

Universidad Católica de Valencia

SAN VICENTE MÁRTIR



**Universidad
Católica
de Valencia**
San Vicente Mártir

**Precisión quirúrgica en cirugía de mínima
incisión del pie mediante guías impresas en
3D**

TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR:

DÑA. NADIA FERNÁNDEZ EHRLING

DIRIGIDA POR:

DR. CARLOS BARRIOS PITARQUE

DR. JAVIER FERRER TORREGROSA

AÑO DE LA DEFENSA 2019

Dr. D. CARLOS BARRIOS PITARQUE, Profesor de Cirugía Ortopédica con Acreditación Nacional de Catedrático y Decano de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

Dr. D. JAVIER FERRER TORREGROSA, Profesor Agregado de la Facultad de Fisioterapia y Podología de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

CERTIFICAN:

Que la presente tesis doctoral titulada “Precisión quirúrgica en cirugía de mínima incisión del pie mediante guías impresas en 3D” ha sido realizada por D^a Nadia Fernández Ehrling bajo nuestra dirección, en el Programa de Doctorado Ciencias de la Salud para la obtención del título de Doctor por la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

Para que así conste a los efectos legales oportunos, se presenta esta tesis doctoral y se extiende la presente certificación en Valencia a 11 de Junio de 2019.

Fdo.: Carlos Barrios Pitarque

Fdo.: Javier Ferrer Torregrosa

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme salud, entendimiento y sabiduría, y por brindarme la oportunidad de obtener esta superación personal.

Me gustaría dejar en constancia mi agradecimiento a todas las personas y a la ilustre Universidad Católica de Valencia, que han ayudado al desarrollo de la presente tesis doctoral. Esta tesis no hubiese sido posible sin la contribución y comprensión de todo un conjunto.

Mi eterno agradecimiento a mis directores, al Doctor Carlos Barrios Pitarque por su confianza, criterio y valiosa colaboración, y al Doctor Javier Ferrer Torregrosa por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación que tanto he disfrutado, por su paciencia, motivación, y aliento. Ha sido todo un privilegio haber contado con su apoyo, guía y ayuda.

Dar las gracias a mi familia. A mis padres y a mi hermana, por ser mi gran ejemplo a seguir, vuestro amor, apoyo y valores han hecho que hoy en día me encuentre agradeciendo este triunfo.

El último párrafo lo dedico a mi marido Vicente. Has sido mi piedra angular durante todos estos años. Te lo he dicho muchas veces: “sin ti, no hubiese sido posible” y es verdad. Has sabido capear el temporal como nadie y me has animado en los momentos más difíciles. Gracias por hacerlo posible.

A todos, sinceramente, gracias.

RESUMEN

Objetivo

Actualmente existen diferentes técnicas quirúrgicas para tratar de manera definitiva la patología del *hallux valgus*. Éstas técnicas se clasifican en técnicas abiertas y en técnicas de mínima incisión. Para este estudio doctoral nos hemos centrado en las técnicas de mínima incisión para el *hallux valgus*, con ciertas ventajas tales como el ínfimo daño que se provocan en las partes blandas, pero que presentan una serie de desventajas tales como la poca visualización del campo quirúrgico a tratar, la utilización constante del fluoroscopio intraoperatorio, o la dificultad de la técnica que conlleva a que podólogos con poca experiencia quirúrgica puedan tener ciertas complicaciones durante la cirugía y en el postoperatorio, es por ello que durante el desarrollo de esta tesis doctoral hemos diseñado y validado una guía quirúrgica impresa en 3D para realizar las técnicas de cirugía de mínima incisión del pie, y con ello poder reducir algunos de los inconvenientes a los que se ven sometidos los podólogos con experiencia, y poder reducir notablemente las complicaciones de los podólogos sin experiencia quirúrgica. Además, hemos estimado comparar los resultados radiográficos obtenidos en el pre y en el postquirúrgico con las guías quirúrgicas completas en esqueléticos y pies anatómicos, y con la guía quirúrgica estándar para pies anatómicos, comprobando de esta forma si la utilización de la guía quirúrgica interviene en la curva de aprendizaje de los resultados obtenidos.

Métodos

Los ensayos quirúrgicos de mínima incisión con las guías impresas en 3D fueron realizadas desde el año 2016 hasta el año 2018 en la sala de Disección de la Facultad de Medicina de Valencia, en la sede de Herbitas Foios, y en la sala de disección de la Sede de San Carlos de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir, con colaboraciones de podólogos expertos en cirugía MIS (Minimal Incision Surgery) del pie con más de 15 años de experiencia, podólogos con mínima experiencia quirúrgica, podólogos estudiantes del Master Universitario de Cirugía de Mínima Incisión del Pie para Podólogos, y estudiantes del Grado de Podología.

La muestra comprende 15 esqueléticos de resina expansiva, y 33 pies anatómicos. Todos los pies esqueléticos y anatómicos presentaban la patología de *hallux valgus*. Los datos se analizaron en conjunto, comprobando las mediciones de la osteotomías realizadas en el preoperatorio y en el postoperatorio de todas las muestras, dividiendo los procedimientos en un primer ensayo sobre 15 esqueléticos de resina con guía completa quirúrgica impresa en 3D, un segundo ensayo sobre un pie anatómico con la guía completa quirúrgica en la que se imprimieron varios modelos para probar el tipo de cierre del guante, un tercer ensayo con un pie anatómico con guía quirúrgica completa y cierre diseñado, un cuarto ensayo con un pie anatómico con guía quirúrgica completa impresa con todas las mejoras analizadas en el tercer ensayo, y un quinto y último ensayo con 30 pies anatómicos utilizando la guía quirúrgica estándar.

En la totalidad de las muestras llevamos a cabo la técnica de mínima incisión en el primer radio que constaba de una osteotomía de cierre en la base del primer metatarsiano, osteotomía de *Akin* y osteotomía de *Reverdin*, exceptuando en las piezas anatómicas operadas con la guía estándar quirúrgica en las que solamente realizamos osteotomías de *Akin* y *Reverdin*. A todas las muestras se le realizaron radiografías y tomografías axiales computarizadas en el prequirúrgico y en el postquirúrgico para comprobar que el diseño previo de la cirugía coincidía con las técnicas realizadas en el postoperatorio. Además, se realizaron análisis estadísticos de todas las mediciones de las osteotomías realizadas en las piezas anatómicas anteriormente citadas.

Resultados

Todos los resultados obtenidos de las cirugías realizadas en las muestras con las guías impresas en 3D fueron satisfactorios y se realizaron en el lugar anatómico correcto, aunque en el segundo ensayo pudimos observar que en algunas osteotomías quedaban corticales laterales intactas sin llegar a realizarse de forma completa, por lo que se estudió alargar la longitud de la guía para los siguientes ensayos. Por último, en el tercer ensayo concretamos la necesidad de realizar el TAC (Tomografía Axial Computarizada) prequirúrgico con el pie anatómico previamente descongelado para evitar desviaciones de las osteotomías realizadas con respecto a las diseñadas, aunque la desviación de cada osteotomía tuvo un error de menos de 0,5mm.

Conclusiones y recomendaciones

De conformidad con los resultados obtenidos podemos establecer que se ha diseñado y validado el primer guante quirúrgico impreso en 3D para cirugía mínimamente invasiva del antepié, que se han comparado todos los resultados radiográficos donde se observan que todas las mediciones son menores a 3mm., y que el podólogo sin destreza quirúrgica puede realizar las osteotomías del antepié sin fallo intraoperatorio y en la localización anatómica exacta. Para finalizar podemos concretar que se deben mejorar las guías quirúrgicas, tal y como hemos planteado en la segunda prueba de concepto con guía quirúrgica completa, para que la fresa de corte pueda llegar a todas las corticales y pueda tener un movimiento bascular.

Palabras clave

Cirugía mínimamente invasiva, cirugía percutánea, osteotomía *Reverdin-Isham*, *hallux valgus*, impresión 3D, guía quirúrgica.

ABSTRACT

Objective

Currently there are different surgical techniques to definitively treat the *hallux valgus* pathology. These techniques are classified into open techniques and minimal incision techniques. For this doctoral study we have focused on minimal incision techniques for *hallux valgus*, with particular advantages such as the minimal damage caused to the soft tissues, but presenting a number of drawbacks such as the poor visualisation of the surgical field to be treated, the constant use of intraoperative fluoroscopy, or the difficulty of the technique that leads to podiatrists with little surgical experience may have certain complications during surgery and in the postoperative period. It is for this reason that during the development of this doctoral thesis we have designed and validated a surgical guide printed in 3D to perform the techniques of minimally incision foot surgery, and thereby reduce some of the disadvantages to which experienced podiatrists are subjected, and significantly reduce the complications of podiatrists without surgical experience. In addition, we have considered comparing the radiographic results obtained in pre and post-surgery with the complete surgical guides in skeletal and anatomical feet, and with the standard surgical guide for anatomical feet, thus checking whether the use of the surgical guide intervenes in the learning curve of the results obtained.

Methods

The minimal incision surgical trials with printed 3D guides were performed from 2016 to 2018 in the dissection room of the Faculty of Medicine of Valencia, in the headquarters of Herbitas Foios, and in the dissection room of the headquarters of San Carlos of the Catholic University of Valencia San Vicente Mártir, with the collaboration of podiatrists who are experts in MIS (Minimal Incision Surgery) foot surgery with more than 15 years of experience, podiatrists with minimal surgical experience, podiatrists who are students of the Master of Minimal Incision Foot Surgery for Podiatrists, and

students of the Degree in Podiatry.

The sample comprises 15 expanding resin skeletal feet and 33 anatomical feet. All skeletal and anatomical feet had hallux valgus pathology. The data were analysed as a whole, checking the osteotomy measurements made in the preoperative and postoperative of all the samples, dividing the procedures in a first essay on 15 resin skeletal feet with complete surgical guide printed in 3D, a second essay on an anatomical foot with the complete surgical guide in which several models were printed to test the type of glove closure, a third trial with an anatomical foot with complete surgical guide and designed closure, a fourth trial with an anatomical foot with complete surgical guide printed with all the improvements analysed in the third trial, and a fifth and final trial with 30 anatomical feet using the standard surgical guide.

In all the samples, we performed the technique of minimal incision in the first radius consisting of a closing osteotomy at the base of the first metatarsal, *Akin* osteotomy and *Reverdin* osteotomy, except in the anatomical pieces operated with the standard surgical guide in which we only performed *Akin* and *Reverdin* osteotomies. All samples had computerised X-rays and axial tomographies in the preoperative and postoperative to verify that the previous design of the surgery coincided with the techniques performed in the postoperative period. In addition, statistical analyses were performed on all osteotomy measurements performed on the anatomical pieces.

Results

All the results obtained from the surgeries performed on the samples with the guides printed in 3D were satisfactory and were performed in the correct anatomical location, although in the second trial we could observe that some osteotomies there were lateral cortical osteotomies left intact without being performed completely, so it was studied to extend the length of the guide for the following trials. Finally, in the third trial we specified the need to perform the preoperative CAT (Computerised Axial Tomography) with the anatomical foot previously thawed to avoid deviations of the

osteotomies performed with respect to those designed, although the deviation of each osteotomy had an error of less than 0.5 mm.

Conclusions and recommendations

In accordance with the results obtained we can establish that the first 3D printed surgical glove for minimally invasive forefoot surgery has been designed and validated, that all radiographic results have been compared where it is observed that all measurements are less than 3 mm, and that the podiatrist without surgical skill can perform forefoot osteotomies without intraoperative failure and in the exact anatomical location. Finally, we can specify that the surgical guides should be improved, as we have proposed in the second proof of concept with complete surgical guide, so that the milling cutter can reach all cortexes and can have a rocking movement.

Keywords

Minimally invasive surgery, percutaneous surgery, *Reverdin-Isham* osteotomy, *hallux valgus*, 3D impression, surgical guide

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	25
1.1. El Pie.....	26
1.1.1. El pie como estructura tridimensional.....	27
1.2. Antepié: Anatomía quirúrgica.....	29
1.2.1. Anatomía quirúrgica de los abordajes aplicados en la primera articulación metatarsofalángica	29
1.2.2. Anatomía de los abordajes quirúrgicos de las articulaciones metatarsofalángicas	30
1.3. Historia de la cirugía percutánea del pie	30
1.4. Biomecánica del Primer Radio	32
1.4.1. Fuerzas reactivas.....	34
1.4.2. Los sesamoideos	35
1.4.3. Elemento falangicosesamoideo	35
1.4.4. Primer radio, órgano del rendimiento	36
1.5. Patología <i>hallux valgus</i> y recuerdo anatómico.....	38
1.6. Etiología del <i>hallux valgus</i>	38
1.6.1. Factores Intrínsecos	42
1.6.2. Factores extrínsecos.....	46
1.7. Sintomatología.....	46
1.8. Criterios pre-quirúrgicos del primer radio.....	47
1.8.1. Criterios clínicos	47
1.8.2. Hallazgos radiográficos	48
1.8.3. Criterios quirúrgicos.....	48
1.9. Protocolo quirúrgico	49
1.9.1. Protocolo pre-quirúrgico.....	50
2. MARCO TEÓRICO	53
2.1. <i>Hallux valgus</i> : anatomía patológica.....	53
2.2. <i>Hallux valgus</i> : fisiopatología	54
2.3. <i>Hallux valgus</i> : Examen Radiográfico	57

2.3.1.	Principales proyecciones radiográficas	58
2.3.2.	. Aspectos radiográficos del Hallux Valgus.....	59
2.3.3.	Estudio radiográfico del primer radio: Hallux valgus	60
2.4.	Tratamiento quirúrgico del <i>hallux valgus</i> : Técnicas de mínima incisión.....	73
2.4.1.	Cirugía mínimamente invasiva del antepié.....	73
2.5.	Cirugía mínimamente invasiva del <i>hallux valgus</i> : complicaciones	83
2.6.	Guía quirúrgica impresa en 3D para cirugía mínimamente invasiva	84
2.6.1.	Diagnósticos por imagen.....	85
2.6.2.	Nuevas tecnologías y avances en la cirugía de mínima incisión del pie	86
3.	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	89
4.	HIPÓTESIS	93
5.	OBJETIVOS	95
5.1.	Objetivo principal.....	95
5.2.	Objetivos secundarios.....	95
6.	MATERIAL Y MÉTODOS	97
6.1.	Instrumental utilizado para todas las técnicas	97
6.2.	Muestra para cada una de las técnicas.....	97
6.3.	Fase 1: Diseño conceptual, validación de las guías de corte en esqueléticos, y proceso de obtención de un prototipo.....	98
6.3.1.	Validación de la guía quirúrgica obtenida en la primera fase.....	103
6.4.	Fase 2:Diseño a medida del guante quirúrgico completo personalizado e impreso 3D	
6.4.1.	Características del diseño de la guía quirúrgica completa personalizada e impresa en 3D.....	105
6.4.2.	Primera prueba de concepto: ensayo quirúrgico con el primer guante completo en 3D	109
6.4.3.	Segunda prueba de concepto: ensayo quirúrgico con el segundo guante completo en 3D	113
6.4.4.	Tercera prueba de concepto: ensayo quirúrgico con el tercer guante completo en 3D.....	120
6.5.	Fase 3: Diseño y obtención de la guía quirúrgica estándar	129

