metatarsià, a cada peu també se li va realitzar una osteotomia proximal de la falange (osteotomia d'Akin) (37) i un alliberament del tendó adductor(83). Aquests tres procediments es solen realitzar en conjunt durant la cirurgia percutània de correcció de l'hà.lux valgus (73).

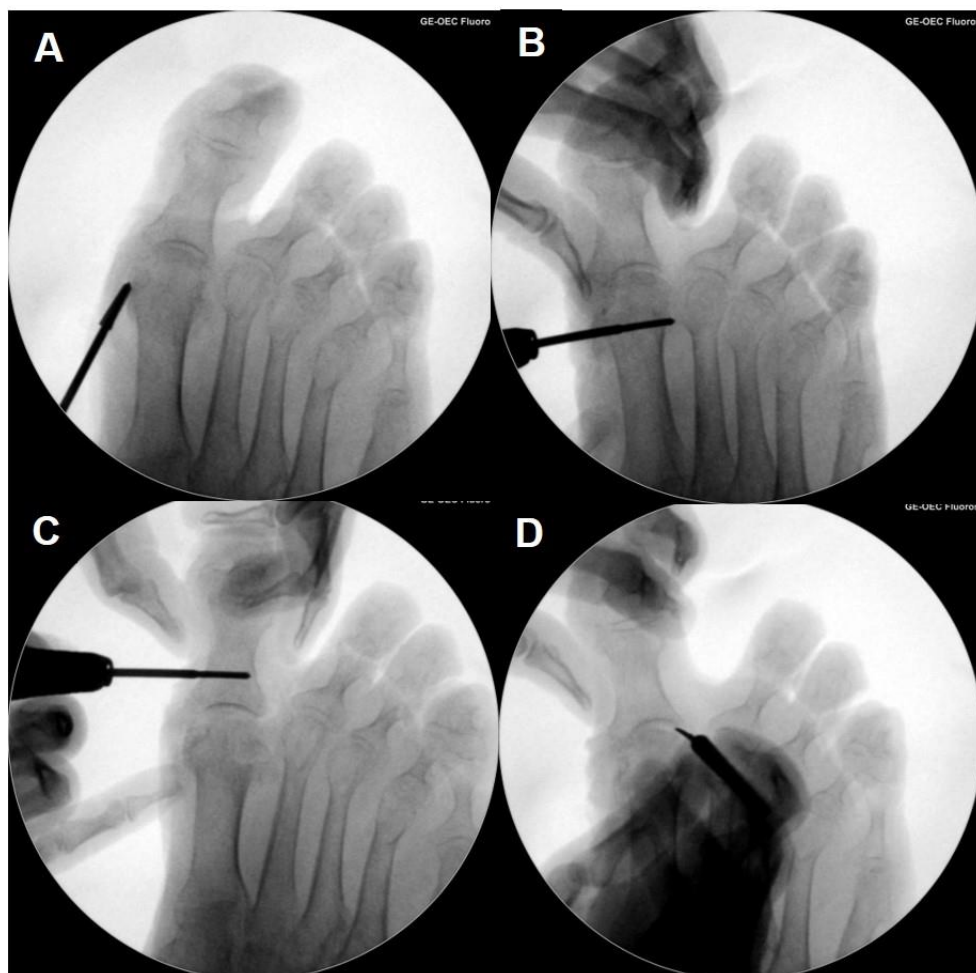


Figura 56: procediments realitzats durant la cirurgia. A: buniectomia. B: osteotomia distal del primer metatarsià. C: osteotomia proximal de la falange proximal (Akin). D: alliberament del tendó adductor. Autor: Font pròpia.

III.2.1. Tècnica quirúrgica

Per a garantir la precisió de les osteotomies es van realitzar tots els procediments sota control radiològic d'un arc de fluoroscòpia (OEC Brivo, General Electric, Boston, Massachusetts, USA) . Es van establir tres portals percutanis, basats en la descripció de De Prado et al. (55), als quals se'ls va assignar una nomenclatura numèrica:

- Portal 1: portal dorsomedial distal. Localitzat a nivell de la metàfisi proximal de la falange proximal, en una posició dorsomedial, just medial al tendó del múscul *extensor hallucis longus*. Des d'aquest portal es realitza l'osteotomia proximal de la falange (osteotomia d'Akin).
- Portal 2: portal medial proximal. Localitzat a la cara medial del coll del primer metatarsià, a nivell del pla mig entre la cara dorsal i plantar de l'os, uns 15 mm proximals a la primera articulació metatarsofalàngica (MTF). Des d'aquest portal es realitza l'osteotomia distal del metatarsià, Chevron o SERI segons el cas.
- Portal 3: portal dorsolateral. Localitzat a la cara lateral de la primera articulació MTF. Des d'aquest portal es realitza l'alliberament del tendó del múscul *adductor hallucis* i de la part lateral de la càpsula.



Figura 57: posició dels portals. 1: Portal dorsomedial distal, 2: Portal medial proximal, 3: Portal dorsolateral. Autor: Font pròpia.

III.2.1.a. Osteotomia de Chevron

L'osteotomia de Chevron es realitza utilitzant una broca tipus Shannon de 2 mm de diàmetre i 15mm de llargada. La broca es col·loca a la part dorsal del metatarsià, a nivell del coll de l'os (a la unió entre la metàfisi distal i la diàfisi), i s'inicia una osteotomia vertical en direcció plantar. Un cop s'ha tallat la meitat dorsal de l'os, la direcció de l'osteotomia canvia i es desvia en direcció proximal, paral·lel al pla horitzontal. D'aquesta manera s'assoleix una osteotomia en forma de V.

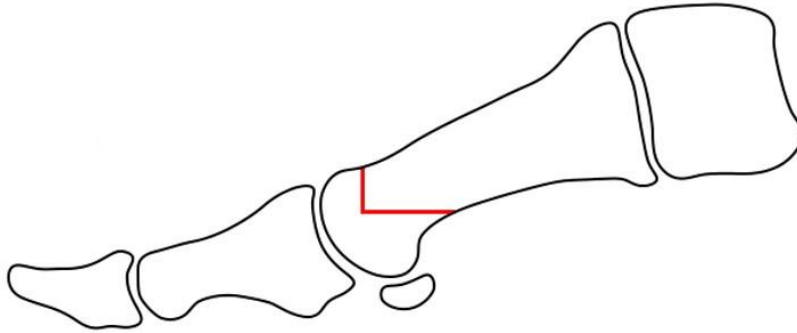


Figura 58: Esquema de la visió sagital de la morfologia de l'osteotomia de Chevron. S'observa un traç vertical dorsal, i un traç horitzontal plantar. Autor: font pròpia.

III.2.1.b. Osteotomia de SERI

Per l'osteotomia de SERI també s'utilitza una broca Shannon de 2 mm per 15 mm. L'osteotomia s'inicia a la part dorsal del coll del metatarsià, però en aquest cas la direcció de l'osteotomia es obliqua en direcció plantar i proximal, aconseguint una osteotomia en diagonal.

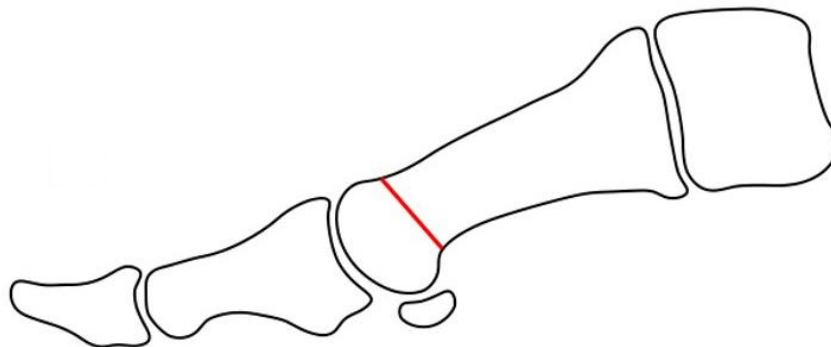


Figura 59: visió sagital de l'osteotomia SERI. S'observa un traç diagonal que progressa de distal i dorsal cap a plantar i proximal. Autor: Font pròpia.

Un cop es realitza l'osteotomia, s'introdueix una agulla de Kischner de 2 mm. Aquesta s'insereix des de la vora medial de l'ungla del dit gros, en direcció proximal i passant medialment a les falanges i al cap del metatarsià. Un cop sobrepassades aquestes estructures l'agulla de Kischner s'insereix intramedul·larment dins del metatarsià a través del tall de l'osteotomia i seguint l'eix longitudinal del metatarsià.

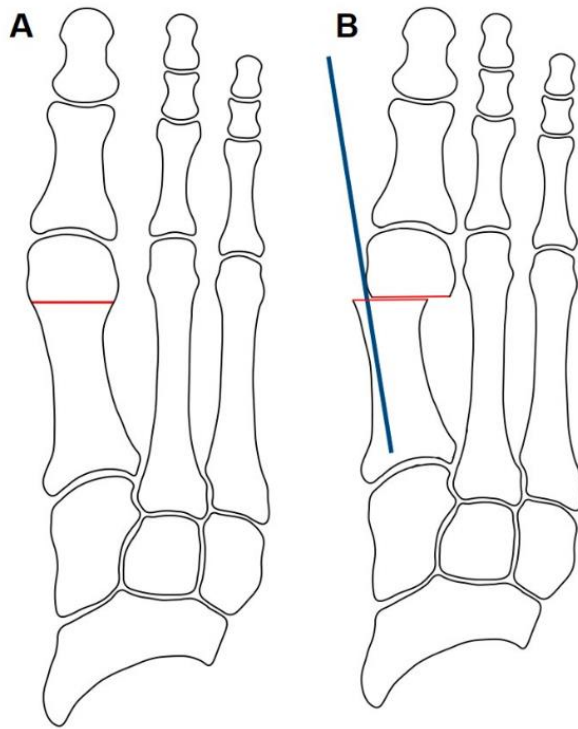


Figura 60: visió frontal de la tècnica SERI. Un cop completada l'osteotomia (A) s'insereix una agulla a través del dit del peu, que és medial a les falanges i al cap del metatarsià, i que s'insereix dins de la diàfisi metatarsiana, assolint així un desplaçament lateral del cap metatarsià. Autor: font pròpia.

III.2.1.c. Osteotomia d'Akin

L'osteotomia percutània de la falange proximal es realitza a través d'un abordatge dorsomedial, a nivell de la metàfisi proximal d'aquesta falange. Usant una broca Shannon de 2 per 15 mm, es realitza una osteotomia subtotal de la falange en forma de cunya, deixant intacte la cortical lateral. Llavors el dit gros es col·loca en varus forçat per tancar l'osteotomia (49).

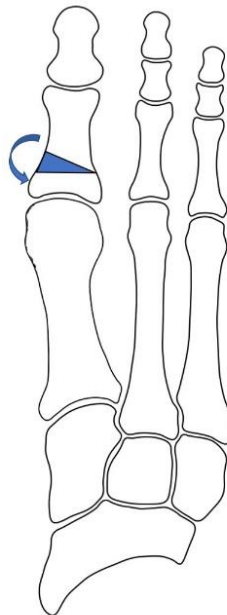


Figura 61: visió frontal de l'osteotomia d'Akin. S'observa una osteotomia en forma de cunya, conservant el còrtex lateral. Un cop realitzada es força el dit gros en varus per tancar l'osteotomia. Autor: Font pròpia.

III.2.1.d. Tenotomia del múscul *adductor hallucis*

Mitjançant un abordatge dorsolateral de la primera articulació metatarsofalàngica, i sota control fluoroscòpic, s'introdueix un bisturí tipus Beaver a través de la part lateral de l'articulació MTF, just distal a l'os sesamoide lateral (*Figura 43*). La fulla del bisturí ha d'estar orientada en direcció medial. Un cop intraarticular, es gira la fulla 180º, quedant dirigida lateralment. A continuació es col·loca l'hà·lux en varus forçat, provocant la tensió del tendó del múscul *adductor hallucis* i que aquest s'apliqui contra la fulla del bisturí. En el moment en que es produeix la tenotomia es pot notar un clar cruït. L'assoliment de la tenotomia completa es pot comprovar de manera fluoroscòpica, comprovant que la part lateral de l'articulació MTF s'obre al col·locar el dit en varus, i que els ossos sesamoides no segueixen aquest moviment (55,73,75).



Figura 62: tenotomia del múscul *adductor hallucis*. S'introdueix el bisturí dins de l'articulació amb la fulla orientada a medial (esquerra), un cop dins de l'articulació es gira la fulla 180º fins que queda orientada cap a lateral (centre), i llavors es col·loca el dit gros en varus forçat (dreta). Autor: Font pròpia.

III.2.1.e. Embenats

Un cop acabada la cirurgia, es col·loca un embenat per a mantenir la correcció obtinguda amb la intervenció, ja que no es realitza osteosíntesi. L'embenat es realitza segons les guies de De Prado et al.(52). S'utilitzen gasses i esparadrap, que es col·loquen entre el primer i el segon dit, creuant-les sobre la cara interna del cap del metatarsià, i fent una lleu tracció per hipercorregir el dit en varus. A continuació es col·loquen noves gasses i esparadrap a nivell de l'avantpeu, servint de fixació de les gasses que hi ha entre els dits.



Figura 63. Col·locació de l'embenat postoperatori. Es col·loquen esparadraps entre el primer i segon dit, a mode de corbata, que es creuen a la part medial del cap del metatarsià (esquerra). A sobre es col·loquen noves tires d'esparadrap de manera transversa sobre l'avantpeu (dreta). Autor: Font pròpia.

III.2.2. AVALUACIÓ RADIOLÒGICA

Durant la cirurgia es van obtenir imatges mitjançant un arc fluoroscòpic (OEC Brivo, General Electric, Boston, Massachusetts, USA).



Figura 64: arc fluoroscòpic OEC Brivo de General Electric. Imatge extreta de: <https://www.gehealthcare.com/products/surgical-imaging/oec-brivo-plus-c>

Abans de la cirurgia es van fer radiografies dels peus tant en projecció antero-posterior (AP) com lateral. A la projecció AP es va mesurar l'angle d'hàl·lux valgus (HVA), l'angle intermetatarsià (IMTT), l'angle articular distal metatarsià (DMAA) i la posició sesamoide, d'acord amb la classificació de l'American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS).

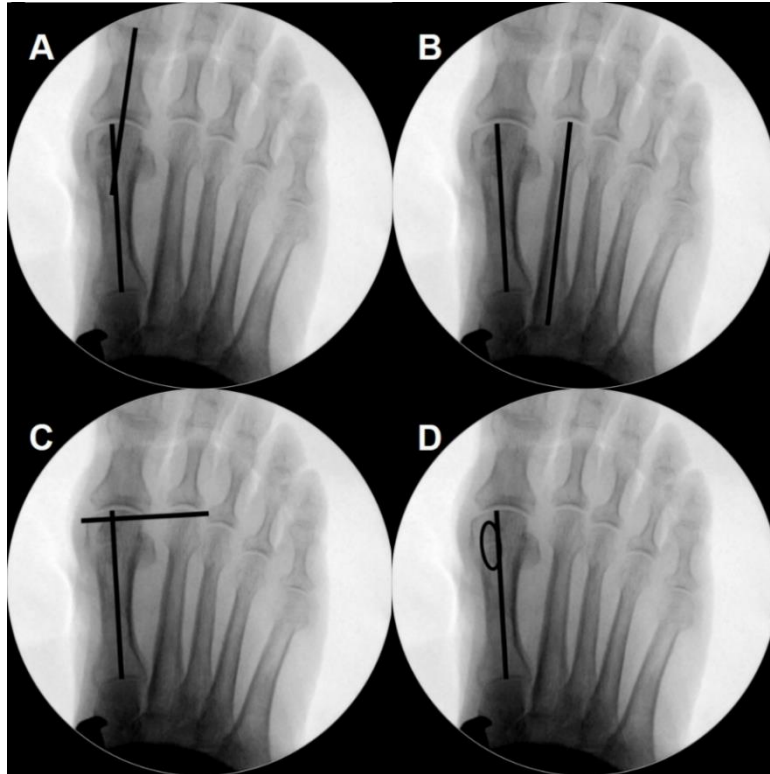


Figura 65: mesures radiològiques de la projecció anteroposterior. A: Angle d'hàl·lux valgus, B: angle intermetatarsià, C: angle articular distal metatarsià, D: posició sesamoide segons classificació d'AOFAS. Autor: Font pròpia.

De la projecció lateral es va mesurar l'angle entre la diàfisi i la metàfisi distal del primer metatarsià.



Figura 66: angle metafiso-diafisial del primer metatarsià a la projecció lateral. Autor: Font pròpia.

Després de la cirurgia i l'embenat en cadascun dels espècimens es van realitzar noves radiografies en projecció AP i lateral, i es van mesurar els mateixos paràmetres: HVA, IMTT, DMAA i posició sesamoide en la projecció AP. En la projecció lateral es va mesurar l'angle metafiso-diafisial i, a més, la distància en mil·límetres entre els fragments ossis (figura 67).

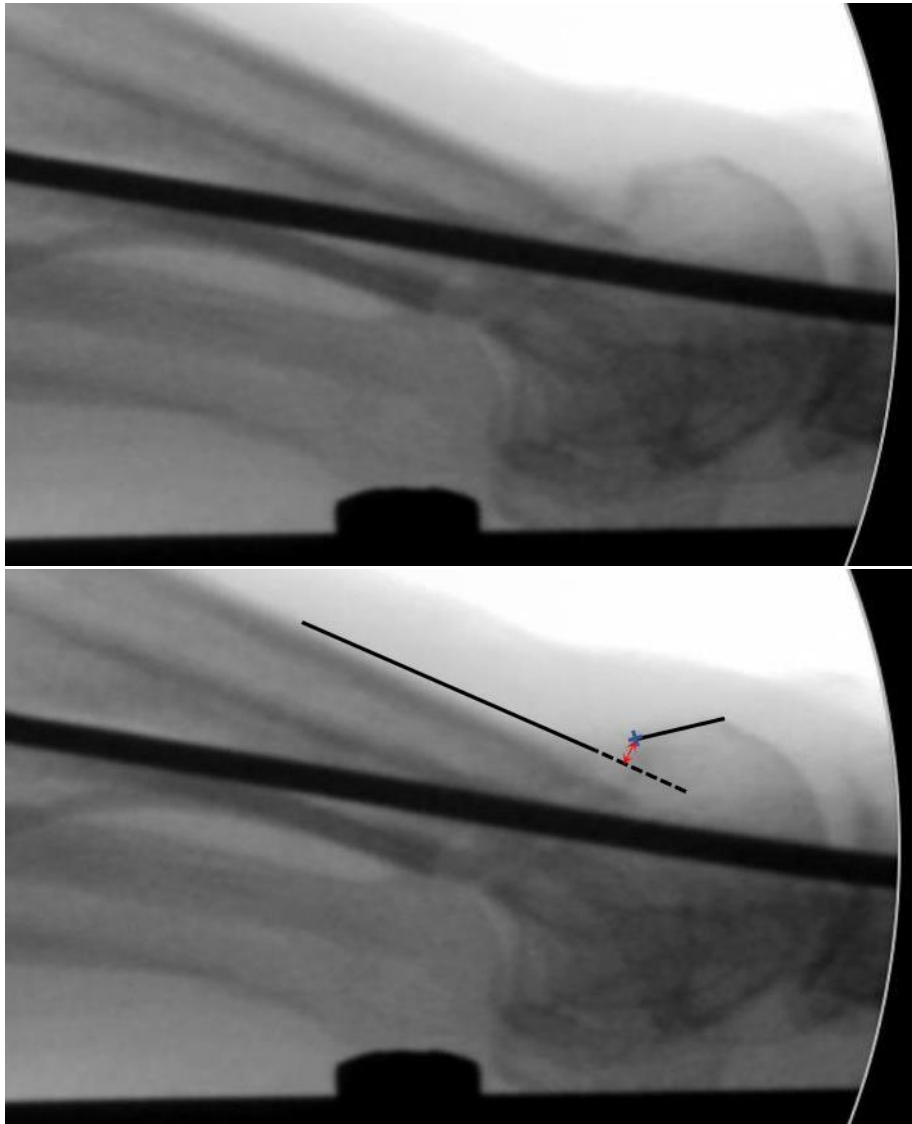


Figura 67: descripció del mètode per mesurar el desplaçament dels fragments a la radiografia lateral. A dalt radiografia d'una projecció lateral de l'osteotomia de SERI on s'evidencia un desplaçament dorsal del cap. A la radiografia inferior, mateixa radiografia amb la mesura del desplaçament. Es traça una línia que ressegueix la diàfisi metatarsiana (línia negra contínua) i que continua distalment més enllà de l'osteotomia (línia de punts). Des de l'inici del fragment metafisial (creu blava) es traça una línia perpendicular a la línia diafisial (línia vermella) que serà la mesura de la distància entre fragments. Autor: Font pròpia.

III.2.2.a. Càrrega progressiva postoperatòria

Un cop obtingudes les mesures postoperatòries en els peus sense càrrega, cadascun dels peus es va col·locar en la bancada de forces descrita en la primera part de l'experiment. De manera progressiva, es van aplicar forces axials progressives sobre el peu, en intervals de 10 kg, fins a arribar a una càrrega màxima de 60 kg.

A cada interval de 10 kg es realitzava una radiografia en projecció lateral (*Figura 48*), en la que es mesurava novament l'angle metafiso-diafisial i la distància entre els fragments ossis.

A l'arribar als 60 kg de càrrega novament es realitzava una radiografia en projecció AP (*Figura 49*), i es tornava a mesurar els angles HVA, IMTT, DMAA i la posició sesamoide.

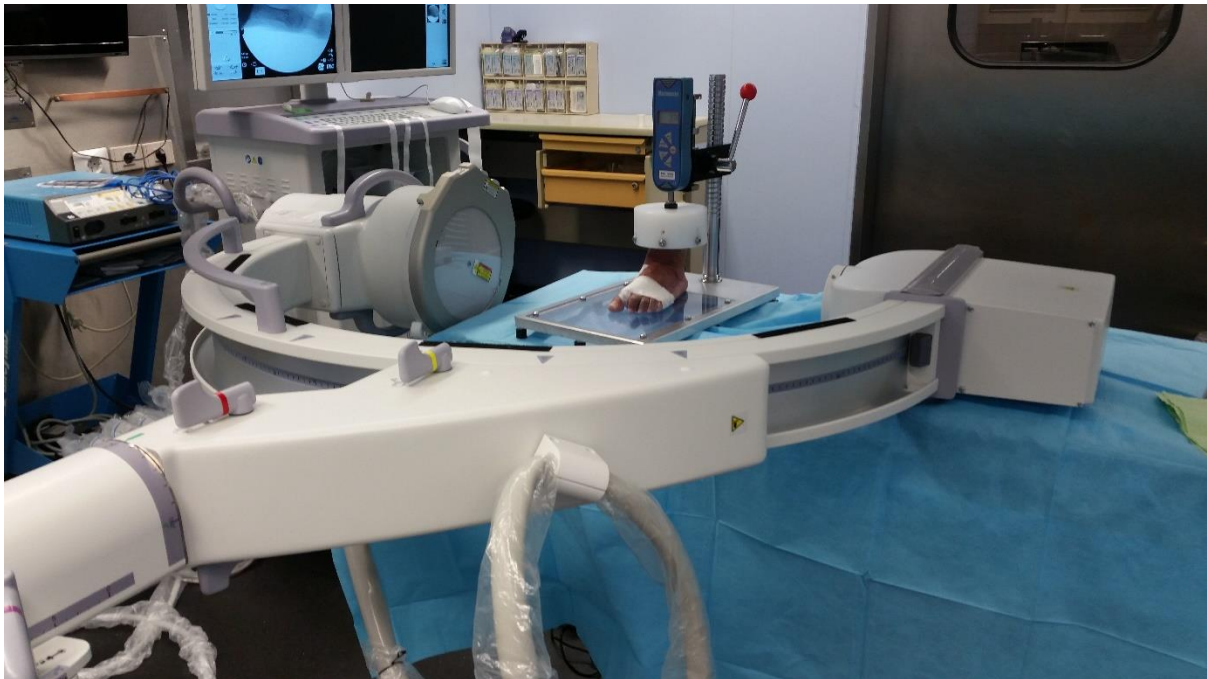


Figura 68: Col·locació de l'arc de fluoroscòpia per a la realització de la projecció lateral. El peu es troba fixat a la bancada de forces, i d'aquesta manera s'aplica força axial progressiva en intervals de 10 kg, prenent radiografies a cada interval. Autor: Font pròpia.