6.5.1.	Características del diseño de la guía estándar quirúrgica.....	130
6.5.2.	Ensayo quirúrgico en piezas anatómicas sin guía estándar y con guía estándar.....	135
6.6.	Análisis estadístico.....	136
7.	RESULTADOS.....	137
7.1.	Prueba con esqueléticos.....	137
7.1.	Ensayo con Guante 1 a medida	148
7.2.	Ensayo con Guante 2 a medida	151
7.3.	Prueba con Guante 3 a medida	162
7.1.	Prueba sobre cadáver con guía estándar	167
8.	DISCUSIÓN.....	177
8.1.	Técnica quirúrgica de mínima incisión para la deformidad <i>hallux valgus</i>	178
8.2.	Complicaciones en la técnica quirúrgica de mínima incisión del pie para <i>hallux valgus</i>	178
8.3.	Nuevas tecnologías y avances quirúrgicos: guías quirúrgicas impresas en 3D	181
8.4.	Guante quirúrgico impreso en 3D	183
9.	CONCLUSIONES OBTENIDAS.....	185
10.	BIBLIOGRAFÍA	187

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: ANATOMÍA FUNCIONAL DEL PIE ADULTO CON MOVIMIENTOS DE EVERSIÓN.....	28
ILUSTRACIÓN 2: ANATOMÍA FUNCIONAL DEL PIE ADULTO CON MOVIMIENTOS DE INVERSIÓN	28
ILUSTRACIÓN 3: EVALUACIÓN CLÍNICA CUANTITATIVA DE LA MOVILIDAD DE LA PRIMERA ARTICULACIÓN TARSOMETATARSIANA EN EL PLANO SAGITAL Y SU RELACIÓN CON LA DEFORMIDAD DEL HALLUX VALGUS (66).....	55
ILUSTRACIÓN 4: ANÁLISIS DE LA MARCHA CON SUS FASES Y VARIABLES ESPACIO-TEMPORALES (68).....	56
ILUSTRACIÓN 5: CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA. TÉCNICAS DE VIDEOGRAMETRÍA, ELECTROMIOGRAFÍA Y DINAMOMETRÍA (69).....	57
ILUSTRACIÓN 6: ASPECTO RADIOGRÁFICO DEL PRIMER RADIO (73)	60
ILUSTRACIÓN 7: ÁNGULO INTERMETATARSAL ENTRE PRIMER Y SEGUNDO METATARSIANO.	63
ILUSTRACIÓN 8: ÁNGULO HALLUX ABDUCTUS VALGUS Y ÁNGULO INTERFALÁNGICO DEL HALLUX.	64
ILUSTRACIÓN 9: ÁNGULO ARTICULAR PRÓXIMAL.	65
ILUSTRACIÓN 10: CONGRUENCIA DE LA ARTICULACIÓN METATARSOFALENGICA.....	66
ILUSTRACIÓN 11: EXOSTOSIS MEDIAL DE LA PRIMERA CABEZA METATARSAL.	67
ILUSTRACIÓN 12: MEDICIÓN DE LA LONGITUD DEL PRIMER METATARSIANO.....	68
ILUSTRACIÓN 13: POSICIÓN DEL SESAMOIDEO MEDIAL.	69
ILUSTRACIÓN 14: ÁNGULO DE LA PRIMERA ARTICULACIÓN CUNEOMETATARSIANA.	70
ILUSTRACIÓN 15: ÁNGULO INTERFALÁNGICO DEL PRIMER RADIO.....	71
ILUSTRACIÓN 16: ÁNGULO DE DIVERGENCIA ARTICULAR FALÁNGICO.	72
ILUSTRACIÓN 17: TÉCNICA QUIRÚRGICA REVERDIN-ISHAM.	75
ILUSTRACIÓN 18: RADIOGRAFÍA AP DEL ANTEPIÉ: PRE Y POSTOPERATORIA CON TÉCNICA QUIRÚRGICA PERCUTÁNEA REVERDIN- ISHAM. (89)	76
ILUSTRACIÓN 19: OSTEOTOMÍA CHEVRON, TÉCNICA DE CORTE DIRIGIDA HACIA LA CABEZA DEL TERCER METATARSIANO.	79
ILUSTRACIÓN 20: VISTA LATERAL DE LA OSTEOTOMÍA CHEVRON CON UNA EXTREMIDAD SUPERIOR Y UN ÁNGULO DISTAL- PLANTAR MAYORES, LO QUE PERMITE UNA MAYOR LONGITUD Y DESPLAZAMIENTO PLANTAR	79
ILUSTRACIÓN 21: CORRECCIÓN DEL ÁNGULO ARTICULAR METATARSAL DISTAL (A). LA AGUJA KIRSCHNER SE INSERTA EN EL TEJIDO BLANDO CON UNA INCLINACIÓN MEDIAL-LATERAL DE ACUERDO CON LA CORRECCIÓN DEL ÁNGULO ARTICULAR METATARSAL DISTAL (B). (105).....	81
ILUSTRACIÓN 22: RADIOGRAFÍA POSTOPERATORIA DE UN HALLUX VALGUS MANIPULADO MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE UNA OSTEOTOMÍA MEDIANTE TÉCNICA MÍNIMAMENTE INVASIVA CON FIJACIÓN MEDIANTE DOS AGUJAS KIRSCHNER CRUZADAS.(106).....	82
ILUSTRACIÓN 23: DISEÑO DEL GUANTE QUIRÚRGICO EN 3D CON SUS GUÍAS PARA LAS OSTEOTOMÍAS DE MÍNIMA INVASIÓN. 88	
ILUSTRACIÓN 24: DISEÑO DE LAS GUÍAS QUIRÚRGICAS.	98
ILUSTRACIÓN 25: PIEZA ESQUELÉTICA DE RESINA EXPANSIVA CON DIFERENTES PATOLOGÍAS DE ANTEPIÉ.	99

ILUSTRACIÓN 26: MOLDES DE PLASTILINA PARA SIMULAR PIE DEL PACIENTE.	99
ILUSTRACIÓN 27: DISEÑO DE LAS OSTEOTOMÍAS EN AUTODESK MAYA.	100
ILUSTRACIÓN 28: DISEÑO DE LAS OSTEOTOMÍAS REVERDIN, AKIN Y BASE CON EL PROGRAMA AUTODESK MAYA v14	101
ILUSTRACIÓN 29: DISEÑO DE LAS OSTEOTOMÍAS REVERDIN, AKIN Y BASE CON EL PROGRAMA AUTODESK MAYA v14	101
ILUSTRACIÓN 30: OBTENCIÓN DEL GUANTE VIRTUAL CON SUS GUÍAS QUIRÚRGICAS PARA LAS OSTEOTOMÍAS REVERDIN, AKIN Y BASE CON EL PROGRAMA AUTODESK MAYA v14.....	102
ILUSTRACIÓN 31: GUANTE QUIRÚRGICO IMPRESO EN RESINA OSETANA, CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS Y TOPES DE PROFUNDIDAD DE CORTE.	102
ILUSTRACIÓN 32: MEDIDAS REALIZADAS MEDIANTE EL SOFTWARE NETFABB DE LAS OSTEOTOMÍAS REVERDIN, AKIN Y BASE	104
ILUSTRACIÓN 33: IMAGEN EN 3D DEL PIE PATOLÓGICO EN EL QUE SE OBSERVA LA ESTRUCTURA ÓSEA PARA PROYECTAR VIRTUALMENTE LAS MEDICIONES, PLANIFICACIONES Y SIMULACIONES DE LAS TÉCNICAS QUIRÚRGICAS A REALIZAR MEDIANTE UN SOFTWARE PROPIO.	107
ILUSTRACIÓN 34: GUANTE QUIRÚRGICO PERSONALIZADO E IMPRESO EN 3D CON LAS GUÍAS QUIRÚRGICAS.....	108
ILUSTRACIÓN 35: PIE DERECHO ANATÓMICO PARA LA PRIMERA PRUEBA DE CONCEPTO.....	109
ILUSTRACIÓN 36: DISEÑO PREVIO DE LAS TÉCNICAS QUIRÚRGICAS A REALIZAR SOBRE PIE DE RESINA EXPANSIVA CON DIFERENTES PATOLOGÍAS DE ANTEPIÉ.....	110
ILUSTRACIÓN 37: MODELO GUANTE COMPLETO QUIRÚRGICO IMPRESO EN 3D TIPO VELCRO.	112
ILUSTRACIÓN 38: GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO IMPRESO EN 3D	112
ILUSTRACIÓN 39: GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO IMPRESO EN 3D	112
ILUSTRACIÓN 40: GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO IMPRESO EN 3D TIPO VELCRO.....	113
ILUSTRACIÓN 41: GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO IMPRESO EN 3D CON CIERRES PALOMETA DISEÑADO PARA UN PIE IZQUIERDO ANATÓMICO	114
ILUSTRACIÓN 42: DISEÑO DE LAS OSTEOTOMÍAS INCOMPLETAS PREQUIRÚRGICAS DEL PIE ANATÓMICO IZQUIERDO.	115
ILUSTRACIÓN 43: ANCLAJES DE LAS DOS PORCIONES DEL GUANTE CON PALOMETAS.....	116
ILUSTRACIÓN 44: CIERRE MACHICHEMBRADO DE FÁCIL EXTRACCIÓN.....	116
ILUSTRACIÓN 45: PIEZA ENCARGADA DE MEDIR LA PROFUNDIDAD EN LAS GUÍAS DE CORTE.....	117
ILUSTRACIÓN 46: IMAGEN TAC PRE Y POSTQUIRÚRGICA DEL PIE ANATÓMICO DERECHO SUPERPUESTAS.....	118
ILUSTRACIÓN 47: PLANIFICACIÓN DE LA LONGITUD EN PROFUNDIDAD DE LA FRESA DE CORTE CON TOPE PARA REALIZAR LAS OSTEOTOMÍAS.	119
ILUSTRACIÓN 48: CALCULO MEDIANTE EL SOFTWARE PARA LA PROFUNDIDAD DE LA FRESA DE CORTE.....	119
ILUSTRACIÓN 49: PIE ANATÓMICO DERECHO ESPÉCIMEN 566 CON ELEMENTOS RADIOPACOS PARA LA INSERCIÓN DE LAS AGUJAS KIRSCHNER.	120
ILUSTRACIÓN 50: MESA QUIRÚRGICA.....	122
ILUSTRACIÓN 51: FLUOROSCOPIO CEDIDO POR HERBITAS.....	122
ILUSTRACIÓN 52: COLOCACIÓN DEL GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO AL PIE ANATÓMICO.....	123

ILUSTRACIÓN 53: GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO AJUSTADO AL PIE ANATÓMICO Y CERRADO.	124
ILUSTRACIÓN 54: DETALLE DEL CIERRE DEL GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO.	124
ILUSTRACIÓN 55: INTRODUCCIÓN DE AGUJAS KIRSCHNER POR LOS ORIFICIOS DISEÑADOS EN EL GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO.	125
ILUSTRACIÓN 56: CONTROL FLUOROSCÓPICO DE LAS AGUJAS KIRSCHNER.	126
ILUSTRACIÓN 57: CONTROL FLUOROSCÓPICO DE LAS AGUJAS KIRSCHNER.	126
ILUSTRACIÓN 58: INTRODUCCIÓN DE LA FRESA SHANON ISHAM EN EL AGUJERO GUÍA CON SUS TOPES CORRESPONDIENTES.	127
ILUSTRACIÓN 59: IMAGEN FLUOROSCÓPICA EN LA QUE SE OBSERVA LA OSTEOTOMÍA INCOMPLETA DE REVERDIN.	128
ILUSTRACIÓN 60: IMAGEN FLUOROSCÓPICA EN LA SE OBSERVA LA OSTEOTOMÍA DE AKIN.	128
ILUSTRACIÓN 61: DISEÑO DE LA GUÍA ESTÁNDAR PARA LAS OSTEOTOMÍAS AKIN Y REVERDÍN, CON SUS DOS QUÍAS A LOS EXTREMOS PARA LA INSERCIÓN DE LAS AGUJAS KIRSCHNER.	131
ILUSTRACIÓN 62: DISEÑO DE LA GUÍA ESTÁNDAR PARA LAS OSTEOTOMÍAS AKIN Y REVERDIN CON LAS LÍNEAS DE CORTE REPRESENTADAS.	132
ILUSTRACIÓN 63: DISEÑO DE LA GUÍA ESTÁNDAR CON LAS OSTEOTOMÍAS AKIN Y REVERDIN, Y LA DISTANCIA ENTRE ELLAS.	133
ILUSTRACIÓN 64: MEDICIONES RADIOGRÁFICAS POSTQUIRÚRGICAS DE LAS LÍNEAS PASA Y DASA CON EL PROGRAMA OSIRIX.	135
ILUSTRACIÓN 65: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFM1 POR GRUPO.	142
ILUSTRACIÓN 66: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFM2 POR GRUPO.	143
ILUSTRACIÓN 67: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFM3 POR GRUPO.	143
ILUSTRACIÓN 68: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFM4 POR GRUPO.	144
ILUSTRACIÓN 69: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DIFM5 POR GRUPO.	145
ILUSTRACIÓN 70: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE POR DIFM6 POR GRUPO.	145
ILUSTRACIÓN 71: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE POR DIFALFA POR GRUPO.	146
ILUSTRACIÓN 72: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFCORT1 POR GRUPO.	147
ILUSTRACIÓN 73: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFCORT2 POR GRUPO.	147
ILUSTRACIÓN 74: GRÁFICO CON DIFERENCIAS ENTRE LOS RESULTADOS DEL PRE Y DEL POSTQUIRÚRGICO OBTENIDOS EN EL ENSAYO CON EL GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO 1.	150
ILUSTRACIÓN 75: GRÁFICO DE DIFERENCIAS ENTRE PRE Y POSTQUIRÚRGICO CON GUANTE 2.	154
ILUSTRACIÓN 76: OQUEDAD EN LA BASE DEL PRIMER METATARSIANO DEBIDO AL MOVIMIENTO DE LA FRESA AL CAMBIAR LA DIRECCIÓN DE CORTE.	156
ILUSTRACIÓN 77: OSTEOTOMÍA DE REVERDIN INCOMPLETA EN LA QUE SE PUEDE OBSERVAR COMO LA CORTICAL PLANTAR QUEDA INTACTA.	156
ILUSTRACIÓN 78: OSTEOTOMÍA DE REVERDIN INCOMPLETA POR SU CORTICAL PLANTAR.	157
ILUSTRACIÓN 79: MEDICIÓN DEL AKIN AL REVERDIN POR DORSAL.	158
ILUSTRACIÓN 80: MEDICIÓN DEL REVERDIN A LA ARTICULACIÓN, Y DE LA HENDIDURA DE LA PRIMERA CUÑA REPRESENTADO EN	

COLOR NARANJA.	158
ILUSTRACIÓN 81: MEDICIÓN DE LA OSTEOTOMÍA CAPITAL DE LA SEGUNDA FALANGE EN SU BASE.....	159
ILUSTRACIÓN 82: MEDICIÓN DE LA BASE PROXIMAL DEL PRIMER METATARSIANO HASTA LA OSTEOTOMÍA DE BASE.	159
ILUSTRACIÓN 83: MEDICIÓN DE LA OSTEOTOMÍA DE BASE HASTA EL REVERDIN POR DORSAL.	160
ILUSTRACIÓN 84: MEDICIÓN DE LAS OSTEOTOMÍAS DEL 5º RADIO.....	160
ILUSTRACIÓN 85: MEDICIÓN DE LA OSTEOTOMÍA DE LA FALANGE PROXIMAL DEL 5º A LA OSTEOTOMÍA CAPITAL DEL 5º METATARSIANO.	161
ILUSTRACIÓN 86: GRÁFICO DE DIFERENCIAS ENTRE EL PRE Y EL POSQUIRÚRGICO DEL GUANTE 3	165
ILUSTRACIÓN 87: VISUALIZACIÓN FLUOROSCÓPICA DE OSTEOTOMÍAS DIFERENTES REALIZADAS EN EL MISMO LUGAR ANATÓMICO.....	165
ILUSTRACIÓN 88: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFERENCIA MEDIDA ENTRE AKIN MEDIAL 1 POR GRUPO.	171
ILUSTRACIÓN 89: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFERENCIA MEDIDA LATERAL 1 POR GRUPO.....	172
ILUSTRACIÓN 90: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFERENCIA MEDIDA REVERDIN MEDIAL POR GRUPO.	172
ILUSTRACIÓN 91: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFERENCIA MEDIDA REVERDIN LATERAL 4 POR GRUPO.	173
ILUSTRACIÓN 92: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFERENCIA MEDIDA DE AKIN A REVERDIN POR GRUPO.....	174
ILUSTRACIÓN 93: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFERENCIA MEDIDA ENTRE AKIN Y REVERDIN LATERAL POR GRUPO.	174
ILUSTRACIÓN 94: DIAGRAMA DE CAJAS SIMPLE DE DIFERENCIA EN ÁNGULO ENTRE AKIN Y REVERDIN POR GRUPO.	175

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: DESCRIPTIVOS DE LA RESTA DEL PREQUIRÚRGICO Y LAS MEDICIONES DE LAS OSTEOTOMÍAS REVERDIN Y AKIN	138
TABLA 2: DESCRIPTIVOS DE TODAS LAS MEDICIONES	139
TABLA 3: PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS PARA TODAS LAS MEDICIONES	140
TABLA 4: PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS Y VARIABLE DE AGRUPACIÓN; GRUPO.....	141
TABLA 5: PRUEBA DE RANGOS CON DIFERENCIAS ENTRE EL PRE Y EL POSTQUIRÚRGICO.....	149
TABLA 6: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA ESPECIMEN A.	150
TABLA 7: ESTADÍSTICOS DE MUESTRAS RELACIONADAS PARA ESPECIMEN A.	150
TABLA 8: CORRELACIONES DE MUESTRAS RELACIONADAS ESPECIMEN A.	151
TABLA 9: PRUEBA DE RANGOS CON DIFERENCIA ENTRE PRE Y POSTQUIRÚRGICOS	153
TABLA 10: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE MUESTRAS RELACIONADAS.....	154
TABLA 11: CORRELACIONES DE MUESTRAS RELACIONADAS.	154
TABLA 12: PRUEBA DE MUESTRAS RELACIONADAS ENTRE EL PRE Y EL POSTQUIRÚRGICO.....	155
TABLA 13: PRUEBA DE MUESTRAS RELACIONADAS ENTRE EL PRE Y EL POSTQUIRÚRGICO.....	155
TABLA 14: OSTEOTOMÍA DE AKIN.....	157
TABLA 15: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS ENTRE EL PRE Y EL POSTQUIRÚRGICO CON EL GUANTE QUIRÚRGICO COMPLETO 2. .	161
TABLA 16: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL GUANTE 3	162
TABLA 17: ESTADÍSTICOS DE MUESTRAS RELACIONADA PARA EL GUANTE 3.	162
TABLA 18: CORRELACIONES DE MUESTRAS RELACIONADAS PARA EL GUANTE 3.	163
TABLA 19: PRUEBA DE MUESTRAS RELACIONADAS PARA EL GUANTE 3.....	163
TABLA 20: PRUEBA DE MUESTRAS RELACIONADAS PARA EL GUANTE 3.	163
TABLA 21: DIFERENCIAS MEDIDAS ENTRE EL PRE Y EL POSTQUIRÚRGICO DEL GUANTE 3.....	164
TABLA 22: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS GUANTE 3.....	166
TABLA 23: PRUEBA DE KRUSKAL WALLIS.....	166
TABLA 24: ESTADÍSTICOS DE CONTRASTE A-B.	166
TABLA 25: DESCRIPTIVOS DE LAS MEDIDAS TOMADAS EN LAS PIEZAS ANATÓMICAS	167
TABLA 26: RESTA DE LOS VALORES DE LA PLANTILLA QUIRÚRGICA.....	168
TABLA 27: PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS	169
TABLA 28: ESTADÍSTICOS DE PRUEBA.....	170

ABREVIATURAS

3D	Imagen tridimensional
TAC	Tomografía Axial Computarizada
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
DICOM	<i>Digital Imaging and Communication in Medicine</i>
MIS	<i>Minimal Incision Surgery</i>
HV	<i>Hallux valgus</i>
HAV	<i>Hallux abductus valgus</i>
M2	Metatarsiano segundo
MTF1	Primera metatarsofalángica
HVIF	<i>Hallux valgus</i> interfalángico
DMAA	Ángulo distal de la articulación metatarsofalángica
PASA	<i>Proximal Articular Set Angle</i>
DASA	<i>Distal Articular Set Angle</i>
ASA	Articulación subastragalina
A.S.A.	<i>American Society of Anesthesiologist</i>
S.E.R.I.	<i>Simple, Effective, Rapid, Inexpensive</i>
FFS	<i>Feet First Supine</i>
Q1	Quartil primero
Q3	Quartil tercero

1. INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, los problemas patológicos del pie han estado en continuo estudio y latente controversia acerca de las diferentes técnicas quirúrgicas a emplear, para las diferentes afecciones y deformaciones del pie (1).

El *hallux valgus* es una de las patologías más comunes del antepié. Esta patología está definida como una desviación lateralizada del *hallux*, acompañada de una compleja alteración que incluye el *bunion* o exostosis de la cabeza del 1º metatarsiano, desviación en varo del 1º metatarsiano, movimiento pronatorio del 1º radio, subluxación de los huesos sesamoideos y subluxación de la articulación metatarsofalángica. Según estudios, el 85% de los pacientes con esta patología tienen un familiar directo que la padecen. El tratamiento no quirúrgico de esta patología no es satisfactorio, teniendo como único objetivo aliviar la sintomatología y evitar o enlentecer su desarrollo (1,2). Es por ello, que el tratamiento quirúrgico se convierte en el tratamiento ideal para mejorar la calidad de salud del paciente. El tratamiento quirúrgico de la patología *hallux valgus* contiene más de cien técnicas distintas descritas para su corrección; dichas técnicas pueden ser agrupadas en *grosso modo* en dos grandes grupos:

- Cirugía abierta.
- Cirugía Mínimamente Invasiva o Cirugía Percutánea.

Son muchos los debates que discuten acerca de cuál es la técnica más adecuada, pero el objetivo en cualquiera de los casos es obtener una buena corrección con la mínima agresión quirúrgica posible, obligando a adaptar las técnicas existentes al grado de deformidad del *hallux valgus* (3).

Este estudio doctoral se ha centrado únicamente en las técnicas quirúrgicas de mínima incisión, y para evitar las desventajas que conllevan dichas técnicas, se ha diseñado y validado un guiado quirúrgico impreso en 3D para la corrección de la patología, tendiendo como principal propósito comparar la desviación entre la posición de las osteotomías virtualmente planificadas y la posición de las osteotomías realizadas mediante las guías quirúrgicas impresas en 3D en 33 pies anatómicos humanos.

La cirugía mínimamente invasiva del pie permite realizar cirugías con mínimas incisiones para causar el menor daño posible a las estructuras anatómicas y al paciente (4). Este tipo de técnicas requieren de varios controles fluoroscópicos intraoperatorios, ya que, al no poder visualizar el campo quirúrgico, el cirujano necesita realizar controles constantes de sus técnicas incisionales para posicionarse correctamente. La falta de fluoroscopia podría lesionar estructuras anatómicas importantes debido a la falta de visión del área o a la falta de experiencia por parte del profesional podológico (5).

La llegada de las nuevas tecnologías, así como los avances en imagen clínica ayudan a que se mejoren las técnicas con nuevas formas de guiado para las intervenciones. En tiempos actuales, es relativamente fácil obtener una maqueta en 3D mediante las imágenes DICOM obtenidas a través de TAC/RMN y reconstruirlas con un software específico, obteniendo así la imagen en el ordenador y poder manipularla. Existen dentro del área de odontología tecnologías similares donde colocan implantes planificados y guiados, evitando de éste modo dañar las estructuras anatómicas importantes (6).

Hasta día de hoy, la planificación prequirúrgica se realizaba mediante radiografías 2D y goniometría para conocer con exactitud el lugar y el tamaño de incisión a la hora de realizar una osteotomía. Con la planificación tridimensional, el *software* Maya, *3D Max Studio* o *Mimics*, ofrece la posibilidad de crear una plantilla quirúrgica o guiado en 3D mediante prototipado rápido para realizar una planificación virtual (7).

1.1. El Pie

En el año 2007, Viladot describió al pie como: “Una estructura tridimensional, esencial, para la posición bípeda humana, base del servomecanismo antigravitatorio y pieza fundamental para la marcha humana”. En los seres humanos, el pie sirve como principal interfaz entre suelo y cuerpo durante los momentos estáticos y dinámicos. Esto requiere que la estructura del pie sea capaz de absorber las fuerzas reactivas del suelo, que se produzca una correcta adaptación en terrenos irregulares, y que permita una propulsión eficiente y eficaz (8,9).

El pie, desde una visión superior en el plano horizontal, aparece con sus elementos óseos posteriores agrupados en dos columnas superpuestas formadas por el astrágalo y el calcáneo, dividiéndose en medial y lateral. La columna medial correspondería al astrágalo, escafoides, cuneiformes (lateral, intermedio y medial), y primer, segundo y tercer metatarsianos con sus respectivas falanges. La columna lateral estaría formada por el calcáneo, el cuboides y, cuarto y quinto metatarsianos con sus respectivas falanges. Solamente uno de los huesos del pie, el astrágalo, se articula con los huesos de la pierna, tibia y peroné, hecho que unido a la disposición descrita, explica que la cara inferior del pie, no sea plana sino cóncava de delante hacia atrás. Asimismo, los metatarsianos y cuñas tampoco forman un apoyo plano en sentido transversal, sino cóncavo. Esta concavidad que presenta el pie en ambos sentidos es la llamada “bóveda plantar” (10).

1.1.1. El pie como estructura tridimensional

El pie debe deformarse para transmitir movimientos y fuerzas. Esto implica que el pie debe estar capacitado para bloquear ciertas articulaciones, dándole rigidez, pero también relajar otras articulaciones casi instantáneamente para su correcta adaptación al terreno.

El pie, gracias a su sistema neuro-tendinoso-muscular, es una estructura creativa de movimientos, así como el primer órgano sensorial para el equilibrio. Esto implica una complejidad estructural necesaria para lograr movimientos sencillos pero efectivos. La inversión y la eversión son movimientos del pie en valgo-pronación/abducción-flexión dorsal (Ilustración 1), y varosupinación/adducción-flexión plantar (Ilustración 2). Con el movimiento en inversión el pie se acortará, y con la eversión se alargará. Si los movimientos en varo y en valgo son más propios y adecuados para el retropié (continuidad vertical de la extremidad inferior de la pierna), los términos supinación y pronación se utilizan más comúnmente para el antepié.

A nivel del antepié, tomando como referencia el eje medio del 2º metatarsiano (M2), la aproximación de los dedos hacia M2 es la aducción y el distanciamiento de estos del segundo metatarsiano es la abducción. En la patología propia del pie, el daño articular

es el más común, convirtiéndose en el responsable de la inestabilidad y con consecuencias deformantes en su estructura. Entendemos entonces que el pie patológico pierde movilidad y amplitud articular, no pudiendo tener una función fisiológica (11).



Ilustración 1: Anatomía funcional del pie adulto con movimientos de eversión.



Ilustración 2: Anatomía funcional del pie adulto con movimientos de inversión

1.2. Antepié: Anatomía quirúrgica.

La restauración de la marcha normal o casi normal es uno de los principales objetivos de muchas cirugías de miembros inferiores. Conocer la anatomía quirúrgica es importantísimo para realizar los abordajes y así no dañar las estructuras anatómicas importantes, como nervios o vasos sanguíneos (1).

1.2.1. Anatomía quirúrgica de los abordajes aplicados en la primera articulación metatarsofalángica

Los abordajes quirúrgicos para la primera articulación metatarsofalángica constan de tres gestos diferentes:

- Abordaje dorsomedial.
- Abordaje medial.
- Abordaje dorsal.

El abordaje dorsomedial de la primera metatarsofalángica ya no se utiliza en la mayoría de casos debido a la alta incidencia de lesiones en el nervio digital dorsal. El abordaje medial se realiza a nivel proximal a la Articulación Interfalángica, teniendo cuidado con la incisión ya que la rama digital dorsal del nervio cutáneo medial se encuentra dorsalmente muy cerca de ésta. La capsulotomía puede realizarse a continuación. El abordaje dorsal se realiza proximal a la articulación interfalángica y debe permanecer medial al Tendón Extensor Largo del 1º paralelamente. La disección quirúrgica profunda en esta área debe tener especial cuidado con el tendón Flexor Largo del primer radio, que se encuentra dentro de un túnel fibroso en la superficie plantar de la articulación, mantenido por los huesos sesamoideos medial y lateral (4).

1.2.2. Anatomía de los abordajes quirúrgicos de las articulaciones metatarsofalángicas

Los abordajes quirúrgicos en las articulaciones metatarsofalángicas tienen dos enfoques diferentes:

- Abordaje dorsal.
- Abordaje transversal.

Dorsalmente, se puede abordar la segunda y tercera articulación metatarsofalángica con una incisión medial al segundo metatarsiano, mientras que la cuarta y quinta articulación metatarsofalángica se pueden abordar mediante una incisión colocada lateralmente al cuarto metatarsiano. Se debe tener especial cuidado con no dañar los nervios cutáneos dorsales que inervan a los dedos del pie. Estos nervios se encuentran en las superficies dorsolaterales y dorsomediales de cada metatarso. Si todos los metatarsianos distales requieren intervención quirúrgica, se puede usar un abordaje transversal que permite un acceso excelente a las articulaciones metatarsofalángicas, aunque se requiere una incisión muy cuidadosa para no dañar las venas dorsales del pie (1,4,12).

1.3. Historia de la cirugía percutánea del pie

El Doctor Marino De Prado (13) asienta las bases de la cirugía de mínima incisión en el año 1945 cuando Polokof incorporó una práctica quirúrgica subcutánea en el que aplicaba corriente galvánica para abrir una vía de acceso de mínima incisión hacia la matriz ungueal y, gracias a la maquinación de la misma, proceder a la destrucción de la misma. Posteriormente llevó a cabo instrumental recio en lancetas, raspas, etc. de mínimo tamaño que ayudaban a realizar exostectomías en distintas áreas. Probber, durante la década de los 60, prosiguió con el desarrollo de instrumental nuevo y técnicas quirúrgicas de mínima incisión aplicadas al pie. Por otra parte, un compañero de Probber llamado Weinstock empieza a emplear un aparato eléctrico en el que se le acoplan unas fresas pequeñas para la realización de osteotomías y dañar en la mínima cuantía posible los tejidos blandos. En los años 80, Partel, Robert, Strauss, y White

abren un amplio abanico de indicaciones para resolver la mayoría de las deformidades osteoarticulares del pie.