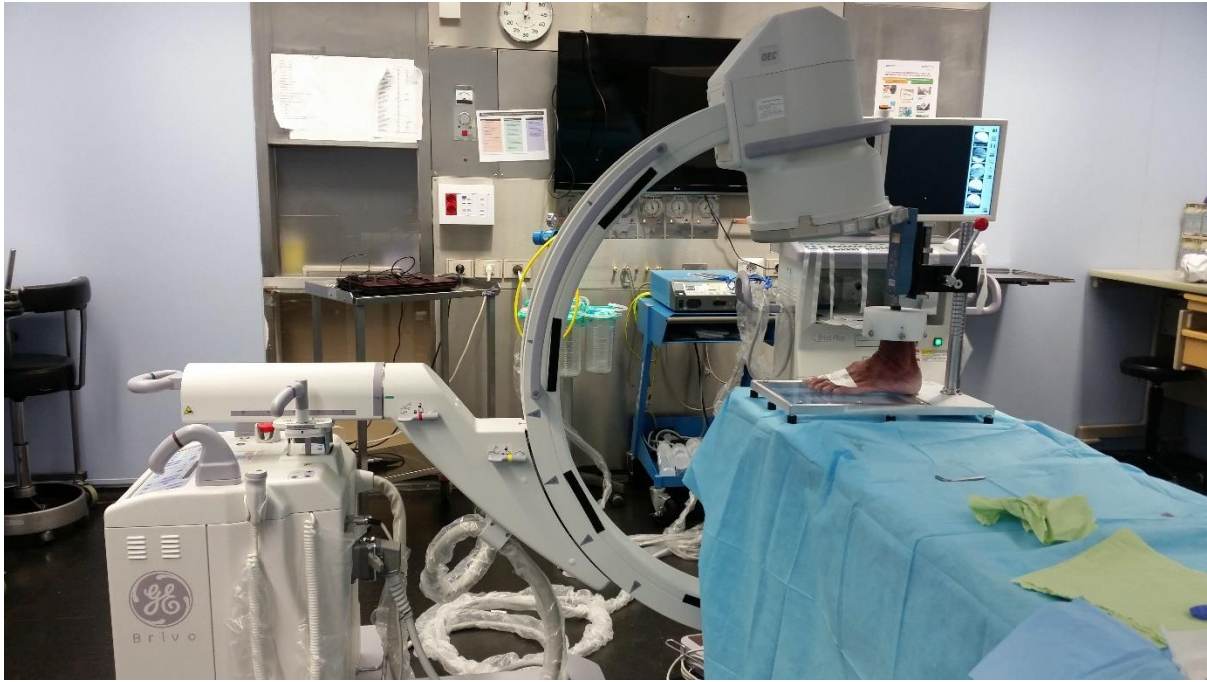


Figura 69: Col·locació de l'arc de fluoroscòpia per a la realització de la radiografia anteroposterior post quirúrgica i postcàrrega de 60 kg. Autor: Font pròpia.

III.2.3. Anàlisi estadístic

Les dades es van assignar en tres categories: un grup preoperatori, un grup postoperatori i un grup post-càrrega. A cada grup es van comparar les diferències entre les dues tècniques quirúrgiques. Per a la comparació dels angles HVA, IMTT i DMAA es va utilitzar la T de Student. Per a la comparació de la posició sesamoide, es va usar el test de Chi quadrat. El límit de significança es va establir amb un valor de alfa de 0,05. Totes les anàlisis estadístiques es van realitzar amb el software SPSS (SPSS 20 for Mac, IBM, Chicago USA®).

III.3.FASE 3: VALORACIÓ ANATÒMICA DE LA SEGURETAT I L'EFECTIVITAT DE LA CIRURGIA PERCUTÀNIA DE L'HÀL·LUX VALGUS

En aquesta fase es va procedir a la dissecció anatòmica de cadascun dels peus , un cop finalitzats els procediments quirúrgics descrits prèviament.

Mitjançant la dissecció post-cirurgia en cadascun dels peus es van valorar els següents aspectes:

- Mesura de la distància mínima entre cadascun dels portals quirúrgics i les estructures neurovasculars més properes.
- Avaluació de la presència de lesions iatrogèniques sobre aquestes estructures neurovasculars provocades pels procediments quirúrgics.
- Valoració de les possibles lesions infringides sobre les estructures tendinoses més properes.
- Avaluació de la compleció de l'alliberament del tendó del múscul *adductor hallucis*.
- Valoració de lesions en el cartílag de l'articulació MTF.
- Avaluació de la compleció de les osteotomies.

III.3.1. Estructures neurovasculars en risc

Les estructures neurovasculars en risc es van definir com aquelles susceptibles a ser lesionades degut a la seva proximitat al portal percutani o a l'osteotomia. En relació als portals 1 i 2 es van considerar com estructures neurovasculars en risc: el nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux (MDDN), el nervi plantar medial de l'hàl·lux (MPHN) i l'artèria digital plantar medial de l'hàl·lux (MPDA). En relació al portal 3 es van considerar estructures en risc el nervi digital dorsal lateral de l'hàl·lux (LDDN) i l'artèria primera metatarsiana dorsal (FDMA) (*Figura 71*). La taula 3 resumeix les estructures de risc que van ser analitzades.

Taula 3. Estructures neurovasculars en risc en relació als tres portals definits en el estudi. Portal 1: dorsomedial distal, portal 2: medial proximal, portal 3: dorsolateral.

Portal	Estructura en risc	Origen	Rellevància
1 i 2	Nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux (MDDN)	Nervi Cutani medial dorsal, branca del nervi peroneal superficial.	Es l'estructura més freqüentment lesionada durant la cirurgia percutània d'HV.
	Nervi plantar medial de l'hàl·lux (MPHN)	Nervi plantar medial	Susceptible a lesió per la broca durant les osteotomies.
	Artèria digital plantar medial de l'hàl·lux (MPDA)	Arteria plantar medial	Susceptible a lesió per la broca durant les osteotomies.
3	Nervi digital dorsal lateral de l'hàl·lux (LDDN)	Branca terminal medial del nervi peroneal profund.	Discorre paral·lel al primer radi a nivell de l'articulació MTF.
	Artèria primera metatarsiana dorsal (FDMA)	Branca terminal de l'artèria dorsal del peu.	Discorre paral·lela al primer radi a nivell de l'articulació MTF.

Aquestes estructures es van identificar i dissecar en cadascun dels peus, valorant l'existència de lesions iatrogèniques. La seva distància als portals quirúrgics es va mesurar amb un peu de rei digital (Lemego Calibre Digital Professional, amb resolució de 0.01mm)(Figura 71). Es va calcular la mitjana i la desviació estàndard de les distàncies a cadascuna de les estructures. Es van comparar entre sexes utilitzant una T-student.

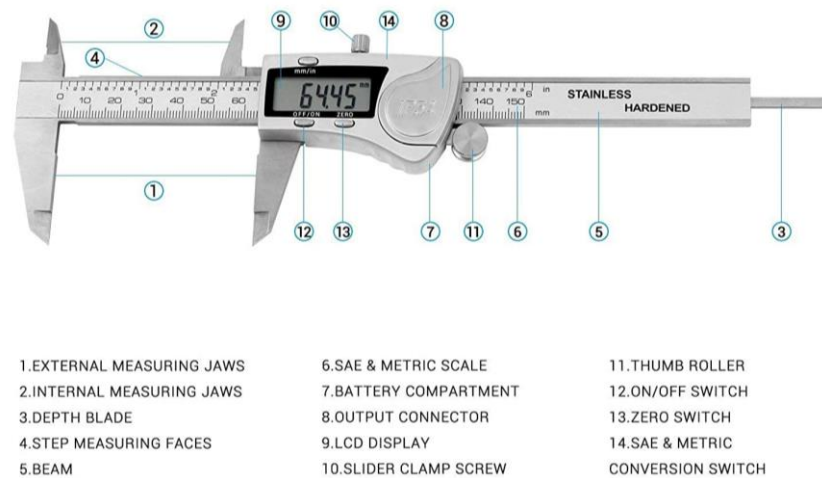


Figura 70: peu de rei digital Lemego Calibre Digital Professional. Extret de: www.lemego.com

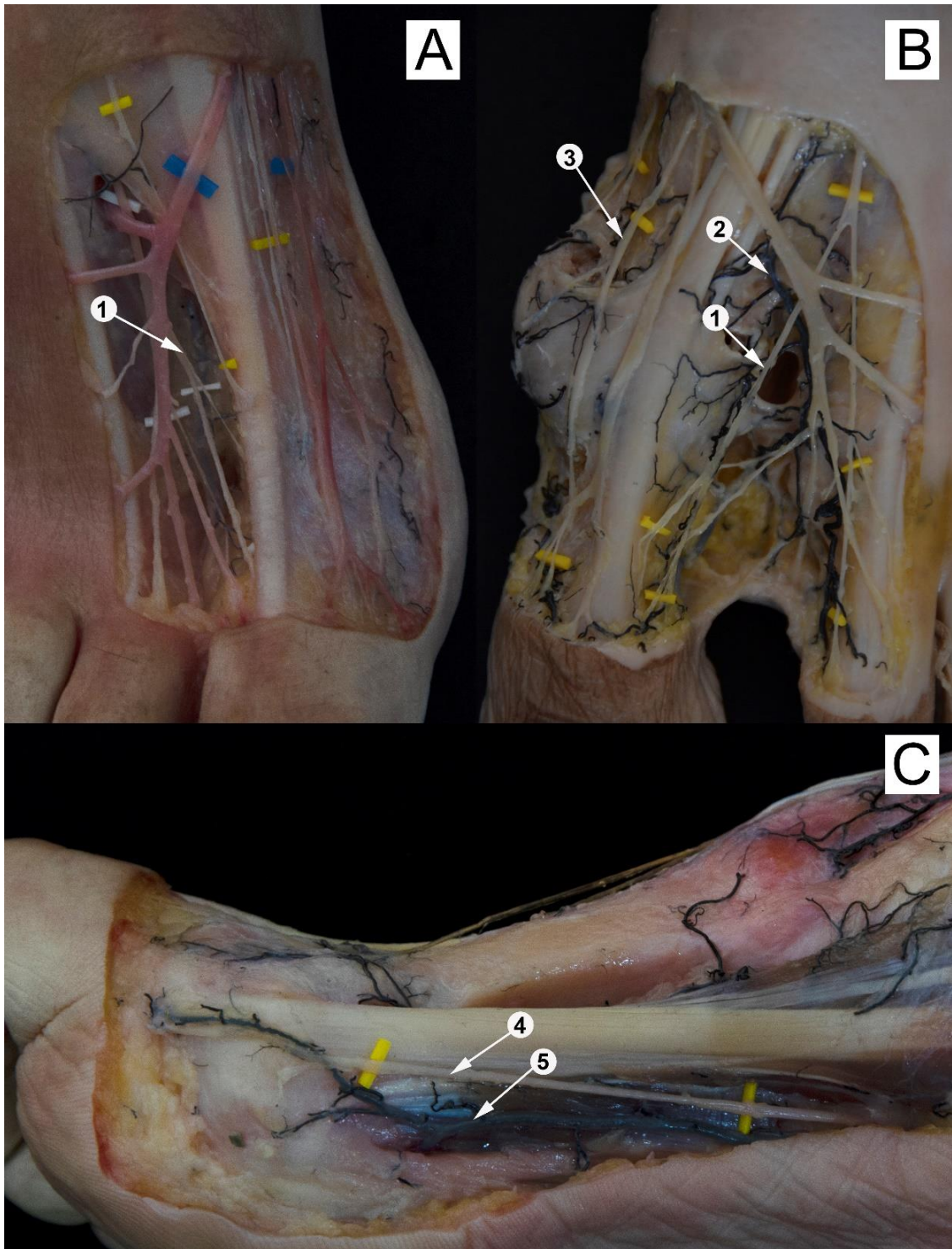


Figura 71: Estructures neurovasculars en risc des de una visió dorsal (A, B) i una visió medial (C). 1: Nervi digital dorsal lateral de l'hàl.lux (LDDN), 2: Artèria primera metatarsiana dorsal (FMDA), 3: Nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux (MDDN), 4: Nervi plantar medial de l'hàl.lux (MPHN), 5: Arteria digital plantar medial de l'hàl.lux (MPDA). Autor: Font pròpia.

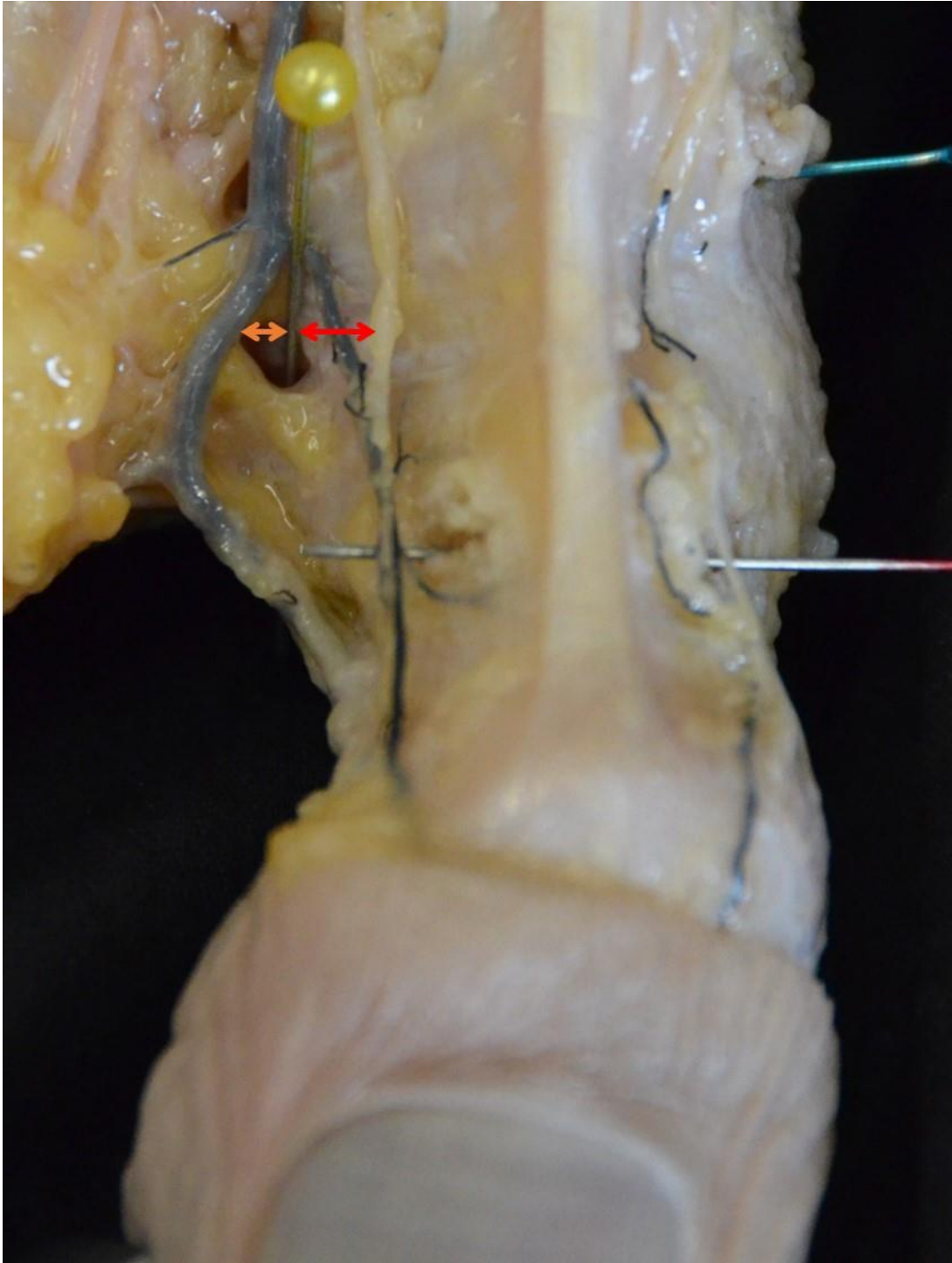


Figura 72: Mesura de la distància entre el portal 3 i l'artèria primera metatarsiana dorsal (fletxa taronja), i entre el portal 3 i el nervi digital dorsal lateral de l'hàl·lux (fletxa vermella). A través de la incisió cutània es va marcar el portal amb una agulla. Un cop finalitzada la dissecció de les estructures neurovasculars, i amb el portal identificat amb l'agulla, es mesurava amb un peu de rei digital la distància entre el portal i cadascuna de les estructures en risc. Autor: Font pròpia.

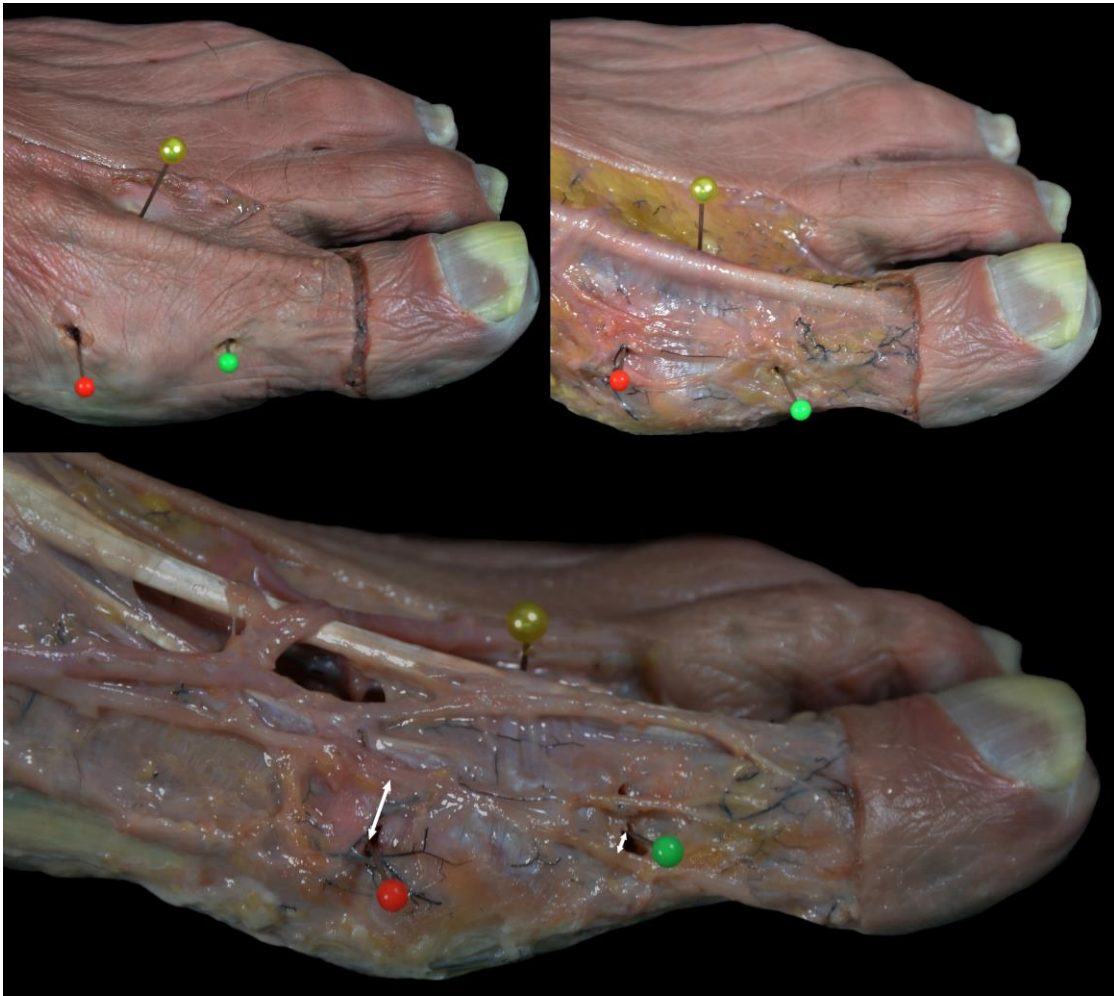


Figura 73: mesura de la distància entre el portal 1 i 2 i el nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux. A través de la incisió cutània es va marcar els portals amb una agulla (portal 1 amb agulla verda, portal 2 amb agulla vermella). Amb els portals marcats es va procedir a la dissecció progressiva del peu. Un cop finalitzada la dissecció, havent identificat les estructures neurovasculars, i amb els portals identificat amb l'agulla, es mesurava amb un peu de rei digital la distància cada portal i el nervi digital dorsal medial de l'hàl·lux (fletxes blanques). Autor: Font pròpia.

III.3.2. Lesió d'estructures tendinoses

Donada la seva proximitat amb les zones d'osteotomia, es va valorar l'existència de lesió al tendons dels músculs *flexor hallucis longus* (FHL) i *extensor hallucis longus* (EHL).

Aquesta lesió es va classificar en tres graus:

Grau 1: lesió lleu. Quan només afectava el peritendó, amb tendó íntegre.

Grau 2: lesió moderada. Quan s'observava una ruptura parcial del tendó.

Grau 3: lesió severa. Quan la ruptura del tendó era completa.

III.3.3. Valoració de lesions en el cartílag de l'articulació metatarsofalàngica

La valoració del cartílag articular va requerir de l'obertura de la càpsula articular i la luxació de l'articulació metatarsofalàngica.

Es van diferenciar les lesions en:

- Cròniques: lesions degeneratives prèvies al procediment quirúrgic.
- Quirúrgiques: causades durant la cirurgia. D'aquestes es van dividir en:
 - Lleus: afectant menys del 20% de la superfície articular
 - Moderades: afectant menys del 50% de la superfície articular
 - Severes: afectant més del 50% de la superfície articular



Figura 74: valoració de l'estat del cartílag. Per poder-lo valorar completament, es realitzava una incisió circumferencial de la càpsula i es luxava l'articulació metatarsofalàngica. Autor: Font pròpia.

III.3.4. Compleció de l'alliberament del tendó del múscul *adductor hallucis*

La tenotomia del múscul *adductor hallucis* es va valorar i es va classificar en quatre graus:

Grau 1: tenotomia completa

Grau 2: secció de més del 50% del tendó

Grau 3: secció de menys del 50% del tendó

Grau 4: integritat del tendó

III.3.5. Avaluació de la compleció de les osteotomies

L'avaluació de la compleció de les osteotomies va requerir la dissecció dels teixits fins a pla ossi. Un cop feta aquesta dissecció es determinava si:

- En el cas de l'osteotomia distal del primer metatarsià, que no quedés cap cortical íntegra.
- En el cas d'una osteotomia de SERI que el trajecte fos diagonal, a uns 45 graus respecte la diàfisi.
- En el cas d'una osteotomia de chevron, que s'hagués assolit una osteotomia en forma de V, amb una angulació d'aproximadament 90 graus.
- En el cas de l'osteotomia d'Akin, que totes les corticals estiguessin tallades excepte la lateral que hauria d'estar indemne.

IV: RESULTATS

IV.1. RESULTATS DE LA FASE 1: ESTUDI DE LES SABATES ORTOPÈDIQUES UTILITZADES EN EL POSTOPERATORI DE LA CIRURGIA D'HÀL.LUX VALGUS

Els resultats de les pressions de càrrega generades sobre el taló i el cap del primer metatarsià es recullen a l'Annex 3. Per analitzar les dades, tant a la zona del taló com a la zona del primer metatarsià els resultats es van agrupar en tres categories: sense sabata; sabata tipus MS (Darco MedSurg) i sabata tipus RCS (Reverse Camber Shoe).

IV.1.1. Pressió en el taló

La pressió mitjana en el taló va ser: descalç 34,982 N, amb la sabata MS 19,260 N, i amb la sabata RCS 14,537 N. A la *Taula 4* també s'expressen les mitjanes de les pressions per a cada augment de càrrega axial.

Es van comparar els tres grups mitjançant l'anàlisi ANOVA, que va mostrar que existeixen diferències entre grups ($p < 0,005$).

A continuació es va fer una anàlisi secundària en la que comparàvem els dos grups mitjançant una T-student: descalç vs sabata ortopèdica, sense diferenciar la sabata. Aquesta anàlisi va mostrar que la pressió en el taló era significativament superior sense sabata que amb qualsevol tipus de sabata ortopèdica ($p < 0,005$).