En la década de los 90, el Doctor Isham (14) diseña la técnica que utilizamos en la actualidad para corregir la deformidad *hallux valgus* y, también durante esta década de los 90, los doctores De Prado y Ripoll divulgan dichas técnicas en nuestro medio. En distintos lugares europeos, Bösch realiza una modificación de la osteotomía de Hohman-Kramer para su utilización en la cirugía de mínima incisión. A su vez, Magnan y Montari publican en Italia durante los años 1997 y 2003 los resultados de una técnica quirúrgica similar, organizando cursos prácticos para su difusión (15).

La utilización de la osteotomía de Base percutánea para tratar la deformidad *hallux valgus* moderado fue detallado por De Prado en su propio libro “Cirugía Percutánea del Pie”, pero hay que puntualizar que no detalló con minuciosidad la técnica utilizada para fijar la osteotomía (13). En 1991 Isham, Toepp y Salcedo se convirtieron en los primeros en publicar casos quirúrgicos intervenidos con dichas técnicas.

En el año 2011, Lavigne da a conocer la realización de la doble osteotomía percutánea en la que se realiza una primera osteotomía con cierre craneal y otra estilo *Chevron* en la que la fijación se utilizan tornillos canulados (16), como un estudio del 2010 realizado por Chaparro (17), en el que la metodología para realizar la osteosíntesis es la misma, difiriendo las técnicas utilizadas en las osteotomías.

Un estudio publicado por Díaz Fernández (18) en 2015, divulgó los resultados de la utilización de la doble osteotomía percutánea para tratar la deformidad *hallux valgus* severo. En el estudio se describe una técnica quirúrgica que ayuda a disminuir la osteotomía y fijarla mediante agujas *Kirschner*.

1.4. Biomecánica del Primer Radio

El primer radio del pie es un elemento funcional compuesto por el primer metatarsiano y el hueso cuneiforme medial. Este elemento se vuelve crucial para el funcionalismo del pie durante las fases de la marcha (apoyo completo y propulsión). También tiene un gran papel la articulación cuneometatarsiana, la cual se localiza en la intersección del Arco Transverso y el longitudinal interno.

En la fase del segundo roque (apoyo completo del pie previo a la propulsión), servirá como adaptador móvil sobre los terrenos irregulares, mientras que en el tercer roque (fase propulsiva) se convertirá en un elemento rígido para poder trasladar las fuerzas y ser capaz de empujar el cuerpo hacia delante (19).

En un estudio cadavérico sin cargas, se estudiaron los centros rotacionales de la primera articulación metatarsofalángica en pies fisiológicos, y en pies patológicos con hallux valgus y hallux rigidus. En el estudio se constató que, en pies fisiológicos se evidenciaban movimientos predominantes deslizantes y viscoelásticos del mecanismo, mientras que en las piezas anatómicas con patología del primero se percibieron tendencias compresivas en articulaciones dorsales, que en el caso de los pies con hallux limitus se reducían a la mitad (20,21).

El movimiento del primer radio se produce en los tres planos, aunque el plano transversal no dota de demasiada importancia debido al paralelismo del eje sobre el plano. Estos movimientos son:

- Flexión dorsal: movimiento supinador y ligero deslizamiento hacia plano transversal.
- Flexión plantar: pronación y ligero desplazamiento hacia plano transversal.

Existe una necesidad clínica de medir y evaluar el papel desempeñado por el primer radio durante la dinámica. Durante la fase de balanceo y hasta la fase del primer roque (choque de talón), el primer radio se posiciona en flexión dorsal, debido a la fuerza traccional que realiza el músculo tibial anterior con el objetivo de parar la flexión

plantar que realiza el tobillo. En el inicio de la fase de apoyo total (segundo roque), la articulación subastragalina se va en pronación mientras que las articulaciones mediotarsianas se mueven en inversión, aunque si estas últimas no lo realizan suficientemente, el primer radio se ve obligado a realizar una flexión plantar (22).

En la fase final del 2º roque (fase de apoyo completo), e inmediatamente después del despegue del talón, el retropié empieza a realizar un movimiento en inversión arrastrando con él al antepié. Es justamente en ese instante en el que el primer radio ha de moverse en flexión plantar para mantener el contacto entre el suelo y el antepié. Durante la fase propulsiva, al encontrarse el talón elevándose y dado que el primer metatarsiano generalmente está más acortado que el segundo metatarsiano, el primer radio debe seguir en flexión plantar con el objetivo de mantener el antepié en contacto con el terreno y poder trabajar como una palanca firme y empujar todo el peso hacia delante, es más, la flexión plantar del primero es absolutamente necesaria para el buen funcionamiento de la primera articulación metatarsofalángica. La literatura nos informa que se necesitan 10º de flexión plantar del primero para la flexión dorsal fisiológica de la primera falange proximal sobre el metatarsiano (23).

Como hemos podido observar, el primer radio no es un elemento aislado y el rango de movimiento dependerá de dónde se encuentre la articulación subastragalina y las articulaciones mediotarsianas.

La amplitud de movimiento total aumenta cuando estos elementos articulares se posicionan en pronación. Un estudio publicado en 2008 por Pérez HR.(24) desvela que el dinamismo del primer radio depende del lugar en el que se encuentre en el plano frontal. Los autores indican que el rango de movimiento aumentará cuando se encuentre máximamente supinado y menor cuando esté pronado.

En un pie fisiológico, el abanico de movimiento total del primer radio se ajusta a partes iguales entre flexión dorsal y flexión plantar de 5 a 6 mm hacia cada sentido (25). Este rango de amplitud es normalmente idéntico cuando se realiza una comparativa con el otro pie (26). Es importante señalar que el rango de movimiento del primer radio está

limitada por los tejidos blandos adyacentes (19). Para valorar la posición y movilidad del primer radio hemos de determinar antes la posición neutra de este. Esta posición la encontramos cuando la cabeza del primer metatarsiano se encuentra en el mismo plano transversal que las tres cabezas metatarsales centrales, encontrándose la ASA en posición neutra y las mediotarsianas máximamente pronadas. Desde esta posición se podrán valorar los movimientos en flexión dorsal y flexión plantar del primer radio, los cuales, como ya se ha comentado, serán equivalentes en ambos sentidos. Si la flexión dorsal excede a la plantar, nos encontraremos ante una deformidad en flexión dorsal del primer radio. Si por el contrario la flexión plantar excede a la dorsal, estaremos ante una deformidad en flexión plantar del primer radio (27).

1.4.1. Fuerzas reactivas

El primer metatarsiano actúa en compresión axial, con dos áreas de tensión en plantar y dorsolateral, lo cual se debe tomar con gran consideración a la hora de planificar las osteotomías a realizar en la cirugía del primer radio (28). En la cadena cinemática poliarticular del primer radio se ejercen varias fuerzas (29):

- Fuerza de apoyo de la primera cabeza metatarsiana
- Fuerza articular
- Fuerza axial del primer metatarsiano
- Fuerza flexora del primer metatarsiano
- Fuerza cizallante del primer metatarsiano

El primer metatarsiano es mucho más sólido que el segundo metatarsiano, pero sin embargo este último soporta casi la misma carga en vertical durante la dinámica que el primero, por lo que el primer radio podrá ser considerado como una reserva de fuerza motriz. Las cabezas de los huesos metatarsianos soportan una carga de hasta el 85% durante el contacto con el suelo. Durante el periodo de la marcha la tensión en valgo del *hallux* es permanente por (21):

- Insuficiencia de la flexión plantar del primer metatarsiano por déficit de inversión. Esta insuficiencia puede estar ocasionada por una retracción de los

gastrocnemios, o contrariamente, por una insuficiencia del músculo tibial posterior. Por todo ello, el antepié continuará su movimiento en abducción y flexión dorsal en contra del resto del pie, que continúa plano a la incapacitación de poder invertirse.

- Inestabilidad articular metatarsofalángica, que puede estar provocada por una distensión ligamentosa o por un sesamoideo medial bipartito, que tiene un efecto de prolongación medial de la fascia plantar superficial que altera el mecanismo.

1.4.2. Los sesamoideos

Los huesos sesamoideos tienen una estructura corta y pequeña. Su forma anatómica consiste en un área central de tejido esponjoso bastante denso y una cortical compacta y resistente. Tiene forma ovoide con un eje longitudinal largo. Sus dimensiones promedio varían de entre 15 mm y 11 mm para el sesamoideo medial, y entre 10 mm y 8 mm para el sesamoideo lateral (30).

1.4.3. Elemento falangicosesamoideo

Debido a la fugacidad de sus movimientos y su pequeño volumen, lo convierten en un elemento difícil de analizar dinámicamente. Se pueden distinguir diferentes acciones (31):

- Amortiguan y absorben las fuerzas reactivas anteromediales.
- Protegen el flexor largo propio del primer dedo y orientan su momento de actividad.
- Estabilizan al primer dedo gracias al mecanismo de torno el cual aumenta el radio de la primera cabeza metatarsal.

Paralelo al eje del suelo se encuentra el sesamoideo medial situándose en el eje de la falange proximal, permitiendo la alineación del flexor largo del primero y del primer radio en conjunto. La articulación metatarsofalangicosesamoidea parece que se comporta de dos formas para poder conservar el tercer eje de la marcha en el plano

transverso. A raíz de la alineación del primer metatarsiano con la primera falange proximal en carga, entre 0° en flexión plantar y 30° de flexión dorsal por parte de la falange, ocurre un movimiento en bisagra en el eje transverso. Aumentando los 30°, cuando se produce la flexión plantar del primer metatarsiano, se convierte en diartrodial hacia dorsal en los ejes de fuerza, con la finalidad de absorber los movimientos de rotación y deslizamiento de la cabeza metatarsal. El elemento falangicosesamoideo afianzaría cuatro tiempos funcionales (30):

- Tiempo de suspensión: ocurre entre el contacto del talón y el contacto total del pie en el suelo. Es una fase pendular que conducirá el correcto posicionamiento del *hallux*.
- Tiempo de fijación anteromedial por una contracción isométrica de la musculatura intrínseca, previo al despegue del talón, y durante el despegue de los dígitos.
- Tiempo de coordinación: cuando el talón despegue y el primer metatarsiano desciende en plantaflexión, éste comienza a soportar la carga, por lo que la cabeza pivota y se desliza sobre los huesos sesamoideos, lo que produce un bloqueo de la articulación conforme va progresando la flexión.
- Tiempo denominado «catapulta»: el flexor largo del primer dedo se tensiona y lleva el pie hacia delante propulsándolo con fuerza, como si se tratase de un mecanismo tipo catapulta gracias a los sesamoideos que ayudan empujando hacia arriba y hacia delante a la primera cabeza metatarsal, colocándose el apoyo sobre el cuarto pivote; la articulación interfalángica del primero.

1.4.4. Primer radio, órgano del rendimiento

El pie es una estructura anatómica que tiene la capacidad de deformarse y también la de transformarse en un elemento completamente rígido, cuyos movimientos se clasifican en tres mecanismos distintos:

- Rotación medial en eversión y rotación lateral en inversión
- Adaptación a las irregularidades del terreno

- Intervención de la musculatura con control voluntario

El problema podría radicar en la intervención de los brazos de palanca para la propulsión. A más de dos metros por segundo el cuerpo se ve obligado a correr, por lo que el pie ya no apoya de la misma manera, sino que va directamente del talón al *hallux*. Durante la carrera deja de existir el doble apoyo cambiando por un doble despegue. Para poder moverse fluidamente en un espacio gravitacional, el pie tiene la necesidad de bloquear sus articulaciones para volverlas rígidas de cara a la acción muscular. Seguidamente, el pie necesita relajarlas gradualmente, para obtener finalmente un movimiento coordinado. Una articulación debe variar sus movimientos y, como consecuencia, tener coordinación que permitan accionar las interconexiones anatómicas y disminuir su complejidad. La fascia plantar superficial se convierte en el gran ejemplo de estructura de coordinación (32).

La fascia plantar es el elemento inelástico de unión entre la tuberosidad medial del calcáneo y las bases de las falanges proximales. Es el medio de transmisión de fuerzas entre retropié y la zona de antepié, además tiene una gran capacidad de almacenaje y recuperación de fuerzas de hasta el 17% de la energía generada durante el paso (33).

La fascia o aponeurosis plantar regula automáticamente los movimientos de eversión e inversión y ayuda a los diferentes puntos de carga sobre la parábola distal. El pie se convierte en una estructura anatómica que, gracias a sus cambios de movimientos en inversión e inversión, cambia de velocidad haciendo intervenir brazos de palanca para controlar los diferentes momentos de fuerzas. Gracias a su armoniosa parábola metatarsal, el antepié tiene una infinidad de pivotes de movimiento. A medida que la velocidad va en aumento para transferir la carga al pie contrario, el antepié usa su brazo medial del ángulo de Meschan como pivote, lo que activa la función estabilizadora del arco medial y primer radio. Seguidamente llega el cuarto pivote, un movimiento que pasa bajo el externo del *hallux*. Estas secuencias de brazos de palanca se pueden verse dañadas por ciertos trastornos, como un pie plano. pueden verse comprometida por algunos trastornos como sucede, por ejemplo, en el pie plano. Es de gran importancia medir la longitud entre el primer metatarsiano y segundo metatarsiano, ya que cualquier

alteración ya sea por un exceso de longitud del primero (más de 3mm), o por una insuficiencia de más de 7mm, pueden derivar a patologías de antepié y romper la dinámica fisiológica de la marcha (34).

1.5. Patología *hallux valgus* y recuerdo anatómico

El *hallux abductus valgus*, también llamado *hallux valgus* y conocido vulgarmente como **juanete**, es un término que pone de manifiesto por primera vez Carl Hueter (35,36). Se trata de una compleja patología osteoarticular del primer radio del pie. El primer radio está compuesto por el primer metatarsiano, sus dos sesamoideos, la falange proximal que articula con el metatarsiano, y la falange distal. La deformidad del *hallux valgus* conocido como **juanete**, es el fenómeno clínico visual más frecuente representado por el *bunion* dorsolateral de la cabeza del primer metatarsiano. Esta deformidad está caracterizada por la desviación del primer dígito que se distancia del plano sagital medio en adducción, provocando una mala congruencia articular. La denominación de ***hallux valgus juvenil*** es cuando esta patología empieza a desarrollarse en edad adolescente o durante la pubertad. Las principales características que lo diferencian del *hallux valgus* adulto es que no presentan signos de artrosis ni engrosamiento de la bursa sobre la exostosis de la cabeza metatarsal, sin embargo, sí existe un aumento del ángulo entre primer y segundo metatarsianos. El primer radio se encuentra menos pronado en la mayoría de los casos y el ángulo se encuentra menos desarrollado que en el *hallux valgus* adulto (37).

1.6. Etiología del *hallux valgus*

La patología *hallux valgus* es frecuente y su prevalencia es hasta del 33% en áreas que usan calzado, y según varios estudios publicados sobre la historia natural del *hallux valgus* se puede observar que se trata de una patología común en edades tempranas de la vida puesto que casi el 50% de los sujetos que la padecen creen que comenzó desde la edad adolescente. ¿Por qué se origina esta patología? algunos estudios dicen que proviene de la zona distal del hallux y otros que viene de la zona proximal del primer radio, articulación cuneometatarsiana. Por otro lado, se relaciona con un *metatarsus*

primus varus, que consiste en una desviación hacia medial del primer metatarsiano ocasionando un aumento del ángulo intermetatarsal (38). En la actualidad, existen diversas hipótesis alrededor del factor etiológico que provoca el *hallux valgus*. Actualmente, es bien sabido que se trata de una deformidad multicausal, siendo cada caso diferente ya que depende del grado en el que los factores intervienen (37).

Según un estudio (39) conformado por 375 personas de entre 30 y 79, que no presentaron enfermedad psiquiátrica y tuvieron disposición a participar, a las cuales se les aplicó una encuesta y una guía de observación, para determinar el comportamiento en expuestos y no expuestos, se encontró una prevalencia media de *hallux valgus*. Concluyeron que existía más probabilidad en el sexo femenino, y en personas mayores de 50 años. Según los antecedentes patológicos del pie se demostró que existe mayor probabilidad en aquellos sujetos con pie plano y metatarso primo varo, además de otros antecedentes como artritis reumatoidea. Por otro lado, en personas con antecedentes familiares con *hallux valgus* aumentaba la probabilidad de padecerlo. El calzado adecuado se determinó como efecto protector, mientras que el inadecuado tuvo un efecto agravante; el no uso de calzado no determinó un factor protector ni causal en la aparición de esta patología. El *hallux valgus*, como ya hemos explicado con anterioridad, tiene un origen multifactorial. En una amplia mayoría de casos coexiste una patomecánica como base etiológica, como por ejemplo una dorsiflexión o hipermovilidad del primero por movimientos pronatorios excesivos en la articulación subastragalina, una extremada longitud del primer hueso metatarsal y/o primer radio, o una insuficiencia del músculo Peroneo Largo. No obstante, existen ajenos factores favorecedores a la formación de dicha patología (40,41):

- Factor hereditario: existen factores que determinan la existencia de una condición hereditaria, los cuales son que aparezca durante la adolescencia o la infancia. En las causas morfológicas se encuentran; la forma anatómica de la cabeza y/o longitud del primer hueso metatarsiano, la longitud del primer dedo o la anatomía del hueso cuneiforme medial.
- Factor hormonal: en periodos gestacionales o menopáusicos se produce un aumento de la relaxina en la mujer, favoreciendo la distensión de los ligamentos.

Debido a esta hiperlaxitud ligamentosa, la primera articulación metatarsofalángica sufre una subluxación que desencadena o agrava la patología.

- Factor medioambiental/social: el calzado estrecho de antepié ayuda a la valguización del primer dígito, desplazando conjuntamente al tendón del extensor largo del primer dedo, lo cual ayuda a cambiar su propia función extensora a una abductora. El calzado es incapaz de provocar un *hallux valgus* por sí solo, pero cuando las condiciones patomecánicas sean las apropiadas el calzado favorecerá a la formación de la patología. El zapato inadecuado reforzará la sintomatología.
- Traumatismos: tales como esguinces repetitivos y/o luxaciones pueden empeorarlo.
- Iatrogenias: la exéresis del hueso sesamoideo medial puede estimular una acentuación del *hallux valgus*. Determinados procedimientos quirúrgicos no solo no reparan la anomalía anatómica, sino que además la incrementan o inducen a limitaciones y rigideces.
- Reumatismos: las afecciones reumáticas suelen agravar la patología.

En el estudio anatómo-patológico, existen distintas clases articulares vinculadas al primer hueso metatarsiano que, en dependencia de las propias características, favorecen o no la manifestación del *hallux valgus*, y se dividen en (42):

- Art. metatarsofalángica congruente
- Art. metatarsofalángica no congruente
- Art. metatarsofalángica artrósica
- Ángulo caudal de la metatarsofalángica (PASA)
- Art. metatarsocuneiforme

En el estudio baropodométrico se estudia la sustentación del pie en estática y dinámica. Estas medidas permiten catalogar la deformación (42,43):

- El *hallux valgus* leve tiene como característica un ángulo de *hallux valgus* $<30^\circ$, y un ángulo intermetatarsal $<11^\circ$, y una subluxación del sesamoideo pequeño del 50%.

- El *hallux valgus* moderado tiene un ángulo de *hallux valgus* entre 30°-40°, un ángulo intermetatarsal entre 11°-16°, y una subluxación de los huesos sesamoideos del 50%-75%.
- El *hallux valgus* severo tiene un ángulo de *hallux valgus* >40°, un ángulo intermetatarsal >16°, y una subluxación de los sesamoideos de más del 75%.

Según Isham (2007), para catalogar la severidad de la patología del *hallux valgus*, se emplean más asiduamente las consiguientes medidas: ángulo del *hallux abductus*, ángulo distal articular (DASA), ángulo de la articulación proximal (PASA), y ángulo del primer espacio intermetatarsal. Además, tiene en consideración la disposición articular de la falange proximal metatarsiana, que podrá estar congruente, desviada y subluxada. Esta categorización de Isham se divide en tres (42,43):

- Leve: el ángulo del *hallux valgus* se encuentra entre 5°-20°, y el ángulo del primer espacio intermetatarsal entre 6°-8°. La faceta superficial de la articulación es congruente.
- Medio o moderado: ángulo del *hallux valgus* se encuentra entre 20°-40°, y el ángulo intermetatarsal del primero entre 8°-15°. La faceta superficial de la articulación se encuentra desviada.
- Agudo: ángulo del *hallux valgus* de >40°, el ángulo intermetatarsal del primero >15°, y la posición de la articulación subluxada.

La categorización del grado patológico del *hallux valgus* según Couglin-Mann (1996) parte del ángulo creado entre el primer y el segundo espacio intermetatarsiano, y el grado de subluxación de los sesamoideos (44).

A continuación, haremos referencia a la clasificación que Coughlin (37) proyecta en el libro “*Mann’s Surgery of the Foot and Ankle*” en el que se pueden distinguir:

1.6.1. Factores Intrínsecos

- **Herencia genética:** multitud de estudios publicados, hasta 5 diferentes series de publicaciones (40), han evidenciado una sobrada relación de herencia de padres a hijos en el 58% hasta el 88%. Por otro lado, existe una minoría documentación de *hallux valgus* juvenil, ya que esta patología suele manifestarse a partir de los 30-40 años de edad. Coughlin (45) relató una historia familiar en el que el 72% de sujetos con *hallux valgus* juvenil, sus madres padecían dicha patología en el 94% de los casos. Estos y otros estudios refieren la existencia de este factor etiológico para los casos juveniles, así como un aumento en la predisposición hereditaria de padres a hijos.
- **Factor hormonal y sexo:** existe una diferencia morfológica entre el pie femenino y masculino, además de existir diferencias hormonales, algunas de las cuales afectan a la laxitud de tejidos. La hiperlaxitud ligamentosa, mayoritaria en el sexo femenino, favorece la deformación frente a las fuerzas reactivas que se puedan producir. Hay que añadir que, durante el embarazo y la menopausia, los niveles de la hormona relaxina, encargada de la laxitud de los ligamentos, aumentan y es por esta razón que las mujeres sufren un aumento de la deformidad a partir de la gestación. Es importante remarcar que, como no lo padecen el total de las mujeres, no se puede atribuir una relación causa-efecto (45).
- **Patomecánico:**
 - Hipermovilidad de la primera articulación metatarso-cuneana: Coughlin asoció un 5% de pacientes con *hallux valgus* tras la cirugía (45). Para valorar la presencia o no de hipermovilidad se utiliza la técnica de Morton, en el que el tobillo se coloca en dorsiflexión con la articulación subastragalina neutra, y el especialista inmoviliza la zona lateral del antepié con la mano pasiva mientras que con la mano activa coge el primer radio realizando movimientos dorsoplantares. Esta maniobra es subjetiva y difícil de cuantificar. El hecho de que debamos neutralizar el tobillo en dorsiflexión es para anular el efecto cabestrante que realiza la

aponeurosis plantar que nos conduciría a una falsa hipermovilidad cuando ésta se encuentra sin tensión. Coughlin añadió además, que la hipermovilidad es más una consecuencia que una causa del *hallux valgus*, objetivando reductibilidad en el movimiento posterior a la cirugía de alineación del *hallux* (45).

- Pie Plano: la vinculación de tener pie plano con desarrollar un *hallux valgus* es discutida a la vez que controvertida. Harris y Beath (45) realizaron un amplio estudio en la incidencia de pies planos en militares, estableciendo un 20%, de los cuales la mitad de los casos eran asintomáticos. Existen estudios que no observan relación directa entre pie plano y su éxito o fracaso con la cirugía correctiva, pero King y Toolan (46) percibieron una asociación del ángulo de Méary con proyección radiológica lateral y el ángulo de cobertura talonavicular con proyección dorsoplantar en carga con respecto al ángulo propio del *hallux valgus*. Sin embargo, otros autores sí dieron con la relación entre pie plano y el desarrollo de la patología. Hohmann observó que el *hallux valgus* se asocia a algún grado de pronación y que ésta pronación es la causante directa (45). Para resolver estas contradicciones, se objeta que la patología *hallux valgus* se desarrollará más rápidamente en sujetos que tengan pie plano. Mediante un estudio radiográfico se puede observar el papel pronatorio en la patofisiología del *hallux valgus* en un pie fisiológico. El aplanamiento del pie provoca una rotación longitudinal del *hallux* (primer metatarsiano, falange proximal y falange media), situando el eje metatarsofalángico en oblicuo con respecto al suelo. El pie es menos resistente a la hora de soportar las fuerzas reactivas del suelo y calzado (47). La pronación está vinculada a una hiperlaxitud ligamentosa, por lo que el cirujano deberá tener en cuenta la progresión de la deformación post-quirúrgica secundaria a la liberación del tendón tibial posterior o debido a una artritis reumatoide (45,48,49).
- Morfología de la articulación metatarso-cuneana: esta articulación es clave tanto en el aumento del ángulo intermetatarsal entre el primero y el

segundo, como en el ángulo del *hallux valgus*. Un ángulo intermetatarsal por encima de 9° es considerado patológico. La dirección de la carilla en carga suele ser medial, pudiendo existir una inestabilidad de ésta. Por otro lado, Viladot (50) y otros autores como el Dr. Brage *et al* (51) cuestionan la posición relativa de la carilla en la imagen radiográfica ya que depende de la dirección del haz de rayos X.

- Faceta intermetatarsiana: una faceta articular posicionada entre las bases del primer y segundo metatarsiano, o la existencia de un hueso supernumerario puede provocar rigidez en la zona articular de la cuneometatarsiana, por lo que las técnicas de realineación distal pueden ser insuficientes. Existe un valor estimado del 8% de sujetos que padecen esta variación anatómica (45).
- Metatarsus primus varo: Hardy y Clapham, y otros autores (45,52) conectaron el grado de *hallux valgus* con el grado del ángulo intermetatarsal, aunque el debate de si es causa o efecto continúa. Lo que sí es cierto es que tener un metatarsiano primo varo congénito es causa directa para desarrollar un *hallux valgus* juvenil.
- Longitud del primer metatarsiano: la relación existente entre el tamaño del segundo metatarsiano con respecto al primero en la formación del *hallux valgus* es discutida. Viladot (50) y otros autores implantaron la diferencia con un primer metatarso más reducido en tamaño, como esencial en el desarrollo de *hallux valgus*. Dependiendo cómo se realice la medición, la longitud variará, bien porque se empleen ejes perpendiculares a la línea del segundo metatarso o porque se emplee una parábola que proyecte la desviación angular en aducción del primero con respecto al segundo (52). Mancuso (53) reflejó en su estudio que un 77% de sujetos que padecían *hallux valgus*, tenían un primero igual que el segundo, o más largo que el segundo, y una forma esférica de la cabeza metatarsal.
- Metatarso adducto: la relación entre *hallux valgus* y metatarso adducto no es clara. Existen estudios contradictorios, algunos autores objetan que

hay un aumento de volver a padecerlo tras una cirugía, pero Coughlin niega dicha teoría, ya que reportó un 22% de incidencia en sujetos con *hallux valgus* juvenil (45).

- *Hallux valgus* interfalángico: el valor fisiológico del ángulo intermetatarsal es de 10° o inferior a este valor. Sorto (54) reportó que está relacionado la estabilidad transversal de la primera articulación metatarsofalángica y el ángulo interfalángico, por lo que a mayor *hallux valgus* interfalángico más estabilidad en la articulación metatarsofalángica y viceversa.
- Morfología de la primera articulación metatarsofalángica: la orientación del área articular con respecto a la línea del metatarso juega un papel importante en la estabilidad articular. Los pacientes que padecen *hallux valgus* muestran que, del 77% al 91%, son los que tienen la cabeza metatarsal esférica. Sin embargo, aquellos que presentan una carilla más aplanada tienen más probabilidad de padecer un *hallux rígido* (45). Podríamos objetar que una carilla articular aplanada tiene más estabilidad y protege frente a la aparición de la deformidad en *hallux valgus*. La línea que forma la carilla articular con respecto al eje del metatarsiano que observamos en una radiografía anteroposterior en carga será fisiológico si es menor a 15°, y cuando se produce una desviación congruente por un aumento en el ángulo PASA (Proximal Articular Set Angle), suelen ser estáticas y no existe progresión de la deformidad en tiempo.
- Apertura de la fisis: Luba y Rosman (45) observaron que la presencia de una desviación medial de la epífisis del metatarso primero provoca fuerzas tensionales llevando a un crecimiento excesivo en el lateral de la fisis junto con la progresión deformante, aunque esto no ha podido ser evidenciado. Lo que podría ser evidente es que no podría ser intervenido un *hallux valgus* con apertura en la fisis por posible recurrencia de la misma. Aun así, existen otros estudios que objetan que la técnica quirúrgica bien realizada puede ayudar a una buena adaptación

postoperatoria mediante una reestructuración de las carillas articulares del primer metatarsiano y la base de la falange proximal, asociadas a un PASA elevado.

- Acortamiento del tendón de Aquiles: Di Giovanni recomendó que en una dorsiflexión de tobillo menor a 5° en el 21% de sujetos estudiados, habría que realizarles un alargamiento del tríceps sural (55), pero otros estudios no encontraron relación directa entre el poco ángulo de movimiento en dorsiflexión de tobillo con desarrollar un *hallux valgus*. Dicha relación podría aceptarse porque el acortamiento tendinoso aquileo puede alterar la dinámica cuando el sujeto rota hacia externo el pie o apoya en pronación para compensar este acortamiento, lo que puede provocar un estrés de tejidos y llevar a un *hallux valgus*, por lo que en el extraño caso que el sujeto no supere los 5° de dorsiflexión podría estar indicado el alargamiento aquileo (56).

1.6.2. Factores extrínsecos

- **Calzado:** el calzado con forma estrecha y/o acabados en punta en la zona del antepié son los causantes principales para desarrollar un *hallux valgus*, debido a que fuerzan la desviación del *hallux* y a su uso prolongado.
- **Profesión:** Coughlin y Jones (45) objetaron que el 17% de los sujetos relacionaban su vida laboral con el desarrollo del *hallux valgus*, aunque no existen a día de hoy muchas evidencias que apoyen la teoría.