Per saber si aquesta diferència entre els tres grups era igual per a totes les càrregues, es va fer l'anàlisi d'ANOVA per a cada unitat de càrrega axial aplicada, és a dir, per a cada increment de 10 kg de càrrega axial. Es va observar que quan la càrrega aplicada al peu era menor a 30 kg, no hi havia diferències entre els grups (amb una $p = 0,155$ per a una càrrega de 10 kg, i una $p = 0,066$ per a una càrrega de 20 kg). A partir de 30 kg de càrrega la diferència entre grups era significativa i, per tant, portar una sabata ortopèdica disminuïa significativament la pressió sobre al taló respecte a anar descalç.

Taula 4: Resultats de la pressió al taló (expressat en Newtons). Kg: quilograms. MS: Medsurg o sabata ortopèdica amb encoixinat doble. RCS: Reverse camber shoe o sabata de taló invertit.

Càrrega axial (kg)	Descalç	MS	RCS	P
Mitjana	34,982	19,260	14,537	< 0,005
10	12,286	7,120	5,812	0,155
20	21,649	12,212	10,101	0,066
30	32,392	17,014	14,110	< 0,005
40	40,737	22,846	16,232	< 0,005
50	47,219	26,006	18,379	< 0,005
60	56,694	30,364	22,584	< 0,005

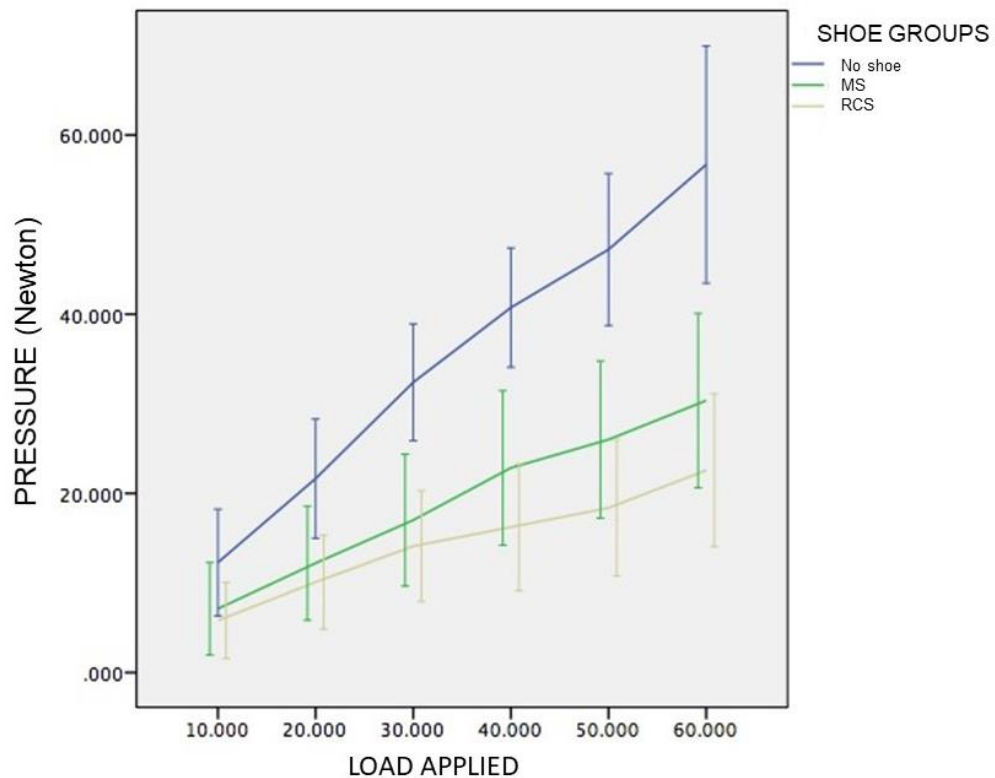


Figura 75: Distribució de la càrrega al taló. A partir de 30 kg la diferència entre anar descalç i portar sabata és significativa. MS: Medsurg o sabata ortopèdica amb encoixinat doble. RCS: Reverse camber shoe o sabata de taló invertit.

IV.1.2. Pressió en el cap del primer metatarsià

La pressió mitjana sota el cap del primer metatarsià va ser: descalç 8,824 N, amb la sabata MS 2,622 N, i amb la sabata RCS 3,185 N. L'anàlisi ANOVA va mostrar de que hi havia diferències significatives entre els grups ($p < 0,005$).

A l'anàlisi secundària en la que comparàvem descalç vs sabata ortopèdica mitjançant T-student, vam observar que la pressió sota el primer metatarsià disminuïa significativament utilitzant qualsevol sabata ortopèdica comparat amb anar descalç.

De la mateixa manera que passava amb la pressió sota el taló, l'anàlisi ANOVA de càrrega progressiva (Taula 5) va mostrar que les diferències no eren significatives en càrregues de 10 i 20 kg. A partir de 30 kg de càrrega axial la pressió era significativament superior en el grup descalç.

Taula 5: resultats per la pressió sota el primer metatarsià, expressat en Newtons. La P s'obté realitzant una anàlisi d'ANOVA comparant els tres grups: descalç, MS, RCS. Kg: quilograms. MS: Medsurg o sabata ortopèdica amb encoixinat doble. RCS: Reverse camber shoe o sabata de taló invertit.

Càrrega axial (kg)	Descalç	MS	RCS	P
Mitjana	8,824	2,622	3,185	< 0,005
10	3,465	0,906	1,400	0,077
20	5,063	1,295	1,936	0,057
30	7,518	1,795	2,722	0,041
40	9,942	2,540	3,370	0,006
50	12,986	4,164	4,106	0,002
60	13,973	5,032	5,578	0,004

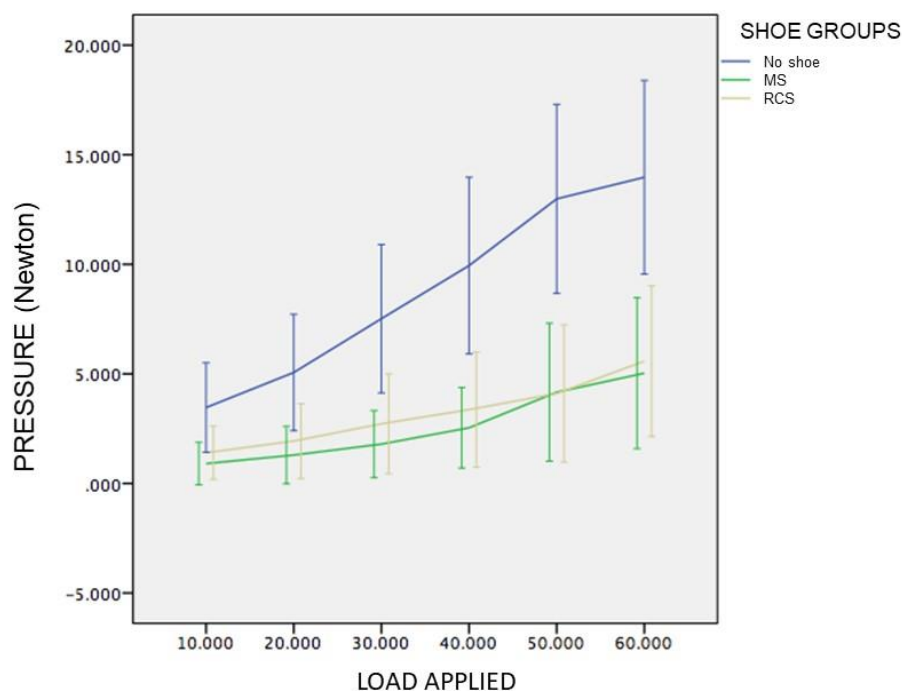


Figura 76: Gràfica de la distribució de les càrregues sota el primer metatarsià. La càrrega és superior en el grup descalç, i aquesta diferència és significativament rellevant a partir de 30 kg de càrrega. MS: Medsurg o sabata ortopèdica amb encoixinat doble. RCS: Reverse camber shoe o sabata de taló invertit. Autor: Font pròpia.

Es va realitzar una T-student comparant els dos models de sabata ortopèdica entre sí, i no es van detectar diferències significatives entre els models de sabata ortopèdica ($p = 0,402$) per cap de les diferents càrregues (Taula 6).

Taula 6: Pressió sota el primer metatarsià. Comparació entre sabates: MS versus RCS. Kg: quilograms. MS: Medsurg o sabata ortopèdica amb encoixinat doble. RCS: Reverse camber shoe o sabata de taló invertit.

Càrrega axial (kg)	MS	RCS	P
Mitjana	2,622	3,185	0,402
10	0,906	1,400	0,509
20	1,295	1,936	0,536
30	1,795	2,722	0,484
40	2,540	3,370	0,591
50	4,164	4,106	0,978
60	5,032	5,578	0,978

IV.2. RESULTATS DE LA FASE 2: ESTUDI COMPARATIU DE DUES TÈCNIQUES QUIRÚRGIQUES

Els resultats numèrics complets de l'estudi radiològic en projecció anteroposterior (AP) es troben adjunts a l'Annex 4. Els resultats numèrics complets de l'estudi radiològic en projecció lateral es troben a l'Annex 5.

IV.2.1. Angle d'hàl·lux valgus

La mitjana de l'angle d'hàl·lux valgus (HVA) va disminuir de 16,4 (SD 7,542) graus preoperatoris a -0,03 (SD 7,702) graus postoperatòriament ($p = 0,000$).

La *Taula 7* mostra les mesures radiològiques d'HVA per a la tècnica de Chevron i la tècnica de SERI respectivament.

Taula 7. Mesura d'angle d'hàl·lux valgus (HVA). Els resultats s'expressen en graus i mostren la mitjana i, entre parèntesis, desviació estàndard

	Preoperatori		Postoperatori		Postcàrrega	
	SERI	Chevron	SERI	Chevron	SERI	Chevron
HVA	16,5 (9,8)	16,3 (4,8)	0,8 (8,4)	-0,9 (7,3)	2,8 (6,2)	1,0 (6,0)

No va haver-hi diferències entre les dues tècniques quirúrgiques pre o postoperatòriament ($p = 0,955$ and $p = 0,625$ respectivament). Tampoc es van observar diferències entre HVA postoperatori i HVA postcàrrega ($p = 0,379$). De la mateixa manera no va haver-hi diferències entre tècniques quirúrgiques pel que fa l'HVA postcàrrega ($p = 0,417$). (*Figura 77*)

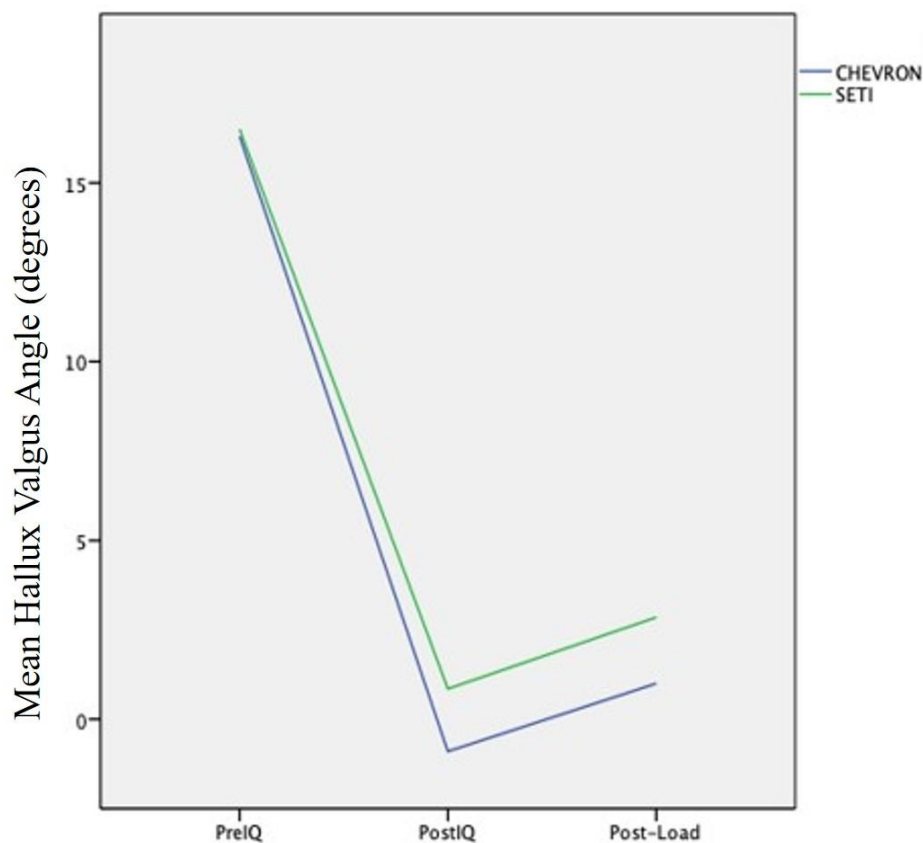


Figura 77: gràfica representant la distribució de l'HVA. Hi ha una disminució significativa entre el pre i el postoperatori en les dues tècniques quirúrgiques. Aquesta disminució es perd lleugerament després de l'estudi de càrrega, però aquesta pèrdua no és estadísticament significativa. No hi ha diferències entre tècniques quirúrgiques. HVA: Angle d'Hàl.lux valgus. Autor: Font pròpia.

IV.2.2. Angle intermetatarsià

L'angle intermetatarsià (IMTT) era similar entre els grups preoperatoriament ($p = 0,618$). La mitja d'IMTT va disminuir de 9,30 (SD 4,318) graus preoperatoris a 7,05 (SD 2,523) graus postoperatoris ($p < 0,005$). Les mitjanes d'IMTT per a cada procediment s'expressen a la *Taula 8*.

Taula 8: Mesura d'angle intermetatarsià (IMTT). Els resultats s'expressen en graus i mostren la mitjana i, entre parèntesis, desviació estàndard

	Preoperatori		Postoperatori		Postcàrrega	
	SERI	Chevron	SERI	Chevron	SERI	Chevron
IMTT	9,8 (4,5)	8,8 (4,3)	6,5 (2,9)	6,9 (2,1)	6,9 (2,8)	6,9 (3,6)

No es van observar diferències entre tècniques quirúrgiques postoperatòriament ($p = 0,932$) o postcàrrega ($p = 0,956$). La mitjana d'IMTT no va canviar significativament entre postoperatori i postcàrrega ($p = 0,868$). (Figura 78)

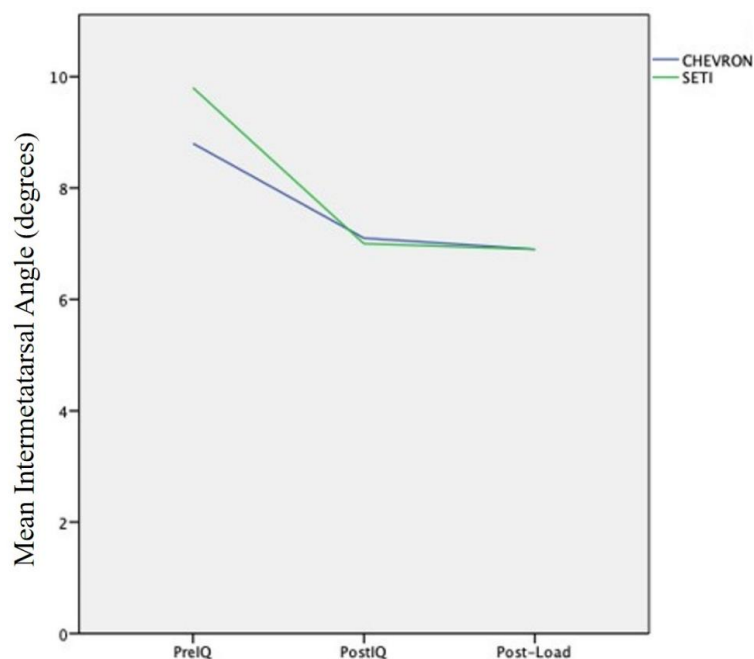


Figura 78: gràfica representant la distribució de l'IMTT (angle intermetatarsal). Hi ha una disminució significativa entre el pre i el postoperatori en les dues tècniques quirúrgiques, que es manté també després de l'estudi amb càrrega. No hi ha diferències entre tècniques quirúrgiques. Autor: Font pròpia.

IV.2.3. Angle articular del cap del primer metatarsià

La mitjana de l'angle articular del cap del primer metatarsià (DMAA) va disminuir de 4,0 (SD 4,845) graus preoperatòriament a 1,05 (SD 6,428) graus postoperatòriament. Aquesta diferència no va ser significativa ($p = 0,109$). No es van observar diferències entre les dues tècniques quirúrgiques abans ($p = 0,657$) ni després ($p = 0,362$) de la cirurgia (Taula 9).

Taula 9: Mesura de l'angle articular del cap del primer metatarsià (DMAA). Els resultats s'expressen en graus i mostren la mitjana i, entre parèntesis, desviació estàndard

	Preoperatori		Postoperatori		Postcàrrega	
	SERI	Chevron	SERI	Chevron	SERI	Chevron
DMAA	3,5 (5,3)	4,5 (4,6)	2,4 (7,9)	-0,3 (4,4)	2,3 (6,8)	1,3 (4,2)

IV.2.4. Posició sesamoide

La posició dels sesamoides no va canviar de preoperatori a postoperatori ($p = 0,500$). Cap de les tècniques quirúrgiques va mostrar diferències en el postoperatori ($p = 0,314$) ni en la postcàrrega ($p = 0,250$). (Figures 79 i 80)



Figura 79: Osteotomia de Chevron. A l'esquerra radiografia preoperatoria. A la dreta, post osteotomia de Chevron. Els canvis en Angle d'hà.lux valgus i angle intermetatarsià van ser estadísticament significatius. La posició dels sesamoides, tot i que va millorar en peus com el de la imatge (observar la posició del sesamoide lateral respecte el cap del metatarsià), aquesta millora no va ser estadísticament significativa. Autor: Font pròpia.



Figura 80: Osteotomia SERI. A l'esquerra, radiografia preoperatoria. A la dreta, post osteotomia SERI i fixació amb agulla Kirschner. Les diferències en angle d'hà.lux valgus i angle intermetatarsià no van ser significatives respecte l'osteotomia de Chevron. Autor: Font pròpia.

IV.2.5. Angle metafisodiafisial

L'angle metafisodiafisial a la radiografia lateral va disminuir en ambdues tècniques quirúrgiques, el que significa que el cap metatarsià s'angulava en direcció plantar (*Taula 10*).

Aquesta angulació plantar va ser de mitjana -6,90 graus (SD 10,25) per l'osteotomia de Chevron, i -5,34 graus (SD 16,62) per l'osteotomia de SERI, sense mostrar diferències significatives entre les tècniques ($p = 0,41$). La càrrega axial progressiva sobre el peu no va canviar aquesta tendència ($p = 0,553$).

Taula 10. Canvis en l'angle metafisodiafisial mesurats en graus. Kg: quilograms.

Càrrega axial (kg)	SERI	Chevron	Significança
Mitjana	-5,34 ± 16,62	-6,90 ± 10,25	P 0,41
10	-0,8 ± 17,6	-7,3 ± 9,6	P 0,453
20	-4,3 ± 15,7	-8,4 ± 7,1	P 0,516
30	-4,1 ± 17,8	-8,3 ± 8,1	P 0,517
40	-4,7 ± 16,4	-9,1 ± 8,1	P 0,458
50	-6,5 ± 12,8	-9,2 ± 11,6	P 0,628
60	-6,8 ± 13,3	-7,8 ± 12,9	P 0,867

IV.2.6. Distància entre els fragments ossis

La distància entre els fragments ossis es va mesurar a la radiografia lateral.

La tècnica SERI va tenir un desplaçament plantar superior que l'osteotomia de Chevron. Aquest desplaçament disminuïa conforme augmentava la càrrega axial sobre el peu. D'aquesta manera, les diferències entre tècniques només van ser estadísticament significatives per a càrregues axials de 10 i 20 kg ($p = 0,031$ i $0,04$ respectivament). (*Taula 11*)

Taula 11. Distància entre fragments ossis, en mil·límetres. Kg: quilograms.

Càrrega axial (kg)	SERI	Chevron	Significança
10	-4,3 ± 4,2	0,5 ± 1,8	P 0,031
20	-2,9 ± 0,8	0,3 ± 1,3	P 0,04
30	-3,2 ± 3,5	-0,7 ± 2,8	P 0,114
40	-2,5 ± 3,3	-0,5 ± 2,8	P 0,150
50	-2,2 ± 3,2	-0,6 ± 2,5	P 0,227
60	-2,2 ± 3,6	-0,1 ± 2,3	P 0,143

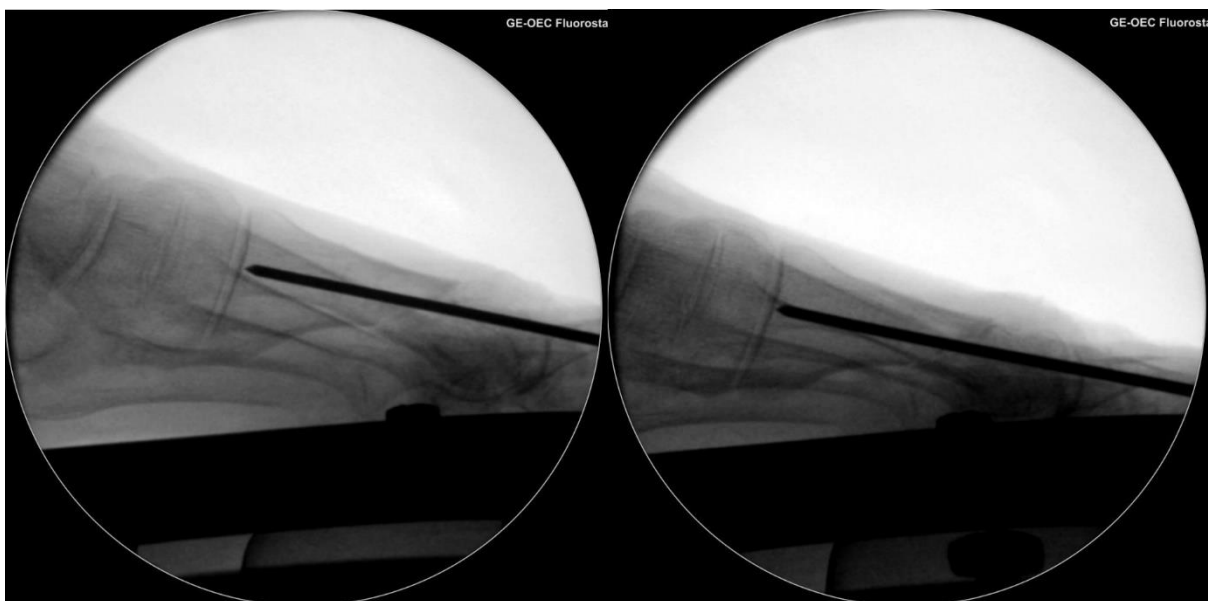


Figura 81: Peu 3D, osteotomia de SERI. A l'esquerra amb una càrrega de 10 kg: s'observa un desplaçament plantar del cap del metatarsià, amb un augment de l'angulació plantar del mateix. A la dreta amb una càrrega de 60 kg: el desplaçament plantar del cap del metatarsià s'ha corregit amb la càrrega. L'angulació plantar del cap està només parcialment corregida. Autor: Font pròpia.