1.7. Sintomatología

Los pacientes que padecen esta patología acuden a consulta por deformidad, dolor y/o problemas estéticos. La sintomatología no depende de la severidad de la deformación; existen desviaciones leves del *hallux* en los que el paciente va a referir mucho dolor, y deformidades severas en las que el paciente tiene una tolerancia plena. Del tiempo evolutivo del *hallux valgus*, podemos decir que el dolor es discreto y la movilidad articular libre en sus inicios, y con el paso del tiempo el dolor va en aumento, se

cronífica, se hace constante y el movimiento articular metatarsofalángico lo intensifica. Es frecuente que existan síntomas asociados a deformaciones correspondientes en los radios menores, como dígitos en martillo o en garra, los cuales cursan con deformidad, dolor e hiperqueratosis, y también en la zona plantar del antepié como la metatarsalgia debido a un primer radio insuficiente. Los signos clínicos del *hallux valgus* se observan en la zona que recubre la primera articulación metatarsofalángica, que suele aparecer enrojecida y dura, con acompañamiento de dolor (57–59).

1.8. Criterios pre-quirúrgicos del primer radio

El artículo publicado “Guía práctica de protocolos quirúrgicos” (60) en la revista *Consejo General de Colegios oficiales de Podólogos*, establece una serie de criterios pre-quirúrgicos a tener en cuenta para realizar una cirugía del *hallux*, y es de suma importancia para garantizar unos criterios básicos que nos faciliten la toma de decisiones y que incluyan criterios de claridad, eficiencia y definición. La deformidad del *hallux* conlleva una serie de alteraciones que van desde las adquiridas, traumáticas, por sobreuso y sistémicas (61). Primeramente, hay que implantar unos criterios que ayuden a orientar al especialista para diagnosticar y tratar las alteraciones del *hallux valgus*, en las que estas directrices pueden ser cambiadas atendiendo a las características de cada paciente (62).

1.8.1. Criterios clínicos

Los criterios clínicos a seguir por parte del profesional serán los siguientes (60):

- Alteración morfológica progresiva con afectación de la primera articulación metatarsofalángica.
- Primer metatarso en adducción.
- Presencia de exostosis en zona medial.
- Abducción de la primera falange y comúnmente con rotación interna.
- Antecedentes familiares.
- Alta prevalencia en mujeres de más de 30 años, con una incidencia menor en sexo masculino.

- La sintomatología sin representación en los estadios iniciales pero que va en aumento cuando la deformidad va empeorando.
- El cuadro sintomatológico se caracteriza por dolor en zona medial de la cabeza del primer metatarsiano que aumenta con la utilización de calzado inadecuado.
- Prominencia medial en la cabeza del primer metatarsiano, además se puede manifestar la presencia de bursitis, inflamación de la primera articulación metatarsofalángica y neuritis.
- Asociación de otras patologías como la deformidad digital, ya que la desviación lateral del hallux ayuda a la subluxación de la segunda articulación metatarsofalángica, provocando que el segundo dígito se posicione supraducto con respecto al primero, o bien que empuje lateralmente a los radios tercero, cuarto y quinto, con su consecuente patología interdigital.
- Alteraciones dermatológicas dolorosas localizadas bajo las cabezas metatarsales que ocasionan alteraciones en la marcha.
- Metatarsalgia en el antepié que provoca una dinámica dolorosa e incluso incapacitante.

1.8.2. Hallazgos radiográficos

Los hallazgos radiográficos servirán de ayuda para tomar mejores decisiones a la hora de elegir la técnica quirúrgica a realizar. Los aspectos más importantes para su correcta valoración son (60).

1.8.3. Criterios quirúrgicos

El *hallux valgus* se clasifica en tres estadios, y esta clasificación está basada en la deformación progresiva del ángulo del *hallux valgus* y del ángulo intermetatarsal. La valoración preferentemente se hará del ángulo *hallux valgus*, intermetatarsal, PASA y DASA (60).

- Estadio 1 y tratamiento quirúrgico: ángulo intermetatarsal $<12^\circ$ y ángulo de *hallux valgus* $<25^\circ$. Para corregir la deformidad, comúnmente se realizará un balance capsulotendinoso con bunionectomía medial acompañado o no de una osteotomía distal en el primer metatarso.
- Estadio 2 y tratamiento quirúrgico: ángulo intermetatarsal de 16° y ángulo de *hallux valgus* $\geq 25^\circ$, evaluando también la congruencia articular. Para este estadio se requiere liberar las partes blandas pertenecientes a la primera articulación metatarsofalángica según su alineación, posible tenotomía del adductor del primero, balance capsulotendinoso con bunionectomía medial realizando o no una osteotomía en la diáfisis, distal y/o proximal, del primer metatarsiano para disminuir el ángulo intermetatarsal. Si existe una asociación de hiper movilidad al *hallux valgus* con un ángulo intermetatarsal aumentado o plantaflexionado desde la base del metatarsiano, se considerará realizar una artrodesis en la articulación cuneometatarsiana del primero.
- Estadio 3 y tratamiento quirúrgico: este último estadio se considera el más severo y más incapacitante. El ángulo intermetatarsal es mayor a 16° y el ángulo *hallux valgus* mayor a 35° , además la primera articulación metatarsofalángica se encontrará mayormente subluxada. En este estadio se requerirá una liberación de partes blandas en la primera articulación metatarsofalángica, posible tenotomía del tendón adductor del primero, balance capsulotendinoso con bunionectomía medial que podrá ir acompañado de una osteotomía distal diafisaria. En este estadio se valorará la viabilidad por la edad del paciente y su actividad.

1.9. Protocolo quirúrgico

Antes de comenzar con cualquier actividad quirúrgica es imprescindible establecer unos minuciosos protocolos quirúrgicos (63):

1.9.1. Protocolo pre-quirúrgico

- **Analítica:** Solicitud básica, y dependiendo de las características propias del paciente se solicitarán también otras pruebas específicas.
- Pruebas complementarias de diagnóstico por imagen: radiografías, fluoroscopías, ecografías, etc.
- **Valoración vascular no invasiva:** valoración directa (observar coloración, realizar palpación y comprobar temperatura), y valoración indirecta (estudio Doppler). Si existiese patología vascular será remitido al médico especialista.
- **Valoración del estado físico del paciente:** ante de proceder a la infiltración de anestésico seguiremos la clasificación A.S.A. “*American Society of Anesthesiologists*”:
 1. Presencia obligatoria de anestesiólogo en A.S.A. IV y V, o bien cuando sea necesaria la anestesia general o sedación, exceptuando urgencias.
 2. Presencia obligatoria de anestesiólogo en intervenciones concretas en A.S.A. III.
 3. Presencia no obligatoria de anestesiólogo en A.S.A. I y II.
- **Farmacoterapia:** valoración de la pauta antitetánica, pauta antibiótica y analgésica que sea necesaria.
- **Test de valoración biomecánica:** en el caso de *hallux valgus* valoración articular y muscular del 1º radio.
- **Cuestionario de salud:** realizar un cuestionario de fácil y rápida respuesta. El cuestionario deberá ser independiente, se anotarán datos de filiación, número de historia clínica, fecha, y firmas tanto del especialista como del paciente.
- **Consentimiento informado:** la Ley 41/2002 del 14 de noviembre señala que todas las intervenciones dentro del ámbito sanitario, requerirá el consentimiento informado de forma escrita cuando se trate de una intervención quirúrgica y/o cualquier intervención que conlleve riesgos importantes de salud. La Ley 14/2002 define: “...la conformidad libre, voluntaria y consciente de un paciente, manifestada en el pleno uso de sus facultades después de recibir la

información adecuada, para que tenga lugar una actuación que afecta a la salud". El artículo número 8 de ésta misma ley, en su segundo apartado señala que la forma escrita es obligatoria cuando la intervención sanitaria sea mediante la *"...aplicación de procedimientos que suponen riesgos o inconvenientes de notoria y previsible repercusión negativa sobre la salud del paciente"*.

La jurisprudencia delimita claramente los siguientes requisitos del documento:

1. Diagnóstico.
 2. Tratamientos alternativos.
 3. Tratamiento escogido.
 4. Riesgos generales del tratamiento escogido.
 5. Riesgos personales.
- **Hoja informativa pre-quirúrgica:** se describirán los cuidados que debe tener el paciente antes de la intervención tales como, calzado, comida, etc. Y se adjuntará la farmacología indicada pre-intervención.
 - **Hoja informativa post-quirúrgica:** se describirán los beneficios y las contraindicaciones, la pauta farmacológica, la cronología de curas y los datos de localización urgente del especialista.
 - **Parte de cirugía:** completar por parte del podólogo una vez el paciente se encuentre preparado para la cirugía. Los datos que debe tener el parte quirúrgico son:
 1. Datos del paciente
 2. Número de historia clínica
 3. Fecha
 4. Datos del equipo quirúrgico: podólogo, instrumentista, ayudante y personal circulante
 5. Patología y técnica quirúrgica
 6. Farmacología pre-quirúrgica
 7. Técnica anestésica
 8. Anestésico utilizado, dosis y hora de infiltración

9. Radiografía o fluoroscopia post-quirúrgica
10. Pulsos y tensión arterial
11. Hora de inicio y final de la intervención
12. Firma del podólogo

2. MARCO TEÓRICO

Explicada y argumentada la patología del *hallux valgus* a la que aplicaremos una técnica de mínima incisión guiada mediante una guía quirúrgica impresa en 3D y sobre la cual versa esta tesis doctoral, continuaremos estudiando las diversas técnicas quirúrgicas de mínima incisión para tratar el *hallux valgus*, además de detallar el proceso y utilización de la guía quirúrgica para corregir esta deformidad en el primer radio. También abordaremos conocimientos básicos patogénicos y anatómicos para una comprensión adecuada de las distintas técnicas quirúrgicas percutáneas. La cirugía mínimamente invasiva es bastante novedosa ya que sus inicios se constatan en Estados Unidos, sobre los años 40, y comienzan a utilizarla los podólogos para reducir o evitar las contraindicaciones al practicar otras técnicas quirúrgicas.

2.1. *Hallux valgus*: anatomía patológica

El hecho de que no existan inserciones musculares en la cabeza anatómica del primer metatarso, lo convierte en una pieza vulnerable a fuerzas deformantes externas. Al producirse la desviación de la parte distal del metatarsiano hacia el eje medio del cuerpo, los tendones flexores y extensores, y el adductor del *hallux* a través de los sesamoideos, se convierten en fuerzas desviantes. Como hemos redactado anteriormente, la aponeurosis plantar gracias a su efecto cabestrante estabiliza al primer radio, pero se va perdiendo conforme la deformidad va progresando (64). En el estudio realizado sobre los fundamentos de la locomoción humana (65), se hizo evidente que se requería un mayor conocimiento del mecanismo de soporte para la arquitectura del pie, por lo que tienen especial relevancia las propiedades mecánicas de los ligamentos, especialmente su comportamiento bajo carga. Según Straub, no hay diferencias histológicas entre las estructuras ligamentosas del pie y la fascia plantar. Este tejido ligamentoso se eligió para el estudio porque su longitud y accesibilidad permiten que se pruebe más fácilmente que con otras estructuras similares. Un intento anterior para investigar las propiedades elásticas del ligamento deltoideo se desestimó debido a sus dificultades técnicas.

En este estudio, los especímenes de la fascia plantar se sometieron a una carga progresiva en el eje largo y se midieron el alargamiento resultante y la recuperación posterior. En un estudio complementario (64), la elasticidad de la fascia plantar se probó en un sujeto vivo. Con el paso del tiempo, los tejidos que quedan lateralizados a la articulación se contraen, y los que están medializados se van distendiendo. La primera cabeza metatarsal se medializa, al mismo tiempo que la falange proximal del primero se lateraliza, y los sesamoideos que se encuentran anclados al ligamento metatarsal transversal y al adductor del primero se mantienen en el mismo lugar anatómico, por lo que pierden su posición fisiológica con la cabeza metatarsal. Con la medialización del metatarsiano, la estabilizadora de los sesamoideos (la crista) va erosionándose, lo que lleva a una pronación del primero provocando una exostosis medial de la cabeza metatarsal del primero que progresa hipertrofiándose (bunion) (45).

2.2. *Hallux valgus*: fisiopatología

La movilidad en el plano sagital del *hallux* ha sido de gran interés a lo largo de los años, pero su significado clínico real sigue siendo subestimado en algunas situaciones, incluyendo la metatarsalgia y el valgo del primer radio. El síndrome de hipermovilidad del *hallux* fue clínicamente reconocido por Courriades (66) que propuso la fusión de las dos primeras cuneiformes para reducir la movilidad sagital. Las evaluaciones in vitro fueron realizadas por el Dr. Doncker and Kowalski (66) en seis piezas anatómicas utilizando una lupa óptica con un sistema de movimiento pasivo. Recientemente se realizaron estudios in vitro más precisos para evaluar la movilidad sagital normal del primer metatarsiano (Ilustración 3). Gellman (66) encontró una media en la extensión del primer metatarsiano de 5.8. Wanivenhaus (66) midió el desplazamiento dorsal desde neutral sobre la base del primer metatarsiano y encontraron alrededor de 2.6 mm. La pregunta que surge se refiere a la posible relación de la hipermovilidad en extensión con deformidad de *hallux valgus*. El primer paso en la investigación de esta pregunta es establecer un método nuevo y preciso para evaluar clínicamente la hipermovilidad.

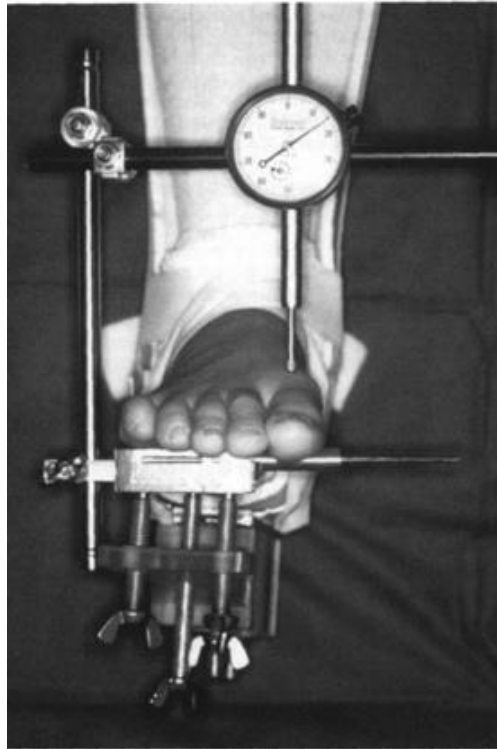


Ilustración 3: Evaluación clínica cuantitativa de la movilidad de la primera articulación tarsometatarsiana en el plano sagital y su relación con la deformidad del hallux valgus (66)

La biomecánica de la marcha ha sido estudiada a lo largo de los siglos, pero en el pasado el hombre sólo contaba con su propia observación. En este último siglo se ha producido un gran avance en el desarrollo tecnológico de análisis de la dinámica humana, desde programas informáticos que nos ofrecen datos numéricos y gráficos, otorgando estudios objetivos de marchas fisiológicas y patológicas, y de factores extrínsecos e intrínsecos que pueden modificarla (67).

Es muy importante comprender la biodinámica del primer radio y de los radios menores en las diferentes fases de la marcha (Ilustración 4) para saber qué provocan las metatarsalgias asociadas al *hallux valgus* (68):

- **Primer rocker:** el talón apoya en el suelo, por lo que el antepié no tendrá fuerzas reactivas, pero sí puede desarrollarse una malformación de dígitos en garra si durante esta primera fase el tibial anterior y el *peroneous tertius* no logran neutralizar los movimientos de plantaflexión.