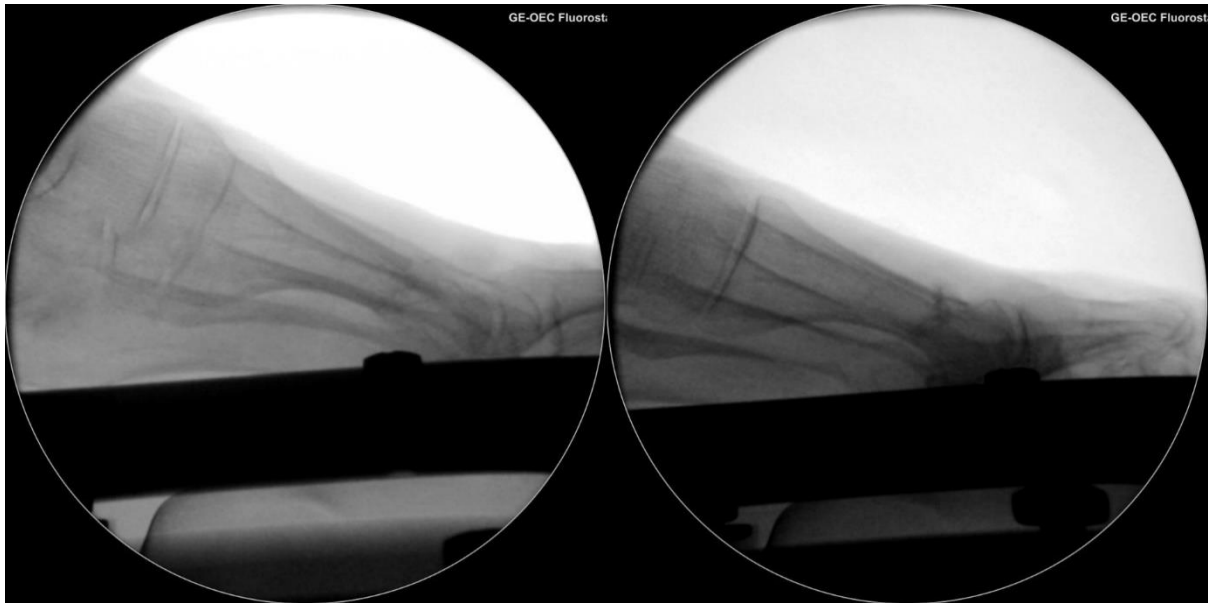


Figura 82: Peu 3E, osteotomia de Chevron. A l'esquerra amb una càrrega de 10 kg, s'observa un desplaçament plantar molt menor a l'observat a la seva parella amb osteotomia SERI. També el canvi d'angulació és menor. A la dreta amb una càrrega de 60 kg, hi ha hagut un desplaçament dorsal de l'osteotomia, també molt menor que en el cas del SERI. Autor: Font pròpia.

IV.3. RESULTATS DE LA FASE 3: VALORACIÓ ANATÒMICA DE LA SEGURETAT I L'EFFECTIVITAT DE LA CIRURGIA PERCUTÀNIA DE L'HÀL.LUX VALGUS

IV.3.1. Estructures neurovasculars en risc

Els resultats numèrics complets de les distàncies entre els portals quirúrgics i les estructures neurovasculars en risc es troben a l'Annex 6.

Des del Portals 1 i 2, l'estructura que es trobava a menor distància va ser el nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux (MDDN). La distància mitjana entre el Portal 1 (Dorsomedial distal) i el MDDN va ser de 2,2 mm (SD 1,1). La distància mitjana entre el Portal 2 (Medial proximal) i el MDDN va ser 4,9 mm (SD 2,7). Es va observar lesió del MDDN en dos dels espècimens (10%), ambdós a nivell del Portal 2 (Figura 83).



Figura 83: Peu 9D en la que s'observa la secció completa del nervi digital dorsal medial (MDDN). Autor: Font pròpia.

Es va observar que en tots els casos el MDDN segueix una trajectòria de dorsal cap a plantar conforme avança en direcció a distal. D'aquesta manera, com el Portal 2 (per l'osteotomia del metatarsià) està situat en una situació medial, el MDDN sempre estava localitzat dorsal a la incisió. Per altra banda, com el Portal 1 (per a l'osteotomia d'Akin) està situat en una posició dorsomedial, el MDDN sempre es troba plantar a la incisió (*Figura 84*).

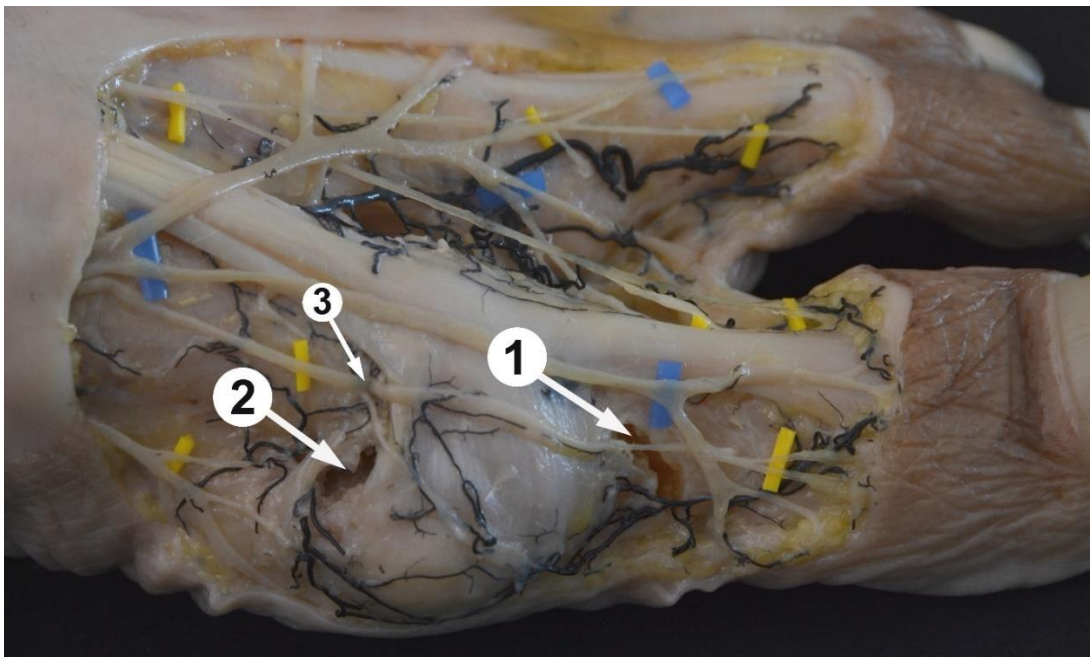


Figura 84: Posició del Nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux (MDDN) en relació als Portals 1 i 2. S'observa com es dirigeix de dorsal a plantar conforme progressa a distal (3), deixant el portal 1 dorsal al MDDN, i el Portal 2 plantar al MDDN. Autor: Font pròpia.

Des del Portal 1 i 2 també es van valorar dues estructures plantars: el nervi plantar medial de l'hàl.lux (MPHN) i l'artèria digital plantar medial de l'hàl.lux (MPDA). La distància entre el Portal 1 i el MPHN va ser $11,3 \pm 3,6$ mm de mitjana, i entre el Portal 2 i el MPHN $18,2 \pm 4,6$ mm. La distància mitjana entre el Portal 1 i la MPDA va ser $9,2 \pm 2,4$ mm, i entre el Portal 2 i la MPDA $13,9 \pm 5,6$ mm (Taula 12). En cap cas es va lesionar cap d'aquestes dues estructures (Figura 85).

Taula 12. Distància mitjana i desviació estàndard des de cada Portal fins a cadascuna de les estructures neurovasculars en risc, representat en mil·límetres. MDDN: nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux, MPHN: nervi plantar medial de l'hàl.lux, MPDA: artèria digital plantar medial de l'hàl.lux, LDDN: nervi digital dorsal lateral de l'hàl.lux, FDMA: artèria primera dorsal metatarsiana.

	MDDN	MPHN	MPDA	LDDN	FDMA
Portal 1	$2,2 \pm 1,1$	$11,3 \pm 3,6$	$9,2 \pm 2,4$		
Portal 2	$4,9 \pm 2,7$	$18,2 \pm 4,6$	$13,9 \pm 5,6$		
Portal 3				$3,3 \pm 1,4$	$2,4 \pm 1,8$

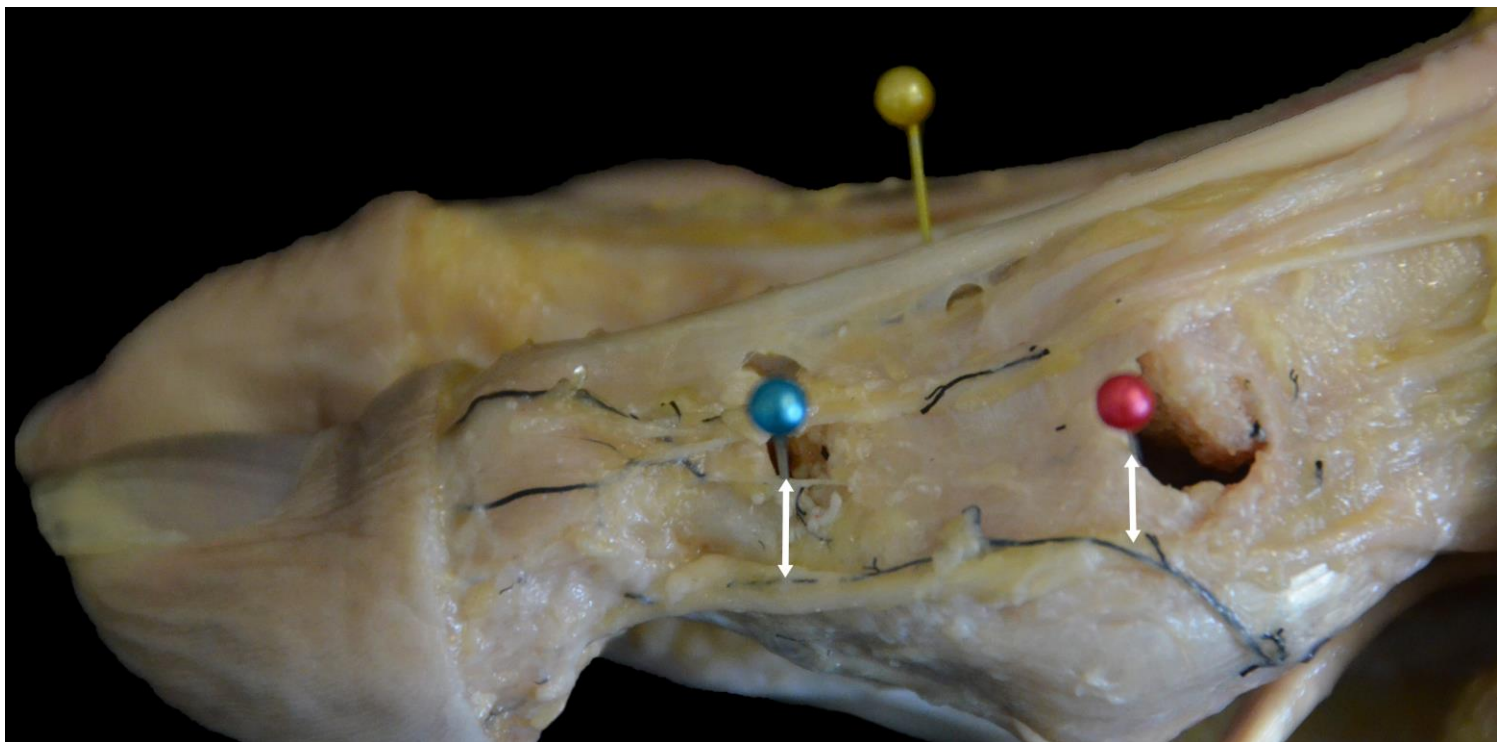


Figura 85: mesura de la distància entre el MPHN (nervi plantar medial de l'hàl.lux) i el Portal 1 (fletxa esquerra), i el Portal 2 (fletxa dreta) en el peu 2 D. Autor: Font pròpia.

Des del Portal 3, la distància mitjana al nervi digital dorsal lateral de l'hàl.lux (LDDN) va ser 3,3 mm (SD 1,4). La distància mitjana entre el Portal 3 i l'artèria primera metatarsiana dorsal (FDMA) va ser 2,4 mm (SD 1,8). Malgrat aquestes petites distàncies, no es va observar lesió a cap d'aquestes dues estructures (Figura 86).

No es van observar diferències de distàncies entre gèneres.

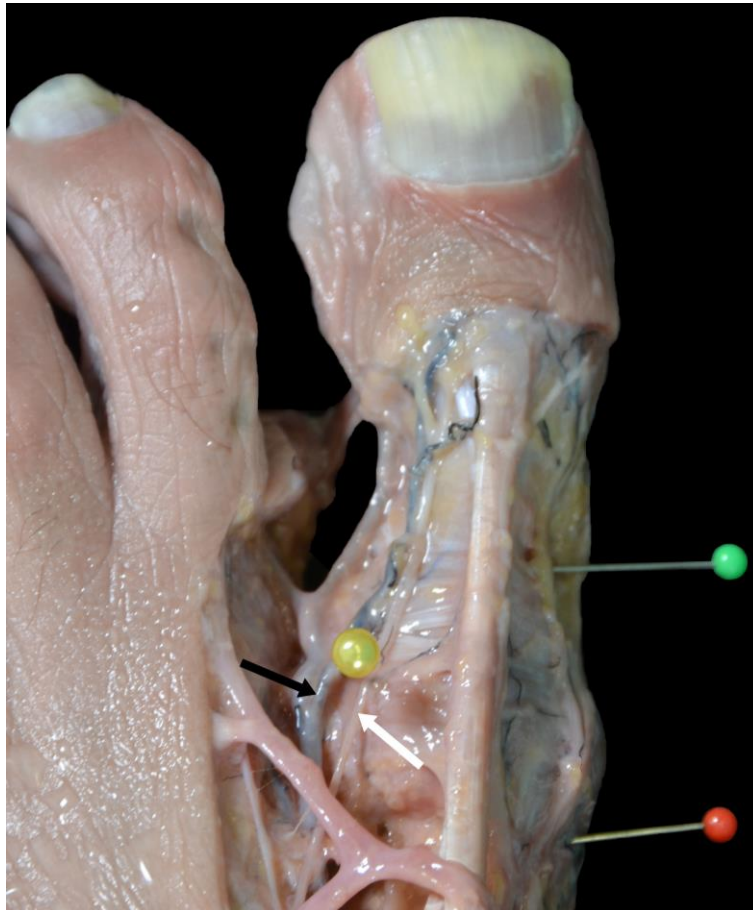


Figura 86: relació entre el Portal 3 i les estructures neurovasculars. L'agulla de bola groga assenjala la posició del Portal 3. La fletxa negra assenjala l'artèria primera metatarsiana dorsal (FDMA) i la fletxa blanca assenjala el nervi digital dorsal lateral de l'hàl.lux (LDDN). S'observa la petita distància entre aquestes estructures neurovasculars i el portal 3. Autor: Font pròpia.

IV.3.2. Lesió d'estructures tendinoses

Pel que fa a lesions tendinoses, dos espècimens van patir lesió Grau 1 (dany lleu, només afectant peritendó amb tendó íntegre). Un va ser al múscul *flexor hallucis longus*, i l'altre va ser al múscul *extensor hallucis longus*, ambdós a la localització de l'osteotomia d'Akin. Basat en l'aparença i la localització de la lesió, no sembla que la lesió es produís amb el bisturí en el moment de fer la incisió, sinó que es va produir amb la fresa mentre es realitzava l'osteotomia.

IV.3.3. Valoració de lesions en el cartílag de l'articulació metatarsofalàngica

No es va observar lesió condral quirúrgica al cap del metatarsià ni a la base de la falange en cap dels espècimens (*Figura 87*).

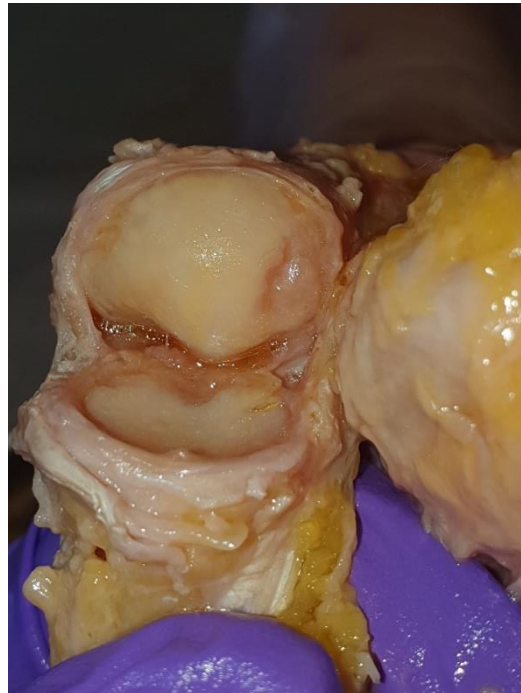


Figura 87: cartílag articular d'articulació metatarsofalàngica. Autor: Font pròpia.

IV.3.4. Compleció de l'alliberament del tendó del múscul *adductor hallucis*

Pel que fa a la tenotomia del múscul *adductor hallucis*, 14 espècimens (70%) tenien una tenotomia completa, 4 espècimens (20%) tenien més del 50% del tendó seccionat, un espècimen (5%) tenia menys del 50% seccionat, i en un espècimen el tendó estava intacte (*Figura 88*).

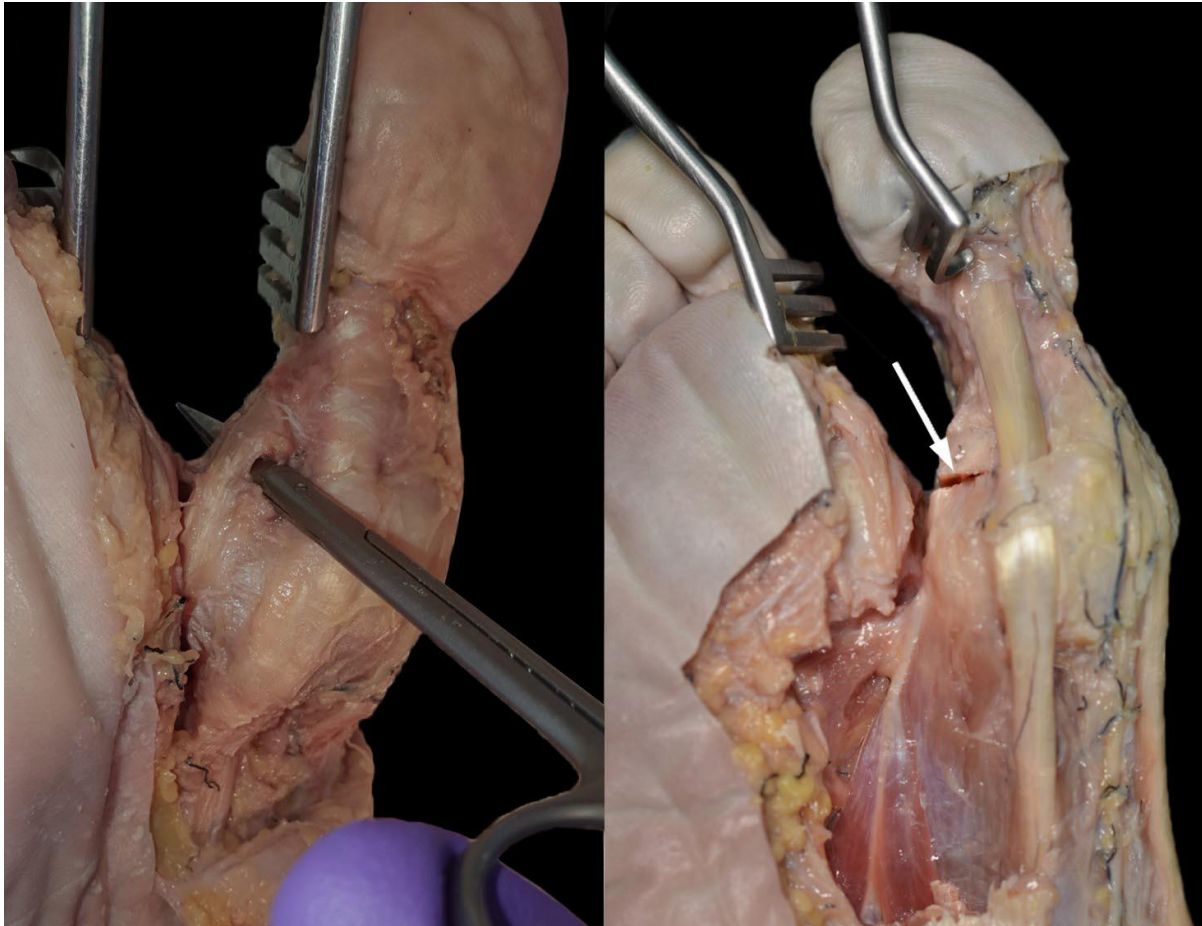


Figura 88. A la fotografia de l'esquerra s'observa la indemnitat del tendó del múscul *adductor hallucis* en el peu 8E. A la fotografia de la dreta s'assenyala amb una fletxa la secció completa del tendó del múscul *adductor hallucis* del peu 1D. Autor: Font pròpia.

III.3.5. Avaluació de la compleció de les osteotomies

Totes les osteotomies distals del primer metatarsià van ser completes, amb cap cortical íntegra. Amb la tècnica de SERI l'angulació mitjana de l'osteotomia respecte la diàfisi va ser de 51,4 graus (SD 9,8).

En el cas de l'osteotomia de Chevron l'angulació mitjana de la "V" va ser de 94,7 graus (SD 10,3)

Totes les osteotomies d'Akin tenien les corticals tallades, excepte la cortical lateral.

V: DISCUSSIÓ

V.1. FASE 1: ESTUDI DE LES SABATES ORTOPÈDIQUES UTILITZADES EN EL POSTOPERATORI DE LA CIRURGIA D'HÀL.LUX VALGUS

Després de la cirurgia d'hàl.lux valgus, segons el grau de fixació de l'osteotomia del primer metatarsià i de la falange, cal protegir aquesta osteotomia durant un període que oscil·la entre les 2 i les 6 setmanes (66,84). Tot i que en algun cas de molta inestabilitat o requeriment de descàrrega absoluta (com en el cas d'una osteotomia proximal o una fusió cuneometatarsiana) pot ser indicada la col·locació d'una botina de guix i la descàrrega de l'extremitat (85), normalment es prefereix afavorir la càrrega parcial protegida, ja que estimula la formació de cal·lus ossi. D'aquesta manera, els protocols postoperatoris de l'osteotomia del primer metatarsià solen incloure sabates especials que permetin la disminució de l'estrès sobre la regió de l'avantpeu (67). Disminuir la càrrega a l'avantpeu disminueix el risc de pèrdua de reducció, a la vegada que afavoreix la fusió dels fragments ossis.

La sabata ortopèdica postoperatoria ideal és aquella capaç de reduir la càrrega a l'hàl.lux, mentre permet al pacient caminar de la manera més confortable possible (86). S'han dissenyat diferents tipus de sabata per aconseguir aquest objectiu. Històricament, les sabates ortopèdiques utilitzades eren rígides i dures, amb sola de fusta, però estudis barogràfics van demostrar que aquest disseny disminuïa menys la pressió a l'avantpeu que models més tous (66,67).

Pel que fa els models més moderns, tot i que poden haver diferències en el gruix i la duresa de la sola, es poden diferenciar dos grups principals de sabata: les sabates de sola plana i les sabates de taló invertit.

El principi en la utilització de les sabates de taló invertit està basat en l'efecte de biga en voladís, que segons Glod et al.(87) permetria disminuir la pressió a l'avantpeu fins un 52%. Aquesta avantatge teòrica no ha estat confirmada: existeixen múltiples estudis barogràfics comparant aquest tipus de sabata ortopèdica amb sabates de sola plana, amb resultats diversos. Per exemple, Schuh et al. (67) van concloure que a nivell barogràfic la sabata de taló invertit disminuïa més la pressió sobre l'avantpeu que la sabata plana, però que a canvi augmentava significativament la pressió en el migpeu, pel que la seva recomanació va ser utilitzar una sabata de sola plana tova. En canvi, un estudi de Trnka et al.(66) mostrava una disminució de la pressió significativament superior amb la sabata de taló invertit.

Tant la sabata de sola tova plana com la sabata de taló invertit són freqüentment utilitzades en el nostre medi, i no hi ha evidència clara sobre quina d'elles és més efectiva disminuint la càrrega sobre el primer metatars, pel que la decisió normalment queda en mans de les preferències del cirurgià.

Durant la primera part de la nostra recerca vam estudiar la distribució de la càrrega plantar, tant en el peu descalç com amb aquests dos tipus diferenciats de sabata ortopèdica: sabata plana amb encoixinat doble (MS) i sabata de taló invertit (reverse camber shoe o RCS). L'objectiu de la nostra recerca era estudiar com el pes del cos es distribuïria en cada circumstància (descalç, MS o RCS), i si aquesta distribució variava conforme la càrrega en el peu augmentava.

Els estudis barogràfics publicats prèviament estaven dissenyats utilitzant sensors de pressió per mesurar la càrrega sota el peu, la majoria d'ells utilitzant individus joves i sans als que se'ls va demanar caminar amb o sense sabata ortopèdica. En aquests casos, els autors no tenien control sobre quanta força el peu estava rebent a cada pas (67,68,87–89). En el nostre cas volíem analitzar quin comportament tenia la distribució de la càrrega a la planta del peu conforme la pressió axial augmentava.

Treballar en un laboratori d'Anatomia ens va permetre aplicar una quantitat coneguda i precisa de força en cada peu, i registrar si apareixien canvis en la distribució conforme el pes s'incrementava.

Això es va aconseguir utilitzant una bancada de forces que permetia fixar-hi l'espècimen en estudi, i aplicar-hi força axial, que es mesurava mitjançant un dinamòmetre. Sota del peu s'hi col·locava uns sensors de pressió que ens permetien mesurar la càrrega rebuda.

En el nostre estudi no vam trobar diferències entre anar descalç o portar una sabata ortopèdica quan la càrrega era menor a 30 kg. Això estableix una càrrega límit, per sota la qual no caldria utilitzar una sabata ortopèdica (per exemple, quan es decideix descàrrega de l'extremitat o càrrega parcial amb ajuda de crosses). Però si després de la cirurgia es permet fer càrrega de l'extremitat, amb o sense ajuda de crosses, és recomanable utilitzar una sabata ortopèdica.

Com a limitació del nostre estudi, el model biomecànic que vam utilitzar no ens permetia reproduir el cicle de la marxa normal en l'espècimen cadavèric, i només es van considerar les forces axials.

Pel que fa els dos tipus de model de sabata, en el nostre estudi es va observar que la pressió sota el primer metatarsià era menor en el model MS (amb una mitjana de 2,622 N) que en el model RCS (amb una mitjana de 3,185), però aquestes diferències no van ser estadísticament significatives. Això podria ser degut a que la diferència entre els dos grups de sabata és petita, i que és necessària una mostra més gran per poder assolir un resultat estadísticament significatiu. Per tant, la mida de la nostra mostra pot haver estat un factor limitant en aquest sentit.

A més de les diferències barogràfiques entre les sabates, és important tenir en compte el grau de comoditat que té la sabata per a la marxa. Patel et al. (70) van mostrar una pitjor adherència a portar la sabata i un major índex de lumbàlgies en el grup RCS. Si tenim això en compte, i que a la nostra recerca les MS tenen una distribució marginalment millor (tot i que no significativa), la nostra recomanació seria decantar-se pel model MS de sabata ortopèdica pel postoperatori immediat de la cirurgia de l'avantpeu.

V.2. FASE 2: ESTUDI COMPARATIU DE DUES TÈCNiques QUIRÚRGiques

Com ja s'ha assenyalat amb anterioritat, quan es decideix la correcció quirúrgica de l'hà.lux valgus és essencial corregir també el *metatarsus primus varus*. Per assolir aquesta correcció, tot i que existeixen procediments que actuen exclusivament sobre parts toves (37,43,44), la majoria de procediments descrits involucren algun tipus d'osteotomia (12).

Les osteotomies del primer metatarsià permeten la correcció tant de l'hà.lux valgus com del *metatarsus primus varus* (84). Les osteotomies distals del primer metatarsià són indicades per a hà.lux valgus lleu o moderat (amb un angle intermetatarsià de menys de 20 graus). Per a deformitats superiors, altres tècniques com una osteotomia proximal del primer metatarsià podrien ser més adequades (11).

Tradicionalment la correcció de l'hà.lux valgus s'ha fet mitjançant abordatge quirúrgic obert (és a dir, fent una incisió amb una mida suficient per visualitzar directament les estructures òssies). No és fins els 1980s que les tècniques mínimament invasives i percutànies van començar a aparèixer (50). L'objectiu de la cirurgia percutània era preservar les parts toves, i així millorar l'impacte estètic de la cirurgia. Estudis posteriors van mostrar que a més de la milloria estètica, amb la cirurgia percutània s'assolia una reducció del temps quirúrgic, una reducció del dolor postoperatori, i una recuperació funcional més ràpida (51,52,90).

Des de que Isham (51) l'any 1991 va descriure la primera osteotomia percutània distal del primer metatarsià, s'han desenvolupat un nombre important de tècniques amb diferents traços d'osteotomia i diferents mètodes de fixació. De tota manera, la majoria d'estudis disponibles són descripcions d'una determinada tècnica quirúrgica, mostrant els resultats assolits amb aquesta tècnica, i els estudis comparatius entre tècniques són poc freqüents.

En la nostra tesi hem volgut comparar dues tècniques d'osteotomia percutània distal del primer metatarsià:

- Osteotomia de Chevron.
- Osteotomia SERI.

Aquestes dues tècniques es caracteritzen per tenir un traç d'osteotomia diferenciat: l'osteotomia de Chevron té un traç en forma de V en el pla sagital, mentre que l'osteotomia de SERI és una osteotomia obliqua linear.

A més les dues tècniques les vam realitzar amb el que considerem una fixació mínima.

L'osteotomia de SERI es va realitzar segons la descripció original dels autors: Giannini et al. (8) van descriure la tècnica SERI utilitzant una agulla de Kischner introduïda a la diàfisi proximal del metatarsià, que ajudava a medialitzar el cap del primer metatarsià, però que a efectes pràctics no pot ser considerada com a mètode de fixació ja que el fragment distal no està subjecte a aquesta agulla de Kischner.

Tot i que l'osteotomia de Chevron percutània inicialment va ser descrita per Vernois i Redfern (62,63) amb una fixació mitjançant un cargol entre fragments, en el nostre treball no vam utilitzar fixació. Austin(49), autor de la descripció inicial de l'osteotomia de Chevron, considerava el traç en V d'aquesta osteotomia inherentment estable, i hi ha múltiples estudis de cirurgia oberta que no han trobat avantatges a la fixació dels fragments en una osteotomia de Chevron (91,92). Per aquest motiu i per poder comparar en condicions similars l'estabilitat en el traç de les dues osteotomies vam decidir mantenir l'osteotomia de Chevron percutània sense fixació.

A més de l'osteotomia distal del primer metatarsià, també es va realitzar una osteotomia d'Akin i una tenotomia del múscul *adductor hallucis* en tots els espècimens.

V.2.1. Avaluació de les tècniques mitjançant radiologia anteroposterior

Amb les radiografies AP es van valorar 3 angles (HVA, IMTT i DMAA), així com la posició dels sesamoides segons la classificació d'AOFAS.

La nostra mostra estava composta per peus d'espècimens cadavèrics, no de pacients amb hàl·lux valgus. De fet, a la nostra mostra l'IMTT pre-operatori era de 9,3 graus (per sota de 9 graus l'IMTT es

considera normal) i el HVA preoperatori era 16,4 graus (per sota de 15 graus es considera normal). Per tant, no esperàvem una gran reducció dels paràmetres angulars en el postoperatori. L'objectiu de la nostra recerca no era valorar quants graus de correcció poden assolir aquestes tècniques, ja que existeix abundant bibliografia que mostra que aquestes tècniques d'osteotomia distal són eficaces en la reducció d'hàl.lux valgus lleus o moderats, i que per tant poden assolir uns 7-10 graus de reducció de l'IMTT (8,63,90,93). L'objectiu principal del nostre estudi era comparar les dues tècniques quirúrgiques entre si, i en segon lloc valorar l'estabilitat de la reducció aconseguida en la cirurgia a través d'un estudi de càrrega.

Vam observar que tant l'osteotomia de Chevron com la tècnica SERI van disminuir l'IMTT respecte el preoperatori. L'osteotomia de Chevron va assolir una reducció mitjana de 1,9 graus, mentre que l'osteotomia de SERI va assolir una reducció de 3,3 graus. Aquesta diferència tot i que no va ser estadísticament significativa, es deu segurament a que la tècnica SERI utilitza una agulla Kischner a mode de palanca per a lateralitzar el cap del metatarsià, i és possible que si augmentés el nombre de subjectes es podria assolir una significança estadística. Després de sotmetre els peus a la càrrega, l'IMTT va quedar igual a l'osteotomia de Chevron, i va augmentar 0.4 graus a l'osteotomia de SERI, pel que considerem que l'estabilitat de la reducció de l'IMTT en càrrega és satisfactòria.

La reducció de l'HVA va ser de 15,4 graus en el cas de l'osteotomia de Chevron, i de 15,7 graus en l'osteotomia de SERI. Aquesta similitud de reducció en les dues tècniques ens fa pensar que la reducció de l'HVA és secundària a l'osteotomia d'Akin, i que no es veu afectada per cap de les tècniques utilitzades en el primer metatarsià. De fet, Vernois i Redfern (62,63) sempre van incloure una osteotomia d'Akin a la descripció de la tècnica de Chevron percutània. En canvi, Giannini (8) va descriure el procediment SERI sense associar-hi una osteotomia d'Akin, i aconseguia una reducció de l'HVA. Això és degut a que a més de la translació lateral del cap del metatarsià, creaven una rotació a medial del cap del metatarsià, fent disminuir així el DMAA uns 7 graus. És a dir, que aconseguien medialitzar l'hàl.lux a través de l'alteració del DMAA, essencialment funcionant com una osteotomia de cunya lateral.

Normalment el DMAA només està augmentat en aquells hàl.lux valgus en que la superfície articular del cap del metatarsià està lateralitzada, com en casos d'hàl.lux valgus juvenil. En una revisió es va trobar que només el 9% dels hàl.lux valgus tenien un DMAA elevat, però això augmenta fins a un 47% en el cas d'hàl.lux valgus juvenil (94).

Disminuir el DMAA en els casos d'hàl.lux valgus en el que el DMAA no estigui augmentat pot comportar l'aparició d'un hàl.lux varus iatrogènic (36). Per aquest motiu vam preferir acompanyar

l'osteotomia de SERI amb una osteotomia d'Akin, i realitzar una translació lateral del cap metatarsià sense rotar-lo medialment.

Tot i això, el DMAA va disminuir a les dues tècniques respecte el preoperatori, encara que aquesta disminució no va ser estadísticament significativa. Amb la tècnica de SERI es va assolir una reducció del DMAA de 1,1 graus, i amb la tècnica de Chevron de 4,2 graus. Tampoc no es va trobar diferències estadísticament significatives entre les tècniques.

La posició dels sesamoides no es va veure afectada per l'osteotomia. En aquest cas, al tractar-se d'espècimens sense hàl·lux valgus, la posició inicial dels sesamoides ja era correcta: de mitjana, la posició sesamoide preoperatòria era G1. Per tant, en aquest estudi no es preveia que disminuís respecte la posició preoperatòria, si no que l'observació d'aquest paràmetre es va fer per a assegurar que no hi hagués un desplaçament secundari.

V.2.2. Avaluació de les tècniques mitjançant radiologia lateral

Mitjançant radiografies en projecció lateral es va valorar la posició dels fragments ossis sota càrrega progressiva en intervals de 10 kg fins a arribar a 60 kg.

En tots els estudis comparatius entre diferents fixacions en l'osteotomia de Chevron consultats només valoraven els resultats en la radiografia AP, és a dir, en el HVA i l'IMTT (91,92), i no valoraven l'estabilitat en la projecció lateral. Pel que fa l'osteotomia de SERI, Giannini (8) realitzava projecció radiològica lateral en el postoperatori, i parla de vuit casos de mala-unió dorsal, però no especifica com mesurava aquest desplaçament dorsal. També Kadakia et al.(13) parla de mesurar l'angulació i la translació del cap metatarsià, però no especifica com ho van mesurar. Altres autors, com Magnan et al.(60) i Kaufmann et al.(90), que també han publicat estudis amb l'osteotomia de SERI, no han realitzat un estudi radiològic lateral i només valoren la projecció anteroposterior i la limitació a la dorsiflexió de la primera articulació metatarsofalàngica.

En el nostre estudi hem descrit un mètode per mesurar tant el desplaçament dels fragments com l'angulació entre ells d'una manera sistemàtica en la projecció lateral, fet que no hem observat en cap dels estudis consultats.

Per evitar el desplaçament dorsal, Giannini et al.(8) recomana utilitzar una agulla de Kirschner gruixuda de 2 mm. Tenint en compte que l'agulla no travessa el fragment distal, si no que actua com a palanca

empenyent el fragment distal en direcció lateral, és possible que el gruix de l'agulla no tingui cap rellevància a l'hora d'augmentar l'estabilitat en el pla sagital.

En la nostra mostra amb la tècnica SERI, sense cap càrrega vam observar un desplaçament mig de 4,3 mm plantars i una angulació plantar de 0,8 graus. Conforme la càrrega en el peu anava augmentant, el desplaçament plantar disminuïa (fins a 2,2 mm plantars amb una càrrega de 60 kg), però l'angulació plantar del cap del metatarsià va augmentar fins a 6,8 graus amb una càrrega de 60 kg. Aquesta variabilitat respecte al canvi de càrrega mostra que l'osteotomia de SERI és altament inestable en el pla sagital.

Amb l'osteotomia de Chevron vam observar un desplaçament del fragment distal menor: sense càrrega hi havia un desplaçament dorsal de 0,5 mm. De fet, per a càrregues menors a 30kg l'osteotomia de Chevron és significativament més estable en el desplaçament plantar que l'osteotomia SERI. A partir dels 30 kg, com el desplaçament plantar del SERI disminuïa, aquesta significança estadística desapareixia. Amb 60 kg de càrrega, la tècnica Chevron mantenia un desplaçament plantar de 0,1 mm, que tot i ser menor dels 2,2 mm de desplaçament de la tècnica SERI als 60 kg la diferència no era estadísticament significativa.

L'osteotomia de Chevron, però, va mostrar una angulació plantar de 7,3 graus sense càrrega, i que es mantenia més o menys constant fins al 7,8 graus amb 60 kg de càrrega (mitjana de 6,9 graus per a totes les càrregues). Per tant, tot i controlar millor el desplaçament plantar, l'osteotomia de Chevron no aconseguia controlar l'angulació plantar.

En els articles consultats on mesuren del desplaçament del cap del metatarsià en el pla lateral, tot i que no especifiquen el mètode, tots ells expliquen un desplaçament dorsal del cap del metatarsià (8,13,53). Tots aquests estudis han estat realitzats en subjectes vius, als que se'ls hi va permetre fer càrrega immediata amb una sabata ortopèdica i se'ls va fer un seguiment radiològic entre 3 i 6 setmanes postoperatòriament. Malgrat això, en el nostre estudi no es va observar un desplaçament dorsal, si no que vam observar un desplaçament plantar del cap en tots els casos. Això podria tenir dues explicacions.

En primer lloc, sota circumstàncies normals d'un peu sa, estant dempeus descalç, l'avantpeu rep el 28% del pes del cos(25,26), però durant la marxa normal, la contracció dels músculs *Flexor Hallucis Longus* i *Brevis* apliquen un 52% i un 36% del pes del cos respectivament, i el múscul *Peroneus Longus* més del 58% del pes del cos(27). Això produeix una càrrega axial sobre el cap del primer metatarsià que resulta en un 119% del pes del cos(28). A més, el sistema glenosesamoide actua com una ròtula que porta la contracció muscular cap al dit gros i el manté aplicat a terra (4). Per tant, la càrrega que

rep el cap del primer metatarsià és la suma de la càrrega axial que rep des de l'articulació tibioastragalina i les forces exercides per la musculatura que actuen durant la marxa. Amb els espècimens cadavèrics només es té en consideració la càrrega axial, ja que les forces musculars que normalment actuen en el peu no estan presents.

Un segon factor que pot ajudar a comprendre els nostres resultats és el fet de que en el nostre estudi el desplaçament plantar disminuïa conforme la càrrega en el peu s'incrementava. Si ho extrapolem als estudis amb pacients on se'ls permet carregar en el postoperatori immediat, aquesta càrrega ajudaria a desplaçar l'osteotomia dorsalment, de forma similar al que observem en el nostre estudi amb càrregues elevades.

Tot i que la mida de la nostra mostra pot haver estat una limitació per a trobar diferències entre aquestes dues tècniques quirúrgiques, els resultats pel que fa l'angulació dels fragments en el pla sagital mostren una inestabilitat inacceptable a ambdues tècniques. Un canvi d'angulació de 5 o 6 graus pot causar destorbar el balanç de la fórmula metatarsiana i causar una metatarsàlgia iatrogènica (4), a més de provocar potencialment una limitació en la flexoextensió de l'articulació MTF. A més, l'osteotomia de SERI va mostrar gran variabilitat en angulació i translació dels fragments conforme augmentava la càrrega, dada que mostra el grau d'inestabilitat de la tècnica.

Per tant, en base als nostres resultats, la forma en V de l'osteotomia de Chevron o l'estabilització amb un Kischer medial al cap metatarsià de la tècnica de SERI no són elements estabilitzadors suficients *per se*, i posen en perill la reproductibilitat de la tècnica i la consolidació dels fragments ossis.

A partir d'aquests resultats creiem que les dues tècniques s'haurien de completar amb una fixació més robusta, com per exemple un cargol, tal i com van proposar Vernois i Redfern en la seva descripció de la tècnica de Chevron percutània (62,63).

V.3. FASE 3: VALORACIÓ ANATÒMICA DE LA SEGURETAT I L'EFECTIVITAT DE LA CIRURGIA PERCUTÀNIA DE L'HÀL.LUX VALGUS

La seguretat de la cirurgia percutània de l'avantpeu ha estat una qüestió de debat entre cirurgians de peu (54). Kadakia et al.(13) el 2007 va publicar un estudi on va mostrar uns resultats inacceptables en pacients als quals va intervenir d'hàl.lux valgus amb la tècnica SERI percutània: de 13 pacients va trobar 9 males unions dorsals, 5 recurrències d'hàl.lux valgus, 4 molèsties amb l'agulla Kischner, una pseudoartrosi, una cel·lulitis, i una osteonecrosi. Kadakia és l'únic autor que ha reportat aquest alt índex de complicacions en la cirurgia percutània, fet que podria estar relacionat amb una baixa experiència en la cirurgia percutània de peu, donat que en el treball els autors expliquen que van basar la decisió d'iniciar la cirurgia percutània en els bons resultats publicats prèviament i que van seguir com a guia la descripció de la tècnica feta per Giannini et al.(8) per operar els 13 pacients de manera seqüencial, pel que fa suposar que l'autor no va rebre una formació específica en tècniques percutànies.

Des de llavors, hi ha hagut nombrosos estudis que han conclòs que la cirurgia percutània és segura i fiable pel tractament de l'hàl.lux valgus, basant-se en resultats radiològics, índex de complicacions, i escales de satisfacció. Entre aquests estudis s'inclouen tres assajos controlats i randomitzats (8,61,95) i tres revisions sistemàtiques (2,96,97). Les complicacions més freqüents reportades van ser la hipercorrecció (hàl.lux varus iatrogènic) en un 1,4%, i la síndrome de dolor regional en un 1%. Amb la tècnica de SERI també s'ha reportat un 1% de mala unió dorsal, recurrència en el 5,3%, i reacció inflamatòria lleu en el lloc d'inserció de l'agulla Kischner en el 2%(96).

L'experiència de Kadakia et al.(13) posa de manifest que la cirurgia percutània de l'avantpeu requereix no només un vast coneixement anatòmic de la zona, si no també una formació específica en aquest tipus de cirurgia (74,80). Això també ho mostra la varietat de temps quirúrgics reportats en els diferents estudis: des dels 5 minuts (rang de 3 a 8 minuts) de Giannini et al.(8) fins als 50,8 +/- 10 min de Radwan et al.(61). La inexperiència en aquest tipus de cirurgia pot ser la causa d'un temps quirúrgic llarg, que pot potencialment portar a un augment de la taxa de complicacions (96).

Una manera de poder assolir aquest coneixement és l'estudi de peces anatòmiques. La dissecció curiosa i l'avaluació post-cirurgia percutània de peus procedents de serveis de donació del cos a la ciència ajuda a identificar les estructures neurovasculars i tendinoses que estan potencialment en risc

durant aquest tipus de cirurgia. També ens permet valorar possibles canvis que puguin millorar els resultats de la nostra cirurgia.

V.3.1. Estructures neurovasculars en risc

Una de les estructures més freqüentment malmeses durant la cirurgia de l'avantpeu, tant percutània com oberta, és el nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux (MDDN)(76,80). Dany al MDDN pot portar a una pèrdua de sensibilitat del costat medial de l'hàl.lux i a una cicatriu dolorosa(78). El MDDN és la branca més medial de les tres divisions terminals del nervi cutani dorsal medial del peu, procedent del nervi peroneu superficial, que es divideix després de passar per davant de l'articulació del turmell superficialment al retinacle extensor. Des del seu origen el MDDN es dirigeix progressivament en direcció medial, fins a innervar la pell de la part medial de l'hàl.lux (98).

En un estudi anatòmic McGann et al. (76) van observar lesió del MDDN en la meitat dels 10 peus en els que van realitzar una bunionectomia i una osteotomia distal del metatars mínimament invasiva. La implicació clínica d'aquesta troballa no és clara, però Chan et al.(99) van descriure un 7,7% (1 de 13 peus) de parestèsia a la part medial de l'extrem de l'hàl.lux intervingut, que es va resoldre a l'any de la intervenció. Oliva et al.(59) van descriure un 12% de complicacions neurològiques transitòries i només un 0,5% de complicacions neurològiques permanents.

Aquestes complicacions semblen més freqüents en cirurgia oberta: en un estudi que comparava el procediment SERI percutani versus una osteotomia de Chevron oberta, la pèrdua de sensibilitat a la part medial de l'hàl.lux era més freqüent en el grup de cirurgia oberta (12,9% oberta vs 0% percutani)(61).

Malagelada et al.(72) van descriure un "mètode del rellotge" per a identificar la posició del MDDN i el LDDN. Aquests es podrien localitzar consistentment a les posicions 10 i 2 d'un rellotge analògic a nivell del cap del metatarsià. Les nostres troballes ratifiquen la seva descripció, ja que vam trobar el MDDN invariablement en una posició dorsomedial a nivell del cap del metatarsià. Tenint això en compte, per realitzar una osteotomia distal del metatars és preferible utilitzar un abordatge purament medial (78,98). Per tant, el portal medial proximal s'hauria de localitzar a la cara medial del coll del primer metatarsià, a nivell del pla mig entre la cara dorsal i plantar de l'os, uns 15 mm proximals a la primera articulació metatarsofalàngica.

Durant la nostra recerca també vam observar com el MDDN passa d'una posició dorsal a una posició plantar conforme progressa distalment. A nivell de la base de la falange està normalment en una

posició purament medial. Per aquest motiu a l'hora de realitzar una osteotomia d'Akin és més segur utilitzar un abordatge dorsomedial.

En el nostre treball, només dos espècimens van patir lesió del MDDN, i les dues lesions van tenir lloc a nivell de l'osteotomia del metatarsià. Paradoxalment, la distància entre l'abordatge de l'Akin i el MDDN era substancialment menor (2,24mm) que la distància entre l'abordatge del metatars i el MDDN (4,93mm). Per tant, ens trobem amb un augment d'incidència de lesió del MDDN a nivell del cap de metatarsià tot i que la distància de la via d'abordatge és superior. Una explicació podria ser que al realitzar-se l'osteotomia del metatarsià la càpsula articular s'ha de separar del cap del metatarsià, i això es fa normalment amb un bisturí Beaver, fet que podria augmentar el risc de lesió del MDDN. Una curosa dissecció roma mitjançant un periosteòtom podria ser més apropiada.

No vam observar lesió a cap altra estructura neurovascular.

V.3.3.a. Seguretat del portal dorsolateral

El portal dorsolateral de l'hàl.lux s'utilitza per a la realització de la tenotomia del múscul *adductor hallucis* i l'alliberament de la part lateral de la càpsula MTF.

En el nostre estudi no vam trobar cap lesió neurovascular a través d'aquest portal. Malgrat això, creiem que val la pena una menció especial, ja que es va observar que la distància entre el portal dorsolateral i les estructures neurovasculars és extremadament curta: 3,33mm al LDDN, i 2,40mm a la FDMA.

Això reflexa la necessitat d'una tècnica quirúrgica meticulosa per evitar lesions iatrogèniques d'aquestes estructures. El bisturí Beaver s'ha d'introduir dins del costat lateral de l'articulació, amb la fulla assenyalant a medial. Només quan està en una posició intraarticular es pot rotar 180º, girant la fulla cap al tendó del múscul *adductor hallucis*. Llavors el bisturí no s'ha de bellugar enfora, sinó que s'ha de forçar l'hàl.lux en varus (és a dir, moure l'hàl.lux medialment). Això augmenta la tensió del tendó del múscul *adductor hallucis*, fent que s'apliqui ell mateix sobre la fulla del bisturí.

Mantenir el bisturí en una posició intraarticular en tot moment disminueix el risc de lesió neurovascular.