- **Segundo rocker:** en esta fase se produce un contacto total de la planta del pie, es monopodal, y el punto rotacional de la tibia se establece en la tibio-astragalina. Las fuerzas reactivas actúan verticalmente sobrecargando las cabezas metatarsales y tejidos plantares de las mismas. Hay que puntualizar que la zona plantar metatarsal no se lesiona durante esta fase de la marcha, pero sí podría producirse una fractura por estrés del cuello óseo de algún metatarsiano.
- **Tercer rocker:** se produce el despegue del retropié y es cuando todo el peso se traspa al antepié. El punto rotacional lo adquieren las metatarsofalángicas y es cuando se produce la metatarsalgia propulsiva (la más común) y es debido a la carga axial provocadas en los metatarsianos y tejidos blandos, que quedan comprimidos.

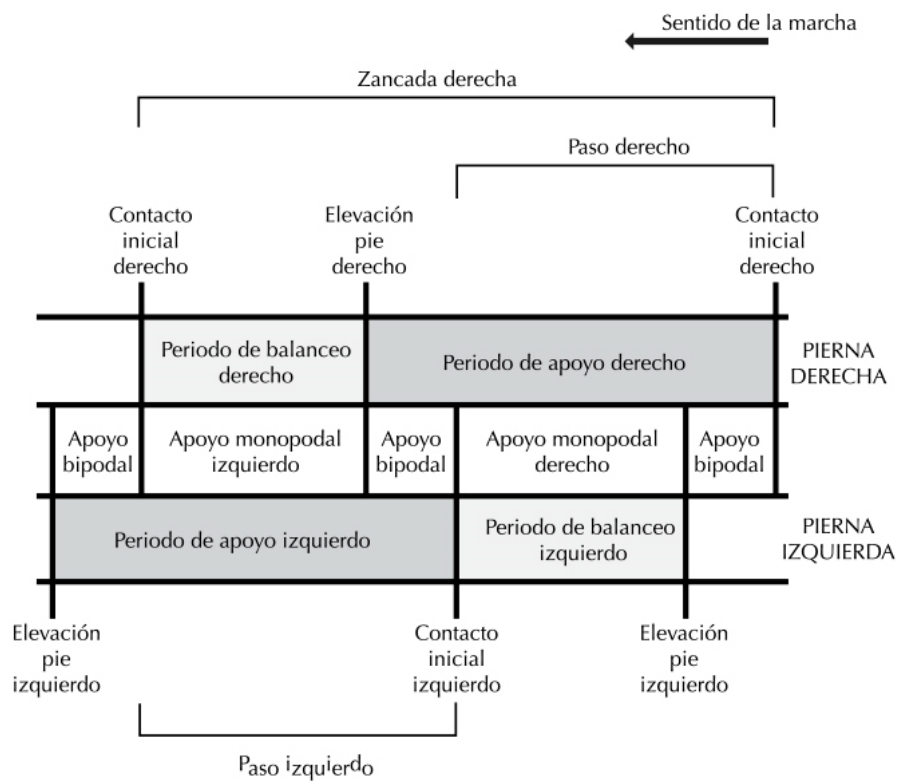


Ilustración 4: Análisis de la marcha con sus fases y variables espacio-temporales (68)

Sin embargo, se obtendrá un análisis más detallado de las fases de la marcha utilizando información cinemática, y en mayor medida con información cinética (Ilustración 5: Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría (69)). Gracias a los estudios cinemáticos se registran las variantes angulares de articulaciones, así como la inclinación, torsión y oscilación de diferentes áreas corporales. Los estudios cinéticos están enfocados en recoger las fuerzas reactivas del suelo junto con los momentos y fuerzas presenciales en articulaciones (69).

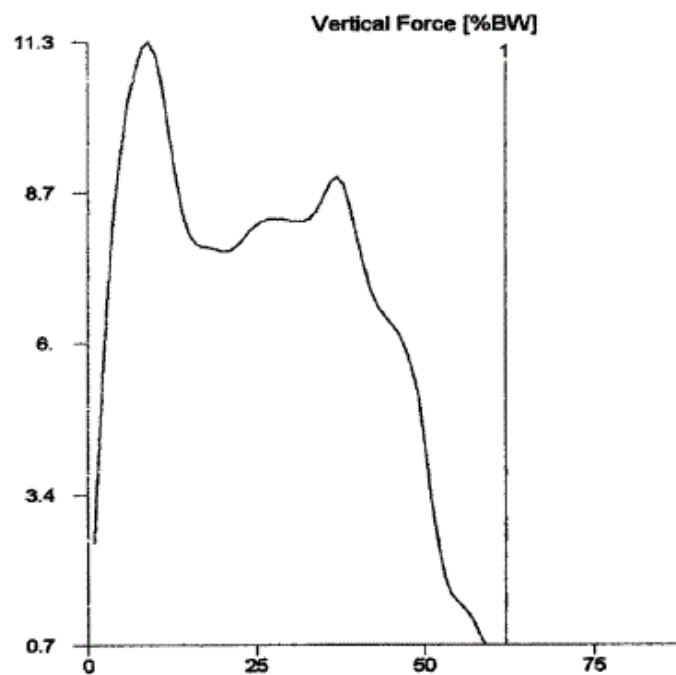


Ilustración 5: Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría (69)

2.3. *Hallux valgus*: Examen Radiográfico

El examen radiográfico se titula como el principal procedimiento para la revisión de la estructura del pie. El examen radiográfico nos ayuda a obtener una imagen directa del sistema óseo gracias a sus dos proyecciones, la estándar y las espaciales. A través de las imágenes, se debe determinar indirectamente el comportamiento en dinámico a través de las líneas y ángulos que expresan el comportamiento de estas estructuras en determinadas situaciones. Una gran mayoría de las mediciones radiográficas se centran

en los ángulos patológicos del plano transversal (radiografías dorsoplantares), y las deformidades rotacionales en el plano coronal han perdido popularidad (70,71).

2.3.1. Principales proyecciones radiográficas

El estudio mediante imágenes radiográficas del pie deberá ser complementario a la clínica. De este modo, se deberá tener en cuenta la imprecisión que tiene la valoración diagnóstica en atención a las siguientes variables (70):

- Posicionamiento correcto del enfermo en relación al chasis
- La distancia o la inclinación del tubo de rayos X
- La programación del voltaje empleado
- Inconsciencias en la evaluación de imágenes
- Instrumentos usados en la medición

El examen radiológico integral del pie deberá incluir acaecimientos básicos dorsoplantares y laterales integrados en una proyección oblicua interna o externa. Las dos primeras capturas podrán ser tomadas en decúbito y sin carga, pero sin embargo sólo expondrán la estructura anatómica de la zona, ya que al no encontrarse en carga no se podrá realizar la evaluación del comportamiento en dinámico de las estructuras del pie, por lo que será de vital importancia solicitar proyecciones en carga directa. De este modo, se obtendrán datos sobre la contribución muscular y capsuloligamentosa propias del pie. Las proyecciones estándar deberán ser requeridas a nivel bilateral, para obtener una comparativa y en bipedestación, siempre que las condiciones lo permitan. La evaluación radiográfica de la deformidad del *hallux valgus* se debe realizar mientras el paciente soporta peso y en su ángulo y base de la marcha. Las vistas estándar deben incluir vistas anteroposterior, medial oblicua y lateral. Aunque muchos ángulos y características radiográficas se describen en la literatura, algunos parecen tener más importancia clínica que otros (70,72).

Por otro lado, también existen proyecciones auxiliares que consienten definir el diagnóstico y guiar el tratamiento, como por ejemplo las proyecciones axiales para los

huesos sesamoideos. El objetivo final es manifestar directamente los aspectos estructurales del antepié además de poder evaluar la biomecánica del arco transversal, imposible en las proyecciones estándar. De este modo, podrá practicarse la técnica descrita por Holly en la que el paciente está en sedestación, pie en dorsiflexión y una banda tracciona los dígitos hacia proximal, aunque la desventaja reside en que se realiza sin carga. También, se puede recurrir a proyecciones en bipedestación (técnica de Roig-Puerta descrita por Maiotti o a la de Walter Müller). Si la observación de la radiografía lateral crea dudas, se puede completar con una proyección lateral para los huesos sesamoideos descrita por Cautson (70).

2.3.2. . Aspectos radiográficos del Hallux Valgus

Las deformidades (Ilustración 6) que se exhiben son (58):

- Varo del primer metatarsiano: en el que la valoración fisiológica aceptaría una separación de 10° entre primer y segundo metatarsiano.
- Prominencia o exostosis dorso-medial de la cabeza del primer metatarsiano, *Bunion*: en ocasiones presentará un higroma.
- Desviación del dedo gordo hacia valgo, se considera normal hasta un discreto valgo de 10° a 15° .
- Luxación externa de los huesos sesamoideos.



Ilustración 6: aspecto radiográfico del primer radio (73)

El *hallux valgus* es vuelve creciente por la disfunción muscular, debido a que los flexores del primer radio se vuelven abductores, y este movimiento en abducción no lo neutraliza el músculo aductor, que se convierte también en flexor. Conforme pase el tiempo, surgirá una artrosis que producirá sintomatología. El segundo dedo se puede ver afectado también, deformándolo en martillo o garra. Esta patología provoca un exceso de carga del segundo metatarsiano por transferencias de fuerzas, provocando un decaimiento del arco transversal del antepié. En algunos casos, se puede observar como el segundo dígito se encuentra sobre el primer dígito, también llamado segundo *supradductus*. En determinadas ocasiones esta patología evoluciona hacia un antepié triangular, que consta de *hallux valgus*, quinto dígito varizado, deformidades en martillo, y/o luxaciones de dígitos centrales (73).

2.3.3. Estudio radiográfico del primer radio: *Hallux valgus*

En la patología del *Hallux Valgus*, las imágenes radiográficas nos ayudan a decidir la vía terapéutica: proyecciones radiológicas anteroposterior y lateral en carga, incidencia de los huesos sesamoideos o una placa incidente de *Meary* con alza de retropié

radiotransparente para precisar la posición fisiológica de los sesamoideos. La examinación de estas tomas radiográficas ayuda a precisar el nivel de deformidad del *Hallux Valgus* (74).

2.3.3.1. Formas radioclínicas

Esquemáticamente, existen cinco variables de *hallux valgus*: (74)

- *Hallux valgus* juvenil o congénito de la mujer joven: Esta clase de *hallux valgus* tiene como característica principal su precoz aparición, durante la adolescencia. Se observa signos de desviación del primer radio, que cursa con dolor medial en la cabeza metatarsal cuando el pie va calzado. No existe alteración de los dígitos menores. En la radiografía se puede observar: displasia de la primera articulación metatarsofalángica, pérdida de la cresta intersemoidea, forma redondeada de la primera cabeza metatarsal, y atrofia del sesamoideo peroneal, sin embargo, la congruencia articular es correcta.
- *Hallux valgus* en el varón: principalmente de carácter congénito, aunque se manifiesta de manera más tardía, alrededor de los 40-50 años de edad. En este caso se observa la desviación del 1º dígito y la cabeza metatarsiana con forma prominente que provoca sintomatología al roce con el calzado.
- *Hallux valgus* en antepié triangular: patología común en mujer joven o de mediana edad, 40 años, con hiperlaxitud; a esta patología del primer radio se le vincula con una deformación en espejo del quinto radio (quinto varo). La cabeza metatarsal del primero es prominente, existe sintomatología al calzarse, y con frecuencia se vincula con una deformación de los dígitos laterales. En la imagen radiológica se observa un primer metatarso varizado y un valgo del quinto metatarsiano. No se ven signos de displasia de la cabeza metatarsiana, y la articulación es incongruente.
- *Hallux valgus* en pie laxo con valgo de retropié: evolución agravada de un *hallux valgus* en antepié triangular, por lo que se observará un antepié triangular, un valgo de retropié y, mayoritariamente un hundimiento del arco longitudinal interno adquirido. La hiperlaxitud hace que esta clase de *hallux valgus* tengan un

mayor índice de recidiva.

- Hallux valgus en personas con edad avanzada: agravamiento por falta de tratamiento. Se observa un hallux valgus de volumen considerable, a menudo bien tolerado, en una mujer de edad avanzada, asociado a lesiones de los radios laterales y los dedos pequeños (garras, segundo radio *supradductus*, luxaciones metatarsofalángicas, metatarsalgias, etc.). El DMAA es normal y casi siempre hay una incongruencia articular.

Este enfoque simple permite escoger una alternativa terapéutica según los trastornos estructurales. Desde luego, hay que tener en cuenta la presencia de una artrosis metatarsofalángica del primer radio (MTF1), pero también las características de la articulación supra- yacente cuneometatarsiana (orientación, movilidad), pues ambos factores podrían influir en la indicación terapéutica.

- Ángulo intermetatarsal entre primer y segundo radio (Ilustración 7): ángulo con una visualización anteroposterior en bipedestación. Las referencias lineales son la bisección del primer y segundo metatarsianos. La intersección de estas dos líneas formará el ángulo intermetatarsal. Es un ángulo muy utilizado para la valoración y clasificación de la patología articular del *hallux valgus*, con un valor normal de 0° a 8°. La deformidad se clasificará en tres:
 - Deformidad leve: caracterizada por tener de 9° a 12°.
 - Deformidad moderada: de 13° a 16°.
 - Deformidad grave: >16°

Este ángulo es el punto de partida, ya que esta básica clasificación se ha utilizado a lo largo de los años para decretar la ubicación de la osteotomía metatarsal (72).



Ilustración 7: Ángulo intermetatarsal entre primer y segundo metatarsiano.

- Ángulo *Hallux Valgus* (*Abductus*) (Ilustración 8): su valoración es con una proyección anteroposterior, y se comparan las bisecciones del primer metatarsiano y la falange proximal del 1º radio. Tradicionalmente se consideran valores normales de 0° a 16°.



Ilustración 8: Ángulo Hallux Abductus Valgus y Ángulo Interfalángico del hallux.

- Ángulo articular proximal (Ilustración 9): con visualización anteroposterior en carga, compara la línea perpendicular a la creada conectando los puntos en las extensiones más medial y lateral de la superficie articular de la cabeza del primer metatarsiano con la bisección del primer metatarsiano. Es un ángulo de gran utilidad para evaluar la relación entre la superficie articular y el eje longitudinal del primer metatarsiano. Generalmente, el rango normal se considera cuando éste es menor a 8° . Este ángulo conlleva una serie de problemas potenciales, ya que el cartílago no se visualiza y como consecuencia, se utilizan puntos óseos como referencia para aproximar la ubicación. Como consecuencia, la deformidad puede sobreestimarse o subestimarse, y puede ser necesario volver a evaluarla durante la cirugía.