V.3.2. Lesió d'estructures tendinoses

Les lesions tendinoses són més freqüents quan es realitza una osteotomia d'Akin. Yañez Arauz et al. (73) en un estudi cadavèric van trobar un 56% de lesió en el paratendó del múscul EHL. Per disminuir

el risc de lesió de l'EHL es recomana mantenir l'articulació MTF amb una dorsiflexió de 20-30 graus mentre es realitza l'osteotomia.

Els nostres resultats han mostrat dos casos de lesió tendinosa lleu, només afectant el peritendó: una afectant el múscul EHL, i l'altre el múscul FHL. En els dos casos la lesió va ocórrer a nivell de l'osteotomia d'Akin, pel que cal estressar la importància d'una tècnica quirúrgica curosa en el moment de realitzar aquesta osteotomia.

V.3.3. Valoració de lesions en el cartílag de l'articulació metatarsofalàngica

Les lesions condrials postoperatòries en el cap del primer metatarsià solen ser mencionades a la literatura. En estudis clínics les lesions condrials no són valorables, ja que normalment es realitza un control radiològic postoperatori dels pacients i el cartílag es radiotransparent.

En estudis anatòmics sobre cirurgia percutània de peu l'estat del cartílag no és un aspecte que s'acostumi a revisar: de tots els estudis anatòmics que hem consultat, la majoria no mencionen lesions al cartílag (54,71-74,78,80,83), i només dos ho fan. Dalmau-Pastor et al.(79) no troben cap lesió cartilaginosa en 22 espècimens cadavèrics als que se'ls hi ha fet un alliberament capsular lateral. En canvi De Cesar et al.(100) troben 4 espècimens de 10 amb una abrasió superficial o lesió incisa a la superfície articular del cap del metatarsià.

Els nostres resultats no van mostrar cap lesió condrial aguda secundària a la intervenció percutània de l'hàl.lux valgus.

V.3.4. Compleció de l'alliberament del tendó del múscul *adductor hallucis*.

L'alliberament del tendó del múscul *adductor hallucis* i la part lateral de la càpsula MTF és un procediment que es realitza freqüentment en cirurgia percutània. Tot i que la seva utilitat ha estat qüestionada(71), l'objectiu d'aquest gest quirúrgic és ajudar a recentrar la base de la falange proximal sobre el cap del metatarsià. Això ajuda a reduir el valgus i a realinear el complex metatarso-sesamoide, a la vegada que disminueix l'angle intermetatarsià (83).

El tendó del múscul *adductor hallucis* és una estructura plantar, i tècnicament és difícil arribar-hi des d'un portal dorsal. Utilitzant una via dorsolateral oberta, s'ha aconseguit un 80% d'alliberament complet del tendó del múscul *adductor hallucis* (83,100). Per l'altra banda, en l'únic estudi anatòmic en cadàver que hem trobat on s'avalua la tenotomia del múscul *adductor hallucis*, Dalmau-Pastor et al.(79) van mostrar un 100% de compleció de tenotomia del múscul *adductor hallucis* en els 11 peus on van realitzar un alliberament aïllat d'aquest tendó. En el nostre estudi es va aconseguir una tenotomia completa en el 70% dels casos i una tenotomia subtotal en el 20% dels casos. Només 2 peus van tenir menys d'un 50% d'alliberament. Tot i que aquests resultats són més baixos del que s'esperava, estan en sintonia amb els resultats que altres autors mostren a través d'un abordatge dorsolateral obert.

V.3.5. Avaluació de la compleció de les osteotomies

Totes les osteotomies del cap del metatarsià van ser completes, tant en l'osteotomia de Chevron com amb la tècnica SERI. Poder dissecar els teixits fins al pla ossi ens va permetre valorar el traç de l'osteotomia. L'únic estudi anatòmic que hem trobat en el que mesuraven l'angulació del traç d'osteotomia va ser realitzat per Del Vecchio (74). En el seu estudi realitzaven una osteotomia de Chevron en 9 espècimens cadavèrics, i en el seu cas va observar una angulació mitjana de 85,6 graus (rang 81-95 graus). En el nostre cas, l'angle de l'osteotomia de Chevron va ser una mica més obert (94,7 +/- 10.3 graus) però està en els límits acceptables d'aquesta osteotomia (49).

Pel que fa l'osteotomia d'Akin, es contempla la realització d'una osteotomia subtotal, en la que només la cortical lateral de la falange estigui conservada. L'osteotomia d'Akin es tracta d'una osteotomia amb forma de cunya medial, que permet la varització de la falange. Mantenir íntegra la cortical medial ens permet fer una osteoclàsia: al tancar la cunya de l'osteotomia, la cortical medial es trenca però el seu periosti roman intacte (52). Això a més d'augmentar l'estabilitat de l'osteotomia, afavoreix la seva consolidació. Els nostres resultats van mostrar una compleció satisfactòria de l'osteotomia d'Akin en tots els espècimens.

VI: CONCLUSIONS

PRIMERA: La sabata ortopèdica està indicada després de la cirurgia d'avantpeu si es permet al pacient fer càrrega completa. Si ha de fer càrrega parcial de menys de 30 kg o descàrrega no seria necessari utilitzar una sabata ortopèdica.

SEGONA: La sabata ortopèdica amb encoixinat doble (MS) i la sabata de taló invertit (RCS) són igualment eficaces en disminuir la càrrega a l'avantpeu.

TERCERA: Donat que a la literatura s'ha indicat una major confortabilitat del model MS, a igualtat de resultats barogràfics, és probablement aconsellable escollir el model MS.

QUARTA: Tant l'osteotomia de SERI com la de Chevron assoleixen uns resultats satisfactoris en la projecció radiològica anteroposterior, que es manté amb la càrrega.

CINQUENA: L'osteotomia de Chevron té un desplaçament dels fragments menor en el pla sagital que l'osteotomia de SERI, pel que la seva estabilitat intrínseca és superior.

SISENA: Pel que fa l'angulació dels fragments, cap de les dues tècniques va mostrar estabilitat en el pla sagital. Per aquest motiu, per a qualsevol de les dues tècniques és recomanable una fixació més rígida dels fragments, per exemple amb cargols.

SETENA: L'estructura amb més risc de lesió durant la cirurgia percutània d'hàl.lux valgus és el nervi digital dorsal medial de l'hàl.lux (MDDN).

VUITENA: El MDDN segueix un trajecte en el que progressa de dorsal a plantar conforme avança distalment. Per aquest motiu, el portal de l'osteotomia del metatars s'hauria de situar a la part medial del coll del metatarsià, deixant el nervi en un pla més dorsal. En canvi, el portal de l'osteotomia d'Akin s'hauria de situar a nivell dorsomedial, deixant el nervi en un pla més plantar.

NOVENA: Hi ha un estret marge de seguretat entre el portal dorsolateral que realitzem per la tenotomia del múscul *adductor hallucis* i dues estructures anatòmiques: el nervi digital dorsal lateral de l'hàl.lux (LDDN) i l'artèria primera metatarsiana dorsal (FDMA). Cal un coneixement anatòmic extens i una tècnica quirúrgica rigorosa per evitar la lesió d'aquestes estructures.

DESENA: La tenotomia del múscul *adductor hallucis* va ser completa o subtotal en el 90% dels casos, per la qual cosa considerem l'alliberament percutani del tendó del múscul *adductor hallucis* una tècnica eficaç i reproduïble.

VII: BIBLIOGRAFIA

1. Nix S, Smith M, Vicenzino B. Percutaneous Distal Metatarsal Osteotomy for Correction of Hallux Valgus Surgical Technique. *J Foot Ankle Res.* 2010;3(1).
2. Bia A, Guerra-Pinto F, Pereira BS, Corte-Real N, Oliva XM. Percutaneous Hallux Valgus Surgery: A Prospective Multicenter Study of 189 Cases. *J Foot Ankle Surg.* 2018;57(1):123–30.
3. Brogan K, Voller T, Gee C, Borbely T, Palmer S. Third-generation minimally invasive correction of hallux valgus: technique and early outcomes. *Int Orthop.* 2014;38(10):2115–21.
4. Viladot Pericé A. Síndrome de insuficiencia del primer radio. In: *Biomecánica, medicina y cirugía del pie.* Barcelona: MD Masson; 1997.
5. Campillo Ibáñez MA, Ferrer SZ. Percutaneous Surgery for Severe Hallux Valgus. *Rev Esp Reumatol.* 2003;30(9):478–88.
6. 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.
7. Palmanovich E, Myerson MS. Correction of Moderate and Severe Hallux Valgus Deformity with a Distal Metatarsal Osteotomy Using an Intramedullary Plate. *Foot Ankle Clin.* 2014;19(2):191–201.
8. Giannini S, Faldini C, Nanni M, di Martino A, Luciani D, Vannini F. A minimally invasive technique for surgical treatment of hallux valgus: Simple, effective, rapid, inexpensive (SERI). *Int Orthop.* 2013;37(9):1805–13.
9. Choi JY, Ahn HC, Kim SH, Lee SY, Suh JS. Minimally invasive surgery for young female patients with mild-to-moderate juvenile hallux valgus deformity. *Foot Ankle Surg.* 2019;25(3):316–22.
10. Ray JJ, Friedmann AJ, Hanselman AE, Vaida J, Dayton PD, Hatch DJ, et al. Hallux Valgus. *Foot Ankle Orthop.* 2019;4(2):1-12.
11. Chuckpaiwong B. Comparing proximal and distal metatarsal osteotomy for moderate to severe hallux valgus. *Int Orthop.* 2012;36(11):2275–8.
12. Trnka HJ. The surgical anatomy of the dorsomedial cutaneous nerve of the hallux. *Foot Ankle Clin.* 2005;10(1):15–33.
13. Kadakia AR, Smerek JP, Myerson MS. Radiographic results after percutaneous distal metatarsal osteotomy for correction of hallux valgus deformity. *Foot Ankle Int.* 2007;28(3):355–60.
14. Testut L, Latarjet A. *Tratado de Anatomía Humana.* Vol. Tomo I. 1988. 449–451.
15. Maestro M, Leemrijse T, Rivet J-J. Anatomía y biomecánica del gran artejo o hallux. *EMC - Podología.* 2018;20(3):1–11.
16. Gardner ED, Gray H, O’Rahilly R. *Anatomy. A regional study of human structure.* al Meier, editor. Philadelphia: W.B.Saunders Company; 1986.
17. Gray H. *Anatomy of human body.* 2000th ed. Bartleby, editor. Philadelphia: Lea & Febiger; 1918.
18. Rouviere H, Delmas A. *Anatomía Humana. Descriptiva, topográfica y funcional.* 10th ed. Paris: Masson; 1999.

19. Rouviere H, Delmas A. Anatomía Humana. Descriptiva, topográfica y funcional. 11th ed. Masson; 2005.
20. Palomo López P, Prados Frutos JC, Becerro de Bengoa Vallejo R. Extensor Hallucis Capsularis o Tendón Accesorio del Extensor Hallucis Longus: Estudio anatómico y funcional, frecuencia y mediciones. *Rev Int Ciencias Podológicas*. 2011 Sep;5(2):25-32.
21. Bayer T, Kolodziejcki N, Flueckiger G. The extensor hallucis capsularis tendon - A prospective study of its occurrence and function. *Foot Ankle Surg*. 2014;20(3):192-4.
22. Viladot Voegeli A. Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. *Rev Esp Reumatol*. 2003;30(9):469.
23. Stöckel T, Jacksteit R, Behrens M, Skripitz R, Bader R, Mau-Moeller A. The mental representation of the human gait in young and older adults. *Front Psychol*. 2015;6:943.
24. Maceira E. Análisis cinemático y cinético de la marcha humano. *Rev pie tobillo*. 2003;17(1):29-37.
25. Nyska M, McCabe C, Linge K, Laing P, Klenerman L. Effect of the shoe on plantar foot pressures. *Acta Orthop Scand*. 1995;66(1):53-6.
26. Hessert MJ, Vyas M, Leach J, Hu K, Lipsitz LA, Novak V. Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatr*. 2005;5:8.
27. Cavanagh PR, Rodgers MM, Liboshi A. Pressure Distribution under Symptom-Free Feet during Barefoot Standing. *Foot Ankle Int*. 1987;7(5):262-78.
28. Jacob HAC. Forces acting in the forefoot during normal gait - an estimate. *Clin Biomech*. 2001;16:783-92.
29. Choi JY, Babu H, Joseph FN, Stephanie S, Suh JS. Effects of wearing shoes on the feet: Radiographic comparison of middle-aged partially shod Maasai women's feet and regularly shod Maasai and Korean women's feet. *Foot Ankle Surg*. 2018;24(4):330-5.
30. Sim-Fook L, Hodgson AR. Foot forms among the chinese population. *J Bone Joint Surg*. 1958;40(5):1058-62.
31. Perera AM, Mason L, Stephens MM. The pathogenesis of hallux valgus. *J Bone Joint Surg*. 2011;93(17):1650-61.
32. Bauer T, Biau D, Lortat-Jacob A, Hardy P. Percutaneous hallux valgus correction using the Reverdin-Isham osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2010;96(4):407-16.
33. Smith RW, Reynolds JC, Stewart MJ. Hallux Valgus Assessment: Report of Research Committee of American Orthopaedic Foot and Ankle Society. *Foot Ankle Int*. 1984;5(2):92-103.
34. Deenik AR, de Visser E, Louwerens JWK, Malefijt MDW, Draijer FF, de Bie RA. Hallux valgus angle as main predictor for correction of hallux valgus. *BMC Musculoskelet Dis*. 2008;9:70.
35. Boberg IS, Torgrude E, Pooch J. RADIOGRAPHIC EVALUATION OF THE HALLUCAL SESAMOIDS. A: The Podiatry Institute Textbook update. 2003. p. 51-4.

36. Nery C, Coughlin MJ, Baumfeld D, Ballerini FJ, Kobata S. Hallux valgus in males-part 2: Radiographic assessment of surgical treatment. *Foot Ankle Int.* 2013;34(5):636–44.
37. Galois L. History of surgical treatments for hallux valgus. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(8):1633–9.
38. Keller WL. The surgical treatment of bunions and hallux valgus. *New York Medical Journal.* 1904;80:741–2.
39. Sott AH. The surgical anatomy of the dorsomedial cutaneous nerve of the hallux. *Foot Ankle Clin.* 2016;21(3):567–76.
40. Esway JE, Conti SF. Tratamiento quirúrgico percutáneo del hallux valgus mediante osteotomías múltiples. *Foot Ankle Clin.* 2005;10(1):97–115.
41. Majeed H. Silastic replacement of the first metatarsophalangeal joint: Historical evolution, modern concepts and a systematic review of the literature. *EFORT Open Reviews.* 2019;4(3):77–84.
42. Stone OD, Ray R, Thomson CE, Gibson JNA. Long-Term Follow-up of Arthrodesis vs Total Joint Arthroplasty for Hallux Rigidus. *Foot Ankle Int.* 2017;38(4):375–80.
43. Wai-Chi Wong D. Biomechanics of Hallux Valgus and Evaluation of Interventions Physical Ergonomics View project Computational Orthopaedics View project [Tesi]. Hong Kong; 2013. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/275250212>
44. ElAttar M, Naggar A el, Fahmy Samir F, Fathi H. Short term results of osteotomy-sparing technique in management of moderate hallux valgus using TightRope system. *J Orthop.* 2018;15(2):721–5.
45. Han SH, Park EH, Jo J, Koh YG, Lee JW, Choi WJ, et al. First metatarsal proximal opening wedge osteotomy for correction of hallux valgus deformity: Comparison of straight versus oblique osteotomy. *Yonsei Med J.* 2015;56(3):744–50.
46. Easley ME, Darwish HH, Schreyack DW, DeOrío JK, Trnka HJ. Hallux valgus: Proximal first metatarsal osteotomies. A: *International Advances in Foot and Ankle Surgery.* Springer-Verlag London Limited. 2012;11–25.
47. Schon LC, Dom KJ, Jung H-G. Clinical Tip: Stabilization of the Proximal Ludloff Osteotomy. *Foot ankle Int.* 2005;26(7):579–81.
48. Barker AE. An operation for hallux valgus. *The Lancet.* 1884;123(3163):655–6.
49. Austin DW, Leventen E O. A New Osteotomy for Hallux Valgus: A Horizontally Directed “V” Displacement Osteotomy of the Metatarsal Head for Hallux Valgus and Primus Varus. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;157:25–30.
50. Bauer T. Percutaneous Surgery for Severe Hallux Valgus. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(1 S).
51. Isham SA. The Reverdin-Isham Procedure for the Correction of Hallux Abducto Valgus. *Clin Podiatr Med Surg.* 1991;8(1):81–94.
52. de Prado M, Ripoll PL, Vaquero J, Golanó P. Tratamiento quirúrgico percutáneo del hallux valgus mediante osteotomías múltiples. *Rev Ortop Traumatol.* 2003;47:406–16.

53. Díaz Fernández R. Tratamiento del hallux valgus moderado y severo mediante doble osteotomía percutánea del primer metatarsiano. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2015;59(1):52–8.
54. Dhukaram V, Chapman AP, Upadhyay PK. Minimally invasive forefoot surgery: A cadaveric study. *Foot Ankle Int.* 2012;33(12):1139–44.
55. de Prado M, Ripoll PL, Vaquero J, Golanó P. Percutaneous Surgery for Severe Hallux Valgus. *Rev Ortop Traumatol.* 2003;47:406–16.
56. Trnka HJ, Krenn S, Schuh R. The surgical anatomy of the dorsomedial cutaneous nerve of the hallux. *Int Orthop.* 2013;37(9):1731–5.
57. Bösch P, Wanke S, Legenstein R. Hallux valgus correction by the method of Bösch: a new technique with a seven-to-ten year follow-up. *Foot Ankle Clin.* 2000;5(3):485–98.
58. Faour-Martín O, Martín-Ferrero MÁ, Valverde García JA, Vega-Castrillo A, de La Red-Gallego MÁ. Long-term results of the retrocapital metatarsal percutaneous osteotomy for hallux valgus. *Int Orthop.* 2013;37(9):1799–803.
59. Oliva F, Longo UG, Maffulli N. Minimally Invasive Hallux Valgus Correction. *Orthop Clin North Am.* 2009;40(4):525–30.
60. Magnan B, Bortolazzi R, Samaila E, Pezzè L, Rossi N, Bartolozzi P. Percutaneous Distal Metatarsal Osteotomy for Correction of Hallux Valgus Surgical Technique. *J Bone Joint Surg.* 2005;87:1191–9.
61. Radwan YA, Mansour AMR. Percutaneous distal metatarsal osteotomy versus distal chevron osteotomy for correction of mild-to-moderate hallux valgus deformity. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(11):1539–46.
62. Redfern D, Perera AM. Minimally invasive osteotomies. *Foot Ankle Clin.* 2014;19(2):181–9.
63. Vernois J, Redfern DJ. The surgical anatomy of the dorsomedial cutaneous nerve of the hallux. *Foot Ankle Clin.* 2016;21(3):479–93.
64. Sarmah SS, Hossain FS, Mishra V. Effectiveness of the Reverse Camber Shoe in Postoperative Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Spec.* 2012;5(4):245–8.
65. Coughlin MJ, Smith BW. Hallux valgus and first ray mobility: Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(2): 153-70.
66. Trnka H-J, Parks BG, Ivanic G, Chu I-T, Easley ME, Schon LC, et al. Six First Metatarsal Shaft Osteotomies Mechanical and Immobilization Comparisons. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;381:256–65.
67. Schuh R, Trnka HJ, Sabo A, Reichel M, Kristen KH. Biomechanics of postoperative shoes: Plantar pressure distribution, wearing characteristics and design criteria: A preliminary study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(2):197–203.
68. Carl H-D, Pfander D, Swoboda B. Percutaneous treatment of hallux valgus: What's the evidence? A systematic review. *Foot Ankle Int.* 2006;27(2):117–20.

69. Giacalone VF, Armstrong DG, Ashry HR, Lavery DC, Harkless LB, Lavery LA. A quantitative assessment of healing sandals and postoperative shoes in offloading the neuropathic diabetic foot. *J Foot Ankle Surg.* 1997 Jan;36(1):28–30.
70. Patel S, Garg P, Fazal MA, Shahid MS, Park DH, Ray PS. A Comparison of Two Designs of Postoperative Shoe on Function, Satisfaction, and Back Pain After Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Spec.* 2019;12(3):228–32.
71. Schneider W. Influence of different anatomical structures on distal soft tissue procedure in hallux valgus surgery. *Foot Ankle Int.* 2012;33(11):991–6.
72. Malagelada F, Dalmau-Pastor M, Fargues B, Manzanares-Céspedes MC, Peña F, Vega J. Increasing the safety of minimally invasive hallux surgery—An anatomical study introducing the clock method. *Foot Ankle Surg.* 2018;24(1):40–4.
73. Yañez Arauz JM, del Vecchio JJ, Codesido M, Raimondi N. Minimally invasive Akin osteotomy and lateral release: Anatomical structures at risk-A cadaveric study. *Foot.* 2016;27:32–5.
74. del Vecchio JJ, Ghioldi ME, Uzair AE, Chemes LN, Manzanares-Céspedes MC, Dealbera ED, et al. Percutaneous, Intra-articular, Chevron Osteotomy (PeICO) for the Treatment of Hallux Valgus: A Cadaveric Study. *Foot Ankle Int.* 2019;40(5):586–95.
75. Kennedy J, Berg A, Welsh L, Mehta J. Single incision lateral release for hallux valgus using a cervical biopsy blade: A cadaveric study. *Foot.* 2018;36:35–8.
76. McGann M, Langan TM, Brandão RA, Berlet G, Prissel M. Structures at Risk During Percutaneous Extra-Articular Chevron Osteotomy of the Distal First Metatarsal. *Foot Ankle Spec.* 2021;14(1):19-24.
77. Simons P, Klos K, Loracher C, Skulev HK, Gras F, Hofmann GO, et al. Lateral soft-tissue release through a medial incision: Anatomic comparison of two techniques. *Foot Ankle Surg.* 2015;21(2):113–8.
78. Teoh KH, Haanaes EK, Alshalawi S, Tanaka H, Hariharan K. Minimally Invasive Dorsal Cheilectomy of the First Metatarsal: A Cadaveric Study. *Foot Ankle Int.* 2018;39(12):1497–501.
79. Dalmau-Pastor M, Malagelada F, Cordier G, del Vecchio JJ, Ghioldi ME, Vega J. Anatomical Study of Minimally Invasive Lateral Release Techniques for Hallux Valgus Treatment. *Foot Ankle Int.* 2020;41(8):984–92.
80. Kaipel M, Reissig L, Albrecht L, Quadlbauer S, Klikovics J, Weninger WJ. Risk of Damaging Anatomical Structures During Minimally Invasive Hallux Valgus Correction (Bösch Technique): An Anatomical Study. *Foot Ankle Int.* 2018;39(11):1355–9.
81. Vernois J, Redfern DJ. Percutaneous Surgery for Severe Hallux Valgus. *Foot Ankle Clin.* 2016;21(3):479–93.
82. Redfern D, Perera AM. Minimally Invasive Osteotomies. *Foot Ankle Clin.* 2014;19(2):181–9.
83. Schneider W. Distal soft tissue procedure in hallux valgus surgery: biomechanical background and technique. *Int Orthop.* 2013;37(9):1669–75.

84. Easley ME, Trnka HJ. Tratamiento quirúrgico percutáneo del hallux valgus mediante osteotomías múltiples. *Foot Ankle Int.* 2007;28(6):748–58.
85. Fraissler L, Konrads C, Hoberg M, Rudert M, Walcher M. Treatment of hallux valgus deformity. *EFORT Open Reviews.* 2016;1(8):295–302.
86. Hook S, Walker N, Cannon L. The use of post-operative reverse camber shoes following scarf osteotomy. *Foot Ankle Surg.* 2008;14(4):190–3.
87. Glod DJ, Fettinger P, Gibbons RW. A comparison of weightbearing pressures in various postoperative devices. *J Foot Ankle Surg.* 1996;35(2):149–54.
88. Fuller E, Schroeder S, Edwards J. Reduction of Peak Pressure on the Forefoot with a Rigid Rocker-Bottom Postoperative Shoe. *Journal of the American Podiatric Medical Association.* 2001;91(10):501–7.
89. Shereff MJ, Bregman AM, Kummer FJ. The Effect of Immobilization Devices on the Load Distribution Under the Foot. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;192:260–7.
90. Kaufmann G, Dammerer D, Heyenbrock F, Braitto M, Moertlbauer L, Liebensteiner M. Minimally invasive versus open chevron osteotomy for hallux valgus correction: a randomized controlled trial. *Int Orthop.* 2019;43(2):343–50.
91. Pentikäinen I, Piippo J, Ohtonen P, Junila J, Leppilahti J. Role of Fixation and Postoperative Regimens in the Long-Term Outcomes of Distal Chevron Osteotomy: A Randomized Controlled Two-by-Two Factorial Trial of 100 Patients. *J Foot Ankle Surg.* 2015;54(3):356–60.
92. Crosby LA, Bozarth GR. Fixation comparison for chevron osteotomies. *Foot Ankle Int.* 1998;19(1):41–3.
93. Bauer T, de Lavigne C, Biau D, de Prado M, Isham S, Laffenêtre O. Percutaneous Hallux Valgus Surgery: A Prospective Multicenter Study of 189 Cases. *Orthop Clin North Am.* 2009;40(4):505–14.
94. Coughlin MJ, Carlson RE. Treatment of Hallux Valgus with an Increased Distal Metatarsal Articular Angle: Evaluation of Double and Triple First Ray Osteotomies. *Foot Ankle Int.* 1999;20(12):762–70.
95. di Giorgio L, Sodano G, Touloupakis G, de Meo D, Marcellini L. Reverdin-Isham osteotomy versus Endolog system for correction of moderate hallux valgus deformity: a Randomized Controlled Trial. *Clin Ter.* 2016;167(6):150–4.
96. Caravelli S, Mosca M, Massimi S, Costa GG, lo Presti M, Fuiano M, et al. Percutaneous treatment of hallux valgus: What's the evidence? A systematic review. *Musculoskelet Surg.* 2018;102(2):111–7.
97. Malagelada F, Sahirad C, Dalmau-Pastor M, Vega J, Bhumbra R, Manzanares-Céspedes MC, et al. Percutaneous Distal Metatarsal Osteotomy for Correction of Hallux Valgus Surgical Technique. *Int Orthop.* 2019;43(3):625–37.
98. Solan MC, Lemon M, Bendall SP. The surgical anatomy of the dorsomedial cutaneous nerve of the hallux. *J Bone Joint Surg [Br].* 2001;83:250–2.

99. Chan CX, Gan JZW, Chong HC, Rikhraj Singh I, Ng SYC, Koo K. Two year outcomes of minimally invasive hallux valgus surgery. *Foot Ankle Surg.* 2019;25(2):119–26.
100. de Cesar Netto C, Roberts LE, Hudson PW, Cone B, Sahranavard B, Araoye I, et al. The success rate of first metatarsophalangeal joint lateral soft tissue release through a medial transarticular approach: A cadaveric study. *Foot Ankle Surg.* 2019;25(6):733–8.

VIII: ANNEXOS

Annex 1:

Autorització del Comitè d'Ètica d'investigació CEI de Girona de l'Hospital Universitari Doctor Josep Trueta de Girona, en data del 26/03/2019.



Avinguda de França s/n.
17007 Girona
Telèfon 972 940 200
www.gencat.net/ics/trueta

Marta Riera Juncà, Secretària del Comitè d'Ètica d'Investigació CEI GIRONA, amb domicili a l'Hospital Universitari de Girona Dr. Josep Trueta Avinguda de França s/n 17007 Girona

CERTIFICA

Que el Comitè d'Ètica d'Investigació CEIM GIRONA, segons consta en l'acta de la reunió celebrada el dia 26/03/2019 ha avaluat el projecte: **Osteotomia percutània distal del primer metatarsià per a la correcció de l'hallux valgus. Estudio experimental comparatiu de dues tècniques quirúrgiques.** amb la Sra. ESTER NAVARRO com a investigador principal.

Que els documents s'ajusten a les normes ètiques essencials i per tant, ha decidit la seva aprovació.

I, perquè consti, expedixo aquest certificat.

Hospital Universitari de Girona
Doctor Josep Trueta
Comitè Ètic
d'investigació Clínica
Institut Català de la Salut

Girona, a 28/03/2019

Annex 2:

Document de col·laboració entre l'Hospital Comarcal de Blanes i la Universitat de Girona a data del
17/05/2016



**Corporació de Salut
del Maresme i la Selva**

Sant Jaume, 209-217 08370 Calella
Tel. 93 766 15 62 Fax 93 766 06 76
salut@salutms.cat

Blanes, 17 Maig 2016

Dr. Francisco Reina de la Torre
Professor Titular Àrea d'Anatomia i Embriologia
Facultat de Medicina
Universitat de Girona

Benvolgut Dr. Reina

Estem informats del Projecte de Tesi Doctoral "Osteotomia percutània distal del primer metatarsià per a la correcció de l'hallux valgus. Estudi experimental comparatiu de dues tècniques quirúrgiques" inscrit per part de la Dra. Ester Navarro Cano a l'Escola de Doctorat de la Universitat de Girona.

Igualment estem informats de que una part de l'estudi necessita de projeccions radiològiques dels espècimens anatòmics.

Donat que el nostre Servei / Centre disposa del aparell de radiologia necessari per realitzar aquesta part de la Tesi Doctoral i que la Dra. Navarro que forma part del nostre equip de Traumatologia i compta amb el vostre permís per traslladar aquests espècimens.

Donem el nostre permís per realitzar els estudis radiològics en las nostres instal·lacions; sempre que la Dra. Navarro es comprometí a coordinar-se amb el nostre personal e interferir el menys possible amb l'activitat habitual de la Unitat..

Dra. Sanjuan
Cap Servei COT
Hospital Blanes-Calella
Corporació de Salut del Maresme i la Seva

[Signature]
Sanjuan Castiella, Angeles
Col·legiada 08-23347-0
Cirurgia Ortopèdica / Traumatologia
Hospital Comarcal Sant Jaume de Calella Tel. 937 690 201
Corporació de Salut del Maresme i la Selva

Vist i plau
Dr. E. Avendaño
Director mèdic

[Signature]
Avendaño Farijas, Enrique
Col·legiat 17-02064-2
Direcció Mèdica
Hospital Comarcal de Blanes Tel. 972 353 264
Corporació de Salut del Maresme i la Selva

Annex 3:

Resultats de l'estudi de càrregues. Els valors estan representats en Newtons. MT: metatars. MS: sabata ortopèdica MedSurg. RCS: sabata de taló invertit.

Peu	Número	Càrrega axial	Descalç taló	Descalç MT	MS taló	MS MT	RCS taló	RCS MT
1D	1	10	0.99	1.096	0.24	0.606	0.056	3.373
1D	1	20	5.785	3.339	1.977	1.522	2.059	4.702
1D	1	30	23.149	6.398	5.85	3.094	4.201	5.754
1D	1	40	41.308	10.189	3.697	7.215	7.341	7.741
1D	1	50	59.644	14.584	9.389	4.679	10.416	8.512
1D	1	60	103.187	18.316	15.17	6.194	14.727	9.72
1E	2	10	1.974	0	2.737	0	0	0
1E	2	20	11.972	0	28.274	0	0	0.056
1E	2	30	31.628	0.465	43.136	0	0	0.169
1E	2	40	40.252	0.902	54.193	0	0.282	0.296
1E	2	50	50.262	2.126	63.364	0.31	0.802	0.635
1E	2	60	56.852	3.068	71.046	1.041	1.958	0.878
2D	3	10	0.141	3.911	7.163	0	7.176	0
2D	3	20	1.748	4.233	7.306	0.113	7.023	0
2D	3	30	11.353	4.426	7.342	0.762	6.703	0
2D	3	40	23.691	6.43	7.356	3.201	6.661	0
2D	3	50	37.621	7.623	7.278	8.707	6.478	0
2D	3	60	50.213	7.706	7.808	14.542	6.284	0
2E	4	10	3.907	0	12.064	0	0.872	0
2E	4	20	5.339	0	17.786	0	1.336	0
2E	4	30	41.288	0	20.961	0	6.251	0
2E	4	40	58.056	0	24.007	0	8.113	0
2E	4	50	71.533	0	26.34	0	9.168	0
2E	4	60	72.283	0.056	29.198	0	11.594	0
3D	5	10	0.788	0.521	0.056	0	0.056	0
3D	5	20	16.681	2.922	0.07	0	3.429	0
3D	5	30	31.33	4.279	0.084	0.225	15.286	0.056
3D	5	40	42.069	4.724	0.084	1.027	18.323	0.127
3D	5	50	53.396	6.33	0.367	1.014	26.178	0.494
3D	5	60	73.936	8.215	2.225	2.279	29.219	0.96
3E	6	10	1.886	0	0.056	0	0.056	0
3E	6	20	27.065	0	0	0	16.173	0
3E	6	30	51.423	0	0.296	0	29.75	0
3E	6	40	71.496	0	12.533	0.056	39.781	0
3E	6	50	96.147	0.056	25.503	0	36.222	0
3E	6	60	116.721	0.62	25.179	0	51.386	0
4D	7	10	8.52	9.156	1.48	0	0	0
4D	7	20	15.406	13.569	1.187	0	0	0

4D	7	30	18.458	14.679	4.537	0	0	0
4D	7	40	21.298	16.495	11.861	0	0	0
4D	7	50	25.446	18.408	16.665	0	0.197	0
4D	7	60	28.5	19.859	21.461	0	1.886	0.056
4D	7	70	32.555	21.634				
4E	8	10	29.105	8.009	0.527	0	6.078	0
4E	8	20	40.303	4.802	2.985	0	6.417	0
4E	8	30	50.022	9.339	8.027	0	6.939	0
4E	8	40	39.05	18.94	14.938	0	7	0
4E	8	50	47.735	16.047	18.156	0.296	8.177	0
4E	8	60			23.436	1.731	13.241	0.169
5D	9	10	31.86	1.82	0	1.76	0.056	1.996
5D	9	20	48.22	4.68	0.959	1.676	0.127	2.136
5D	9	30	59.78	15.86	7.407	1.634	0.254	1.981
5D	9	40	57.05	11.57	23.112	1.394	1.071	1.842
5D	9	50	60.35	19.73	29.81	1.071	3.385	1.031
5D	9	60	74.9	7.52	33.415	2.469	9.117	1.117
5E	10	10	19.255	0.36	19.907	0.492	8.93	0.169
5E	10	20	28.533	0.376	29.181	0.777	9.628	0.056
5E	10	30	34.879	0.924	34.124	3.036	10.002	0.818
5E	10	40	55.133	2.653	56.092	3.116	10.108	2.309
5E	10	50	45.358	24.114	48.405	26.249	10.749	3.993
5E	10	60	59.397	23.116	63.22	28.016	12.224	9.899
6D	11	10	9.168	3.072	4.386	0	0.141	0
6D	11	20	20.647	9.773	24.488	0	0.789	0
6D	11	30	26.743	15.809	38.646	0	0.155	0
6D	11	40	30.807	19.907	49.113	0.7	0.211	0
6D	11	50	33.605	21.342	56.639	0.563	0.395	0
6D	11	60	36.58	23.259	64.197	2.801	0.677	0
6E	12	10	19.574	2.505	0.056	0	0.946	0
6E	12	20	26.436	3.993	0.113	0	13.081	0
6E	12	30	29.529	6.286	0.197	0.056	28.552	0
6E	12	40	33.641	9.528	0.141	0.056	39.445	0.056
6E	12	50	38.967	14.801	0.211	0	44.386	0.155
6E	12	60	39.901	12.726	0.324	0.056	49.847	12.072
7D	13	10	21.748	3.198	0.14	0	1.965	0
7D	13	20	28.398	4.995	0.699	0	2.315	0
7D	13	30	32.49	7.099	1.627	0	3.509	0
7D	13	40	35.317	10.348	5.894	0	6.058	0
7D	13	50	37.906	14.641	15.196	0	10.739	0
7D	13	60	40.579	18.373	26.192	0	17.397	0
7E	14	10	23.397	16.689	0.113	0	17.652	4.461
7E	14	20	30.537	21.239	5.089	0	24.738	11.283
7E	14	30	34.24	23.491	16.622	0	23.128	17.914

7E	14	40	37.946	25.698	24.748	0	23.092	21.114
7E	14	50	40.999	27.565	31.687	0	20.585	24.506
7E	14	60	43.63	29.453	37.887	0	29.156	24.876
8D	15	10	0.733	8.62	0.226	7.601	7.178	8
8D	15	20	14.508	8.371	5.089	7.825	25.288	8.283
8D	15	30	30.919	8.372	13.352	7.91	36.376	8.887
8D	15	40	46.118	8.327	17.498	8.003	44.545	9.37
8D	15	50	51.416	8.733	20.613	8.475	55	9.303
8D	15	60	86.301	8.658	21.483	7.551	60.414	9.206
8E	16	10	2.799	0	10.335	0	9.808	0
8E	16	20	9.535	0	10.236	0	10.676	0
8E	16	30	15.127	0	12.007	0	11.184	0
8E	16	40	44.865	3.958	11.529	0	11.405	0
8E	16	50	43.32	5.687	11.824	0	11.807	0
8E	16	60	45.359	8.3	11.865	0.183	8.601	0
9D	17	10	0.577	0	6.021	0	3.138	0
9D	17	20	7.538	0	13.541	0.113	8.485	0.141
9D	17	30	13.998	0	18.029	0.942	15.495	0.804
9D	17	40	16.63	0.141	21.932	2.744	19.584	2.084
9D	17	50	14.146	3.627	18.419	4.787	23.319	3.028
9D	17	60	0.167	0	22.617	4.308	29.408	5.066
9E	18	10	3.039	0	5.908	0	3.069	0
9E	18	20	8.611	0.141	13.541	0.113	8.905	0.113
9E	18	30	15.495	0.804	18.028	0.9	15.495	0.804
9E	18	40	19.571	2.127	21.866	2.645	19.389	2.225
9E	18	50	22.532	2.816	18.432	5.266	22.471	2.717
9E	18	60	29.408	5.066	22.63	4.223	29.589	5.038
10D	19	10	38.419	4.582	36.687	1.951	38.438	7.989
10D	19	20	45.878	6.075	41.04	3.673	44.511	10.044
10D	19	30	48.824	13.666	44.639	4.701	46.214	11.008
10D	19	40	48.235	24.454	47.759	5.102	46.158	12.421
10D	19	50	57.723	25.509	50.535	5.659	46.88	15.822
10D	19	60	60.532	26.681	53.262	6.936	49.612	19.829
10E	20	10	27.847	5.751	34.295	5.704	10.633	2.019
10E	20	20	39.831	12.752	40.676	10.09	17.047	1.91
10E	20	30	47.177	18.461	45.377	12.634	22.706	6.246
10E	20	40	52.204	22.444	48.574	15.54	16.077	7.821
10E	20	50	56.27	25.986	51.282	16.201	20.218	11.925
10E	20	60	58.745	30.909	54.668	18.311	25.352	12.667

Annex 4:

Resultats en les mesures obtingudes a les radiografies anteroposteriors. Els resultats estan expressats en graus, excepte en la posició dels sesamoides, que s'utilitza la classificació d'AOFAS.

Peu	Estat	HVA	IMTT	DMAA	Sesamoides
1D	Pre IQ	8	6	0	1
1D	Post IQ	-16	4	-2	0
1D	Post càrrega	-6	4	-2	0
1E	Pre IQ	12	10	0	1
1E	Post IQ	-10	8	-6	1
1E	Post càrrega	-10	7	-4	1
2D	Pre IQ	14	10	2	1
2D	Post IQ	-12	6	-6	0
2D	Post càrrega	-4	8	6	0
2E	Pre IQ	14	12	1	1
2E	Post IQ	-10	7	-10	0
2E	Post càrrega	-5	7	-8	0
3D	Pre IQ	40	20	10	3
3D	Post IQ	8	8	6	0
3D	Post càrrega	8	8	6	0
3E	Pre IQ	25	12	8	1
3E	Post IQ	3	8	5	1
3E	Post càrrega	8	6	6	1
4D	Pre IQ	19	12	8	2
4D	Post IQ	5	7	3	1
4D	Post càrrega	6	7	0	1
4E	Pre IQ	16	12	6	0
4E	Post IQ	-2	7	2	0
4E	Post càrrega	0	7	5	0
5D	Pre IQ	22	16	9	1
5D	Post IQ	8	10	0	1
5D	Post càrrega	10	14	-2	1
5E	Pre IQ	23	12	10	0
5E	Post IQ	5	12	10	0
5E	Post càrrega	5	11	3	1
6D	Pre IQ	12	4	7	0
6D	Post IQ	0	4	2	0
6D	Post càrrega	2	2	2	0
6E	Pre IQ	14	8	4	0
6E	Post IQ	4	4	14	0
6E	Post càrrega	4	4	14	0
7D	Pre IQ	14	8	1	1

7D	Post IQ	8	8	8	0
7D	Post càrrega	12	8	8	0
7E	Pre IQ	14	8	3	1
7E	Post IQ	4	10	6	1
7E	Post càrrega	4	10	6	1
8D	Pre IQ	10	10	0	0
8D	Post IQ	4	6	-4	0
8D	Post càrrega	1	5	-4	0
8E	Pre IQ	5	8	-5	2
8E	Post IQ	-5.5	8	-6	1
8E	Post càrrega	-5.5	8	-6	1
9D	Pre IQ	10	8	8	1
9D	Post IQ	7	10	7	0
9D	Post càrrega	6	10	8	0
9E	Pre IQ	18	2	-2	1
9E	Post IQ	-10	8	-4	0
9E	Post càrrega	-5	8	-2	0
10D	Pre IQ	20	4	12	0
10D	Post IQ	6	4	2	0
10D	Post càrrega	4	2	0	0
10E	Pre IQ	18	4	-2	1
10E	Post IQ	3	2	-6	0
10E	Post càrrega	4	2	0	0

Annex 5:

Resultats de l'estudi radiològic lateral

Peu	Càrrega axial	desplaçament dorsal (mm)	angulació total (graus)	angulació respecte pre IQ	
1D	pre IQ			40	
	SENSE PES		0	38	-2
	10		0	38	-2
	20		2	38	-2
	30		2	36	-4
	40		2.5	34	-6
	50		4	32	-8
	60		4.5	32	-8
1E	pre IQ			40	
	SENSE PES		1	34	-6
	10		1	34	-6
	20		1	34	-6
	30		1	40	0
	40		2	36	-4
	50		0	44	4
	60		0	44	4
2D	pre IQ			44	
	SENSE PES		-6	24	-20
	10		-6	24	-20
	20		-6	24	-20
	30		-6	24	-20
	40		-6	26	-18
	50		-6	12	-32
	60		-6	10	-34
2E	pre IQ			40	
	SENSE PES		-1	20	-20
	10		-1	20	-20
	20		-1	20	-20
	30		-1	20	-20
	40		-2	24	-16
	50		-1.5	20	-20
	60		-1	22	-18
3D	pre IQ			15	
	SENSE PES		-4	10	-5
	10		-4	10	-5
	20		-4	10	-5
	30		-3	4	-11
	40		-1	3	-12

	50	-1	2	-13
	60	-1	5	-10
3E	pre IQ		15	
	SENSE PES	0	0	-15
	10	0	0	-15
	20	0	0	-15
	30	0	0	-15
	40	0	0	-15
	50	0	0	-15
	60	0	0	-15
4D	pre IQ		30	
	SENSE PES	-2	30	0
	10	-2	30	0
	20	-2	30	0
	30	-2	30	0
	40	-2	30	0
	50	-2	26	-4
	60	-1	27	-3
4E	pre IQ		38	
	SENSE PES	-4	20	-18
	10	-4	20	-18
	20	-4	20	-18
	30	-4	20	-18
	40	-4	24	-14
	50	-3	20	-18
	60	0	42	4
5D	pre IQ		30	
	SENSE PES	0	26	-4
	10	0	26	-4
	20	0	24	-6
	30	1	25	-5
	40	1	26	-4
	50	0	28	-2
	60	1	28	-2
5E	pre IQ		30	
	SENSE PES	0	20	-10
	10	0	20	-10
	20	0	20	-10
	30	0	20	-10
	40	0	20	-10
	50	-1	20	-10
	60	-2	18	-12
6D	pre IQ		31	
	SENSE PES	-1	10	-21

10	-2	8	-23
20	-2	13	-18
30	-3.5	18	-13
40	-2	12	-19
50	-2	12	-19
60	-0.5	8	-23
6E	pre IQ	22	
	SENSE PES	12	-10
10	-4	12	-10
20	-2.5	10	-12
30	-2.5	17	-5
40	-2	10	-12
50	-2.5	15	-7
60	-1.5	8	-14
7D	pre IQ	35	
	SENSE PES	67	32
10	-11	64	29
20	-10	65	30
30	-10	64	29
40	-9	70	35
50	-8	58	23
60	-8.5	60	25
7E	pre IQ	27	
	SENSE PES	27	-4
10	2	23	-4
20	1	16	-11
30	1	18	-9
40	1	14	-13
50	1.5	22	-5
60	1	17	-10
8D	pre IQ	23	
	SENSE PES	22	-1
10	3	20	-3
20	2.5	20	-3
30	3	22	-1
40	3	22	-1
50	3	22	-1
60	3	22	-1
8E	pre IQ	24	
	SENSE PES	19	-5
10	-5	20	-4
20	-6	17.5	-6.5
30	-6	24	0
40	-7	18	-6

50	-5.5	12	-12	
60	-6	14	-10	
9D	pre IQ	42		
	SENSE PES	-4	17	-25
10	-1.5	25	-17	
20	-1.5	23	-19	
30	-3.5	12	-30	
40	-3.5	16	-26	
50	-4	22	-20	
60	-5	20	-22	
9E	pre IQ	44		
	SENSE PES	0	42	-2
10	0	30	-14	
20	0	32	-12	
30	0	38	-6	
40	0	35	-9	
50	0	36	-8	
60	0	38	-6	
10D	pre IQ	16		
	SENSE PES	0	20	4
10	0	20	4	
20	0	20	4	
30	0	20	4	
40	0	22	6	
50	0	20	4	
60	0	23	5	
10E	pre IQ	16		
	SENSE PES	0	16	0
10	0	16	0	
20	0	16	0	
30	-2	24	8	
40	-1.5	22	6	
50	-1	22	6	
60	-0.5	20	4	
70	0	20	4	
80	0	24	8	

Annex 6: Taula de resultat de les disseccions anatòmiques. Distàncies expressades en mil·límetres.

Num.Peü	Sexe	MDDN a	MDDN a	LDDN a	MPHN a	MPHN a	FDMA a	MPDA a	MPDA a	Tenotomia adductor	Lesió			akin complet	OS MTT completa
		Portal 1	Portal 2	Portal3	Portal 1	Portal 2	Portal 3	Portal 1	Portal 2		EHL	FHL	condral		
1D	1	1.18	5.96	0.98	6.31	11.72	0.35	6.34	8.78	1	0	0	0	1	1
1E	1	1.07	6.35	1.15	6.12	15.03	0.21	6.17	9.12	1	0	0	0	1	1
2D	2	1.07	4.08	2.96	6.62	4.14	0.95	6.92	7.62	1	0	0	0	1	1
2E	2	3.74	5.86	4.74	12.43	18.01	3.05	6.83	6.9	2	0	0	0	1	1
3D	1	1.43	9.37	5.87	9.14	17.9	4.67	8.85	16.61	1	0	0	0	1	1
3E	1	4.16	9.54	3.31	7.55	23.17	1.42	8.99	23.66	1	0	0	0	1	1
4D	1	2.32	5.77	4.75	9.67	19.56	1.3	8.44	19.52	2	0	0	0	1	1
4E	1	2.1	4.76	2.02	10.76	20.94	4.56	9.01	19.81	3	0	0	0	1	1
5E	2	2.46	4.64	4.46	15.17	18.48	2.39	2.82	6.79	2	0	0	0	1	1
5D	2	1.42	5.08	3.35	12.47	17.54	2.33	9.67	6.49	1	0	0	0	1	1
6D	1	0.5	tallat	3.21	12.07	15.18	0.23	10.34	9.21	2	0	0	0	1	1
6E	1	0.7	0.98	2.93	12.25	14.75	0.31	11.13	10.21	1	0	0	0	1	1
7D	2	3.23	7.75	3.98	19.05	21.23	3.06	11.58	19.93	1	0	1	0	1	1
7E	2	3.25	3.03	5.91	17.52	21.54	2.42	12.78	15.19	1	0	0	0	1	1
8D	2	3.13	2.31	5.13	11.01	18.38	2.03	9.35	17.2	1	0	0	0	1	1
8E	2	2.09	2.79	4.29	14.01	23.07	3.16	12.29	21.55	4	0	0	0	1	1
9D	2	2.75	tallat	2.32	11.61	19.71	5.19	10.51	18.67	1	0	0	0	1	1
9E	2	2.68	2.39	2.71	10.91	23.81	6.76	10.61	13.26	1	0	0	0	1	1
10D	1	4.59	6.89	2.16	15.73	17.86	2.75	11.22	9.35	1	1	0	0	1	1
10E	1	2.16	4.78	4.69	9.6	17.37	3.93	8.55	14.49	1	0	0	0	1	1

Sexe: 1 dona, 2 home.

MDDN: nervi digital dorsal medial. LDDN: nervi digital dorsal lateral. MPHN: nervi plantar medial de l'hàl.lux. FDMA: artèria primera dorsal metatarsiana. MPDA: artèria digital plantar medial de l'hàl.lux.

Tenotomia de l'adductor: 1 completa, 2 >50%, 3 <50%, 4 indemne.

EHL: Lesió a l'extensor llarg de l'hàl.lux. Graus: 1 lleu, 2 moderat, 3 sever.

FHL: Lesió al flexor llarg de l'hàl.lux. Graus: 1 lleu, 2 moderat, 3 sever

Lesió condral: 0 no lesió, 1 presència de lesió

Osteotomia d'Akin: 1 completa, 2 parcial, 3 ós indemne. OS MTT: osteotomia del metatarsià: 1 completa, 2 parcial, 3 ós indemne

Annex 7: Copia de l'article:

A comparison of two designs of postoperative shoe for hallux valgus surgery: A biomechanical study in a cadaveric model. Navarro-Cano E, Guevara-Noriega KA, Lucar-Lopez G, Reina F, Carrera A. Foot Ankle Surg. 2021 Jan;27(1):82-86.

Doi:10.1016/j.fas.2020.02.010



A comparison of two designs of postoperative shoe for hallux valgus surgery: A biomechanical study in a cadaveric model

Ester Navarro-Cano^{a,b,c,*}, Kerbi Alejandro Guevara-Noriega^{b,d}, Gustavo Lucar-Lopez^a, Francisco Reina^c, Ana Carrera^c

^a Orthopedic Surgery Department, Mataró University Hospital, Mataró, Spain

^b Vascular Surgery Department, Consorci Corporación Sanitaria Parc Taulí, Sabadell, Spain

^c Department of Medical Sciences, Research Group on Clinical Anatomy, Embryology and Neuroscience (NEOMA), Faculty of Medicine, University of Girona, Girona, Spain

^d Jackson Memorial Hospital, General Surgery, Miami, FL, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 June 2019

Received in revised form 10 February 2020

Accepted 20 February 2020

Keywords:

Hallux valgus

Orthopedic shoe

Postoperative

Forefoot relief

Plantar pressure distribution

ABSTRACT

Background: Hallux Valgus Surgery success depends not only on the operative technique, but also on the care of the foot during the postoperative period. Orthopedic shoes have been developed to decrease the weight load on the first ray, an excess of which might lead to a loss of fixation or pseudoarthrosis.

The goal of this study was to determine how the load distribution changed as the forced applied to the foot increased, with and without an orthopedic shoe. Also, we compared to different shoe models.

Methods: Pressure sensors were placed under the first metatarsal head and the heel of twenty specimens of fresh cadaveric adult feet. Two orthopedic shoes were chosen, a double padded (MS) and a reverse camber shoe (RCS). 10 kg loads were progressively applied, up to 60 kg. We first compared three instances: no shoe, MS and RCS. A secondary analysis comparing barefoot versus shoes was performed. A mean comparison was performed (ANOVA/T-student).

Results: The mean pressure of the heel and the first metatarsal showed that there were significant differences between groups ($P < .005$). The secondary analysis (no shoe vs orthopedic shoes) showed that the pressure without shoe was significantly higher than with any orthopedic shoe ($P < .005$). There were no statistically significant differences between models of shoes ($P = .402$).

Conclusion: After a surgical procedure for hallux valgus fixation, postoperative shoes should be indicated to decrease the pressure on the first metatarsal head and heel in order to avoid an overload of the postoperative area.

Level of evidence: Cadaveric study. Level V.

© 2020 European Foot and Ankle Society. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Several operative methods exist for the treatment of a symptomatic hallux valgus, most of them based on the osteotomy of the first metatarsal bone, which can be open or percutaneous. The amount of force applied to certain areas of the foot after hallux valgus surgery might determine the success or failure of the surgery. For that reason, during the immediate postoperative weeks most surgeons prefer their patients not to or partial weightbear [1].

With the intention of reducing the pressure in specific points, orthopedic postoperative shoes are indicated. The goal of these shoes should be to decrease the force applied on the first metatarsal while, at the same time, allow the patient to walk with relative ease. Failure to do so may lead to a loss of fixation of the osteotomy, and to malunion or non-union of the osteotomy [2].

There are many different options regarding postoperative shoes, and the literature available on these devices is limited. Most of the studies available compare different kinds of postoperative shoes by studying the plantar pressure distribution using load sensors on healthy young subjects [2–7]. Other authors analyze patient satisfaction and compliance on patients who underwent forefoot surgery for hallux valgus deformities [8–10].

There is no clear evidence about which postoperative shoe is more effective in decreasing the load on the foot. We chose two

* Corresponding author at: Carretera de Cirera, 230, 08304 Mataró, Barcelona, Spain.

E-mail addresses: Ester.ncano@gmail.com, u1941520@campus.udg.edu (E. Navarro-Cano).

designs of postoperative shoe, which are the most used by foot surgeons in our environment, in order to compare them.

The goal of this study was, firstly, to determine whether these shoes would decrease the pressure on the first metatarsal head compared to a bare foot. Secondly, to determine which of these shoes would be more effective. And lastly, how the load distribution changed depending on the force applied to the foot.

2. Material and methods

An experimental model was designed for analysis of loads in two different points of the foot. First metatarsal head and heel were considered the most clinically relevant points and were selected for this analysis. The study was conducted in the experimental anatomy laboratory at Girona University between May and July 2016.

2.1. Specimens

Twenty adult fresh-frozen cadaveric feet were used in this research. Specimens were obtained from a body donation program of the university following the legal procedures and ethical framework governing the body donation in Spain. The study was conducted in the experimental anatomy laboratory.

Each specimen consisted of a whole foot and the distal third of tibia and fibula. Specimens with macroscopically visible scars, prior traumatic history or evidence of osteo-degenerative diseases were excluded. Age of specimens ranged from 62 to 84 years. Before starting the biomechanical tests, feet were thawed at room temperature.

2.2. Orthopedic shoes

Two designs of shoes were used, both from Darco (Darco International, Inc, Huntigton, West Virginia, USA). The first one was a double padded postoperative shoe, Darco MedSurg shoe™ (MS), and the second one was a reverse camber shoe, Darco OrthoWedge™ (RCS) (Fig. 1).

2.3. Measurements and instrumentation

A torque-based force bench was designed, which allowed a stable attachment of the tibia. With the ankle in neutral position, vertical force could be applied which was measured by a dynamometer (Mecmesin BFG 1000N, Mecmesin Ltd, Slinford, UK) (Fig. 2).



Fig. 1. Postoperative shoes used in the study. A: Double padded postoperative shoe, Darco MedSurg shoe™ (MS); B: Reverse camber shoe, Darco OrthoWedge™ (RCS).

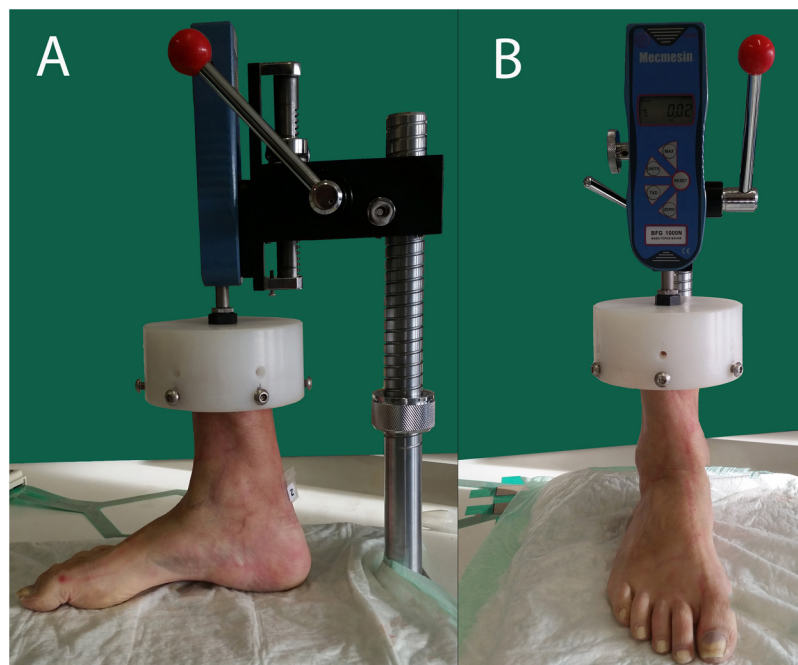


Fig. 2. Specimen attached to torque-based force bench. A: Lateral view; B: Frontal view. The vertical force applied can be measured with a dynamometer.

Barographic data were obtained using the I-Scan™ cable system. 400–1500 K-Scan Sensors (Tekscan Inc, South Boston, USA) were placed under the heel and the first metatarsal (Fig. 3). Each sensor was equipped with 62.0 sensels/cm². The data were collected by cable and analyzed by I-Scan™ Pressure Mapping System.

Measurements were performed on each foot representing three instances: no shoe, MS and RCS (Fig. 4). The load on the foot would be increased in 10 kg intervals, up to 60 kg. Readings on both the

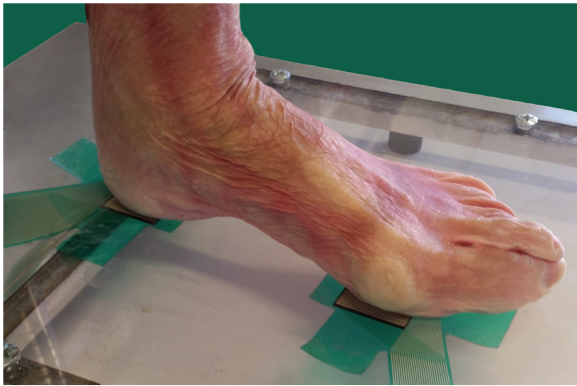


Fig. 3. Placement of the sensors under the heel and the head of the first metatarsal in a specimen.



Fig. 4. Specimen with the postoperative shoe attached to torque-based force bench. It is possible to observe the placement of the sensors for data collection between the sole of the foot and the shoe.

heel and the first metatarsal sensors were taken. Unit of measurement was Newtons (N).

2.4. Statistical analysis

The data were analyzed using SPSS software (SPSS IBM®, Chicago, USA). The data from both the heel and the first metatarsal were analyzed separately. Statistical significance was set at $P < .05$.

Two different analysis were established. First one, a comparison between 3 different groups (no shoe, MS and RCS). Three-groups ANOVA was chosen as statistical test. The second analysis compared no shoe versus orthopedic shoe, regardless of the design. Mean of loads and standard variation were calculated using one-tailed T-student.

2.5. Ethical statement

Regarding the specimens, ethical aspects were covered according the declaration of Helsinki. All specimens were anonymized, and the research project was approved by the Doctoral commission of the University.

The authors state there are no conflicts of interest. There were no funding sources.

3. Results

3.1. Heel pressures

The mean pressure of the heel was: no shoe 34.982 N, MS 19.260 N, and RCS 14.537 N. The ANOVA analysis showed that there were differences between groups ($P < .005$).

The secondary analysis (no shoe vs orthopedic shoes) showed that the pressure on the heel without shoe was significantly higher than with any orthopedic shoe ($P < .005$).

After applying a progressive load increase, no statistical differences were found with small loads (10 and 20 kg), while from 30 kg load the heel pressure decreased significantly with any orthopedic shoe (Table 1 and Fig. 5).

3.2. Metatarsal pressure

The mean pressure on the first metatarsal was: no shoe 8.824 N, MS 2.622 N, and RCS 3.185 N. The ANOVA analysis showed that there were significant differences between groups ($P < .005$).

Again, comparing bare foot and orthopedic shoe, the T-student showed that the pressure on the first metatarsal decreased significantly using any orthopedic shoe compared to no shoe.

The analysis of progressive loads showed that the differences were no significant in 10 kg and 20 kg load. However, from 30 kg onward the pressure was significantly higher in the barefoot group (Table 2 and Fig. 6).

There were no differences between models of orthopedic shoes, either MS or RCS ($P = .402$) for any of the different loads (Table 3 and Fig. 7).

Table 1
Results for Heel Pressure (N)

Weight load (kg)	No shoe	MS	RCS	P
Mean	34.982	19.260	14.537	< .005
10	12.286	7.120	5.812	.155
20	21.649	12.212	10.101	.066
30	32.392	17.014	14.110	< .005
40	40.737	22.846	16.232	< .005
50	47.219	26.006	18.379	< .005
60	56.694	30.364	22.584	< .005

Abbreviations: MS, double padded shoe; RCS, reverse chamber shoe.

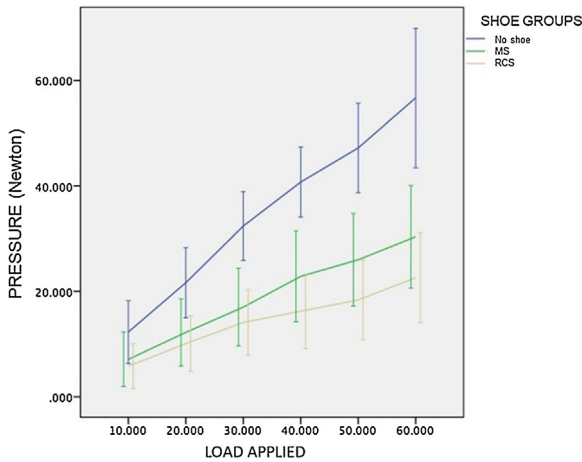


Fig. 5. Results for heel pressure.

Table 2
Results for Metatarsal Pressure (N)

Weight load (kg)	No shoe	MS	RCS	P
Mean	8.824	2.622	3.185	< .005
10	3.465	0.906	1.400	.077
20	5.063	1.295	1.936	.057
30	7.518	1.795	2.722	.041
40	9.942	2.540	3.370	.006
50	12.986	4.164	4.106	.002
60	13.973	5.032	5.578	.004

Abbreviations: MS, double padded shoe; RCS, reverse chamber shoe.

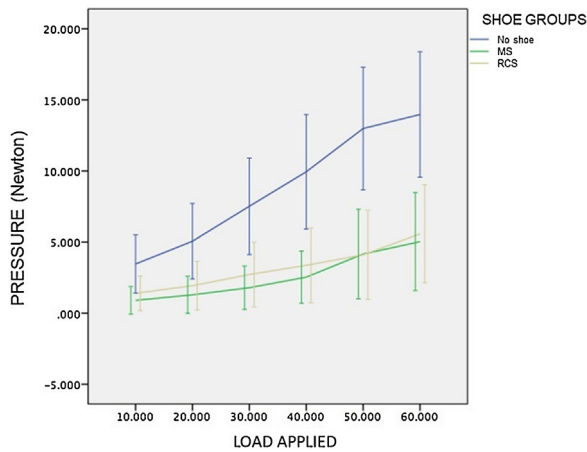


Fig. 6. Results for metatarsal pressure.

4. Discussion

Hallux valgus (HV) is the most common pathological condition on the first metatarsophalangeal joint [6,11]. For its correction many different surgical techniques have been described, from soft tissue procedures to osteotomies of the first metatarsal [2].

During the postoperative period, surgeons might allow full weightbearing with a postoperative shoe [10]. Depending on the stability of the osteotomy and the bone quality, some authors might choose to allow partial weightbearing [12] and even not weightbearing at all [11]. Although no clear evidence on the subject is available, it is clear that an excess of load on the osteotomy may lead to a loss of reduction and malunion or non-union [2].

Table 3
Metatarsal Pressure. Comparison between MS and RCS shoes.

Weight load (kg)	MS	RCS	P
Mean			.402
10	0.906	1.400	.509
20	1.295	1.936	.536
30	1.795	2.722	.484
40	2.540	3.370	.591
50	4.164	4.106	.978
60	5.032	5.578	.978

Abbreviations: MS, double padded shoe; RCS, reverse chamber shoe.

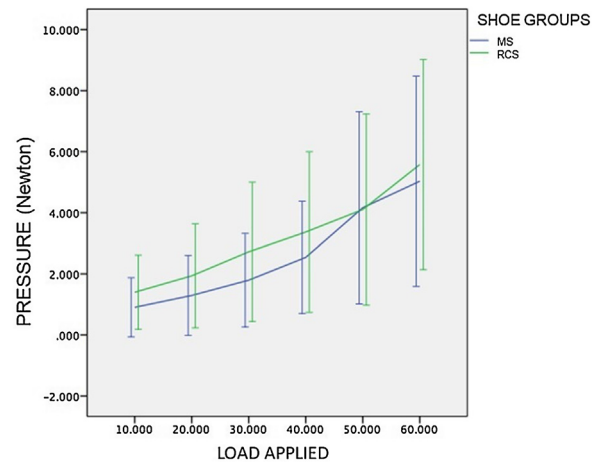


Fig. 7. Metatarsal Pressure. Comparison between the two orthopedic shoe designs.

Under normal circumstances, during barefoot standing, the forefoot carries 28% of the weightbearing load [6,14]. During the third rocker of a normal gait, the flexor hallucis longus and brevis muscles exert about 52% and 36% of body weight, respectively, and the peroneus longus muscle more than 58% of the body weight [13]. This produces an axial load on the first metatarsal head, resulting to about 119% of the body weight, making the first ray the most heavily loaded structure of the forefoot [13–15].

Because the flexible sole of an ordinary shoe increases the total area of foot contact during the stance phase, several different models of orthopedic shoes have been described to reduce the load on the first ray, as well as, on other specific areas of the foot [3,16]. Therefore, the objective of postoperative shoes is to provide a weight relief on the forefoot, allowing bony healing and diminishing the risk of loss of reduction.

Our study focused on plantar pressure distribution in bare foot and with two differently designed forefoot relief shoes. Both shoes are used frequently as a postoperative shoe in our environment, and there is no clear evidence about which one of them is more effective in decreasing the load on the first metatarsal, so the decision seems to be relying on the surgeon's personal choice.

The goal of our research was to study how the weight would be distributed in each circumstance (no shoe, MS and RCS), and if those differences would change as the load on the foot increased.

Several studies have described the use of pressure-sensitive pads in measuring the loads applied to the foot, mostly on healthy young individuals who were asked to walk with or without postoperative shoes, thus having little control on how much force was the foot receiving on each step [2–7]. Working in a cadaveric lab allowed us to apply a precise and known amount of force on each foot, therefore registering the change in distribution as the weight increased.

In our study, no differences were found between wearing a shoe or being bare foot under 30 kg load. This establishes a threshold load, under which it would not be worth using an orthopedic shoe (i.e. non weightbearing or bearing less than 30 kg). If, however, after foot surgery partial or total weightbearing is allowed, it would be advisable to use an orthopedic shoe.

As a limitation of our study, the biomechanical model we used did not allow to reproduce normal gait on the cadaveric specimen, and only axial forces were considered.

Several studies have compared different kinds of orthopedic shoes and have found various results. Trnka et al. compared three postoperative shoes on healthy subjects and found that the lowest average peak pressure under the first metatarsal was achieved with a reverse camber shoe, followed by the soft-soled postoperative shoe [11]. Schuh also found that the reverse camber shoe achieved the lowest peak pressure under the first metatarsal, but had high forces acting on the medial forefoot, however [2]. In their study a soft-soled postoperative shoe had the best results in both the forefoot and the hallux regions.

Other than providing weight relief on the forefoot, postoperative shoes should also allow the patient to walk with certain comfort. Patel et al. compared a reverse camber shoe versus a transitional rigidity shoe on patients who underwent hallux valgus surgery, and although the patients reported a similar shoe satisfaction, there was a higher incidence of back pain and non-compliance on the reverse camber shoe group [9].

In our study, although differences were found between the two shoe groups (MS and RCS) favoring the MS model, these differences were not statistically relevant. This could be due to that the difference between both shoe groups is small, and a larger sample is needed. The small number of subjects might have been a limitation in this regard.

If, according to Patel et al. article, there might be a worse compliance with reverse camber shoe, it might make a transitional rigidity shoe preferable [9].

Further research on the subject is necessary

5. Conclusions

Postoperative shoes significantly decrease the load on both the heel and the first metatarsal head when loading the foot with 30 or more kg. After a surgical procedure for hallux valgus fixation, when weightbearing is allowed, postoperative shoes should be indicated to decrease the pressure on the first metatarsal head in order to avoid an overload of the postoperative area.

No statistically relevant differences were found between the two types of shoe we studied.

Conflict of interest

Authors have no conflicts of interest or financial ties to disclose.

Funding

This research did not receive any specific grant from public, commercial or non-profit funding agencies.

References

- [1] Trnka HJ. Osteotomies for hallux valgus correction. *Foot Ankle Clin* 2005;10:15–33.
- [2] Schuh R, Trnka HJ, Sabo A, Reichel M, Kristen KH. Biomechanics of postoperative shoes: plantar pressure distribution, wearing characteristics and design criteria: a preliminary study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2011;131(2):197–203.
- [3] Carl HD, Pfander D, Swoboda B. Assessment of plantar pressure in forefoot relief shoes of different designs. *Foot Ankle Int* 2006;27(2):117–20.
- [4] Fuller E, Schroeder S, Edwards J. Reduction of peak pressure on the forefoot with a rigid rocker-bottom postoperative shoe. *J Am Podiatr Med Assoc* 2001;91(10):501–7.
- [5] Glod DJ, Fettinger P, Gibbons RW. A comparison of weightbearing pressures in various postoperative devices. *J Foot Ankle Surg* 1996;35(2):149–54.
- [6] Nyska M, McCabe C, Linge K, Laing P, Klenerman L. Effect of the shoe on plantar foot pressures. *Acta Orthop Scand* 1995;66(1):53–6.
- [7] Shereff MJ, Bregman AM, Kummer FJ. The effect of immobilization devices on the load distribution under the foot. *Clin Orthop Relat Res* 1985;192:260–7.
- [8] Hook S, Walker N, Cannon L. The used of post-operative reverse camber shoes following scarf osteotomy. *Foot Ankle Surg* 2008;14(4):190–3.
- [9] Patel S, Garg P, Fazal MA, Shahid MS, Park DH, Ray PS. A comparison of two designs of postoperative shoe on function, satisfaction, and back pain after Hallux Valgus surgery. *Foot Ankle Spec* 2019;12(3):228–32.
- [10] Sarmah SS, Hossain FS, Mishra V. Effectiveness of the reverse camber shoe in postoperative hallux valgus surgery. *Foot Ankle Spec* 2012;5(4):245–8.
- [11] Trnka HJ, Parks BG, Ivanic G, Chu IT, Easley ME, Schon LC, et al. Six first metatarsal shaft osteotomies: mechanical and immobilization comparisons. *Clin Orthop Relat Res* 2000;381:256–65.
- [12] Coughlin MJ, Smith BW. Hallux valgus and first ray mobility. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90(2):153–70.
- [13] Cavanagh PR, Rodgers MM, Liboshi A. Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. *Foot Angle* 1987;7(5):262–78.
- [14] Hessert MJ, Vyas M, Leach J, Hu K, Lipsitz LA, Novak V. Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatr* 2005;5(1):8.
- [15] Jacob HA. Forces acting in the forefoot during normal gait – an estimate. *Clin Biomech* 2001;16(9):783–92.
- [16] Giacalone VF, Armstrong DG, Ashry HR, Lavery DC, Harkless LB, Lavery LA. A quantitative assessment of healing sandals and postoperative shoes in offloading the neuropathic diabetic foot. *J Foot Ankle Surg* 1997;36(1):28–30.

Annex 8: Manuscrit de l'article:

Distal percutaneous osteotomy of the first metatarsal bone for the correction of Hallux Valgus. Comparison of two operative techniques on a cadavèric model.

Navarro-Cano E, Guevara-Noriega KA, Carrera A, Sanjuan-Castillo MA, Vizcaya S, Reina F.

Actualment en revisió editorial per Journal of Foot and Ankle Surgery.

Annex 9: Manuscrit de l'article:

Percutaneous Hallux Valgus surgery: anatomical study of its safety and effectiveness

Navarro-Cano E, Carrera A, Korschake M, Guevara-Noriega KA, Reina F.

Acceptat per publicació en *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*.

Pendent de revisió editorial de canvis menors.