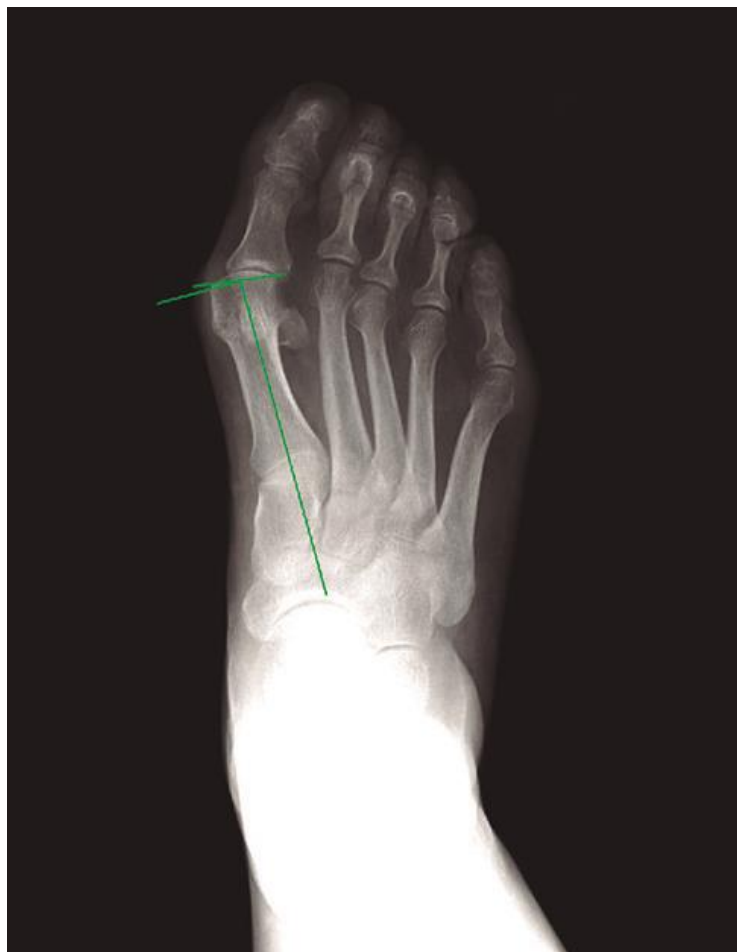


Ilustración 9: Ángulo articular proximal.

- Congruencia de la articulación Metatarsofalángica (Ilustración 10): en la proyección anteroposterior y en carga, podemos observar si existe congruencia entre la cabeza del primer metatarsiano y la base de la falange proximal. En una articulación fisiológica, estos puntos permanecerán paralelos. En una articulación subluxada o incongruente, los puntos medial y lateral de la superficie articular de la base de la falange proximal se irán lateralmente con respecto a los puntos correspondientes de la cabeza del metatarsiano. Este ángulo es muy valioso para conocer y determinar el punto de partida de la osteotomía. La forma de la primera cabeza metatarsal también deberá evaluarse. Las cabezas metatarsianas redondas se han vinculado en pacientes con *hallux abductus valgus*. Esta forma redondeada hace inestable a la articulación por no poder resistir las fuerzas de deformación, y provocando que dependa más del tejido blando circundante. La forma cuadrada de la cabeza metatarsal favorece con fuerzas inherentes y destensa a los tejidos blandos.



Ilustración 10: Congruencia de la articulación metatarsofalángica.

- Exostosis medial (Ilustración 11): La excrecencia ósea medial es habitualmente el motivo de malestar del paciente, además de ser el foco intolerante al dolor y a la adaptación al calzado. En el examen radiológico, el tamaño de la exostosis se evalúa midiendo la diferencia en milímetros entre la línea paralela al borde medial diafisario del metatarsiano, y la línea perpendicular en la mayor extensión de la exostosis medial.

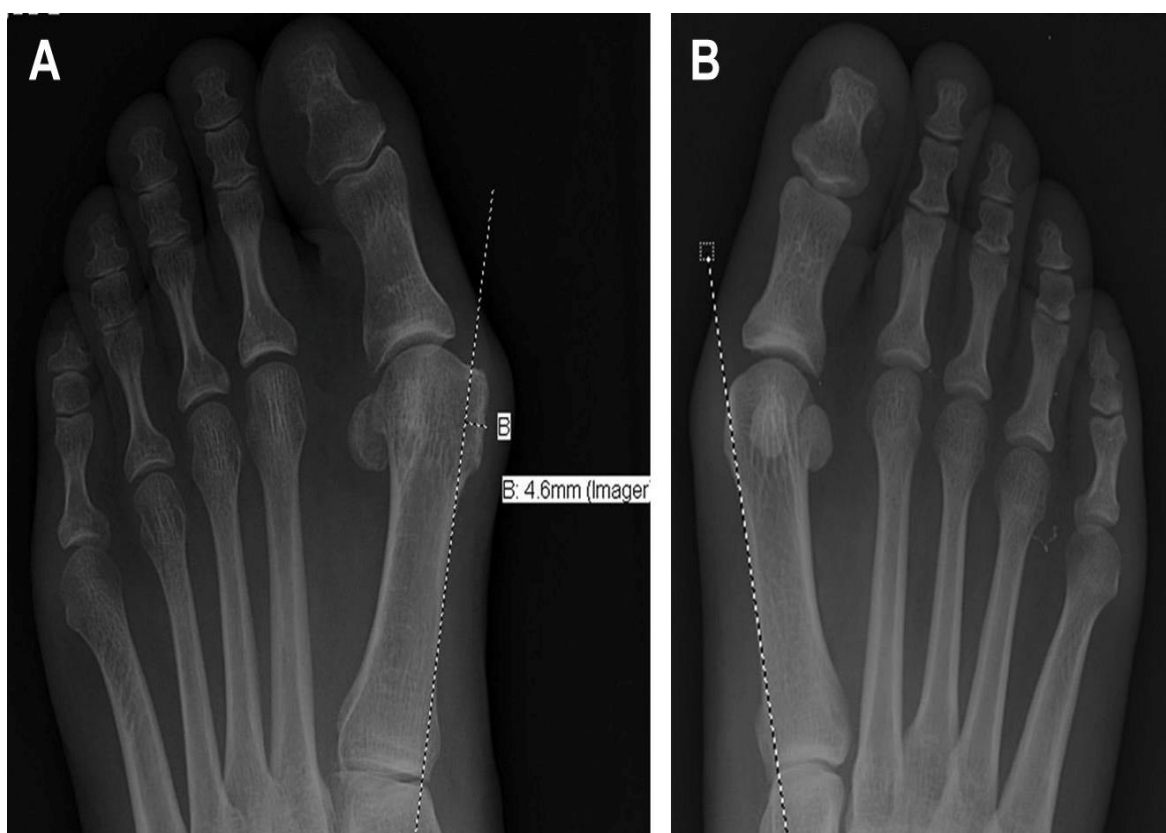


Ilustración 11: Exostosis medial de la primera cabeza metatarsal.

- Medición del primer metatarsiano (Ilustración 12): Hacer una medición de la longitud del primer metatarsiano es de gran utilidad a la hora de cómo enfocar la cirugía, ya que las osteotomías crean acortamiento. La longitud juega un papel muy importante, ya que demasiado acortamiento del primer metatarsiano podría originar anomalías metatarsianas menores y metatarsalgias, aunque esta correlación no se ha demostrado clínicamente.



Ilustración 12: Medición de la longitud del primer metatarsiano.

- Posición del sesamoideo tibial (Ilustración 13): En la patología del HAV la cabeza del primer metatarsiano se desvía hacia medial, y las inserciones de tejido blando propio de los huesos sesamoideos, particularmente el ligamento transmetatarsiano transversal profundo, anclan a los sesamoideos. Este cambio anatómico produce un desplazamiento hacia lateral de ambos sesamoideos. La valoración radiográfica anteroposterior se cuantifica con una escala del 1 al 7:
 - Valor 1: sesamoideo tibial se encuentra medial a la bisección del primer metatarsiano.
 - Valor 4: sesamoideo tibial dividido por la bisección del primer metatarsiano.
 - Valor 7: sesamoideo tibial se encuentra lateral a la línea de bisección del primer metatarsiano.

Las posiciones del 1 al 3 se consideran normales. Este estudio radiográfico sirve como referencia intraoperatoria para juzgar la reducción de la deformidad y la efectividad del procedimiento quirúrgico.



Ilustración 13: Posición del sesamoideo medial.

- Ángulo de la primera cuneometatarsiana (Ilustración 14): La articulación que forman la base del primer metatarsiano con la primera cuneiforme, tiene un papel importante en el desarrollo del ángulo intermetatarsal entre primero y segundo. El primer ángulo metatarsiano-cuneiforme (eje largo del primer metatarsiano y la superficie articular distal de la cuneiforme medial), y el segundo ángulo metatarsiano-cuneiforme (eje largo del segundo metatarsiano con la superficie articular distal de la cuneiforme medial), tienen una correlación directa con el aumento de los ángulos intermetatarsianos en pacientes con *hallux valgus* juvenil. Debido a su ubicación anatómica, una pequeña desviación al nivel más proximal puede llevar a una mayor deformidad distal. Es por ello que la primera articulación metatarsocuneana es en la mayoría de casos el centro de la patología angular en *hallux valgus*. La hipermovilidad también se considera mayoritariamente como causa del *hallux valgus*, aunque ha sido difícil de evaluar clínicamente.



Ilustración 14: Ángulo de la primera articulación cuneometatarsiana.

- Ángulo Interfalángico del primer radio (Ilustración 15): De todas las posibles causas que pueden ocasionar una deformidad con un valgo del primer dedo del pie, posiblemente el *hallux valgus* interfalángico (HVIF) es una de las menos estudiadas y con muy poca información en la literatura. El HVIF ha sido definido como aquella deformidad en valgo del primer dedo del pie por un incremento del AIF, debida a una alteración de la falange proximal, que se puede considerar una clinodactilia del primer dedo del pie. Se considera patológica cuando la desviación de una línea perpendicular a la superficie articular de la base de la falange proximal con respecto a la falange distal es superior a 10°. El objetivo de este estudio es, por un lado, realizar un análisis de las características clínicas de los pacientes que presentan un HVIF, de manera que ello permita establecer una clasificación etiológica así como conocer los factores que predisponen a la aparición de un HVIF, y por otro lado, llevar a cabo una valoración radiológica que permita establecer una escala del grado de deformidad interfalángica así como poder determinar el tratamiento quirúrgico más adecuado en cada caso para corregir la desviación en valgo del dedo (75).



Ilustración 15: Ángulo Interfalángico del primer radio.

- Ángulo de divergencia articular falángico (Ilustración 16): formado por la intersección de la línea perpendicular a la faceta articular de la base de la falange, y que pasa por el centro de la metáfisis proximal, y de la línea perpendicular a la faceta articular de los cóndilos de la falange, y que pasa por el centro de la metáfisis distal (75).



Ilustración 16: Ángulo de divergencia articular falángico.

2.4. Tratamiento quirúrgico del *hallux valgus*: Técnicas de mínima incisión

Las técnicas quirúrgicas de mínima incisión o percutáneas se han venido utilizando en los últimos años para reparar fracturas y otras lesiones de carácter traumático. Los abordajes con limitaciones y la utilización de otros aparatos, ayudan a que la guía extrínseca reduzca y fije los fragmentos. Con respecto al miembro inferior, más concretamente pie y tobillo, Ma y Griffith (76) se convirtieron en los primeros en solventar percutáneamente roturas agudas del tendón Aquileo en 18 sujetos, una técnica que actualmente se sigue utilizando. En el campo ortopodológico infantil, existen diferentes patologías que también se tratan mediante técnicas quirúrgicas percutáneas, o de elementos implantados en el seno del tarso para modificar la valguización del talón en niños/as con pies planos (77,78). A continuación, detallaremos la práctica de este concepto quirúrgico en el antepié.

2.4.1. Cirugía mínimamente invasiva del antepié

Aunque el principio de la cirugía percutánea la iniciaran los podiatras estadounidenses con el principal objetivo de evadirse de las imposiciones legislativas para trabajar con otras técnicas quirúrgicas (79), sí que se puede considerar como última evolución la cirugía mínimamente invasiva para tratar la deformidad del *hallux valgus* y patologías en radios menores (80). Durante la década de los 60 se elaboraron los motores y fresas de diseño específico para la cirugía percutánea, y durante la última década se han publicado algoritmos en base a un protocolo preoperatorio, estandarizado las prácticas quirúrgicas, aumentado su nivel correctivo de las patologías osteoarticulares, etc. Las deformidades de los radios menores son tratadas también con técnicas percutáneas e incluso realizar cirugías bilaterales en un mismo procedimiento quirúrgico.

La cirugía percutánea del *hallux valgus* se convierte en una técnica dificultosa, ya que necesitas alargar el tiempo quirúrgico y existe un riesgo de provocar daños nerviosos durante el abordaje quirúrgico (81–83).

La evolución de la cirugía mínimamente invasiva se debe a dos fuentes académicas principales: podiatras estadounidenses de los que destacan New e Isham y la de cirujanos ortopédicos de Europa (80). Los especialistas estadounidenses han desarrollado la cirugía percutánea desde los años 80, con fresas y escarpelos de diseño exclusivo para estas técnicas. Por otro lado están los cirujanos ortopédicos estadounidenses, que son bastante reacios y críticos con dichas técnicas, como por ejemplo Myerson (84,85) uno de los principales contrarios.

Aunque existen pocos estudios en los que se hayan practicado las técnicas percutáneas en sujetos de edad infantil, Gicquel *et al.* (86) estudia a 18 niños intervenidos con un alto índice hipocorrectivo post-quirúrgico, aunque la satisfacción era alta.

2.4.1.1. Sistema mini TightRope para hallux valgus: técnica modificada

El paciente debe colocarse en decúbito supino, con raquianestesia y hemostasia. La incisión de 4cm se practica medialmente sobre la articulación metatarsofalángica. Una vez hecha la incisión se realiza la capsulotomía, y la exostosectomía. Sin salirnos de la zona incisional se provoca una liberación proximal de la primera falange proximal y del adductor. Se trata de una técnica modificada puesto que la original conlleva dos incisiones cada una de 4cm. Habrá que comprobar la presión digital y que el primer metatarso sea reductible hasta obtener un valor deseado y que el ángulo metatarsofalángico sea reductible también. Seguidamente, se practica una mínima incisión de 1,5 cm en la cara lateral del segundo metatarsiano, y atravesando dicha incisión colocaremos la guía de aguja y se creará un orificio para introducir el botón oblongo, anudándolo en máxima reducción. La referencia visual deberá fijarse en los sesamoideos con respecto al primer metatarso. Finalizamos con una plicatura capsular, cerrando las incisiones con vendajes correctivos postoperatorios (87).

2.4.1.2. Osteotomía de Reverdin-isham

New e Isham fueron los primeros especialistas en podiatría en modificar la técnica quirúrgica para transformarla en mínima incisión. Esta práctica quirúrgica fue aceptada en la comunidad Europea por cirujanos franceses y españoles (88). Mariano De Prado

ha sido el primer cirujano español que popularizó la técnica percutánea, coincidiendo con la contrariedad de otros especialistas españoles del campo quirúrgico del pie (89). La técnica *Reverdin-Isham* (Ilustración 17) consiste en realizar una incisión longitudinal de 5 milímetros en la cara medial-plantar sobre la primera cabeza metatarsal. Esta incisión se practica con profundidad para llegar a la capsula de la primera articulación metatarsofalángica. Se realiza una capsulotomía y se procede a resecionar la excrecencia ósea de la cara medial utilizando una cuña *Burr 3.1* para reducir tejido óseo. Se introduce una fresa de corte en la incisión y se practica la osteotomía en cuña angulada dorsal y distalmente hacia zona plantar y caudal en área metafisaria de la cabeza metatarsal. Ésta técnica deberá realizarse con delicadeza para conservar la cortical peroneal y la articulación de sesamoideos. A continuación, después de haber comprobado con el fluoroscopio, se rotará el dedo hacia abducción para comprimir la osteotomía de *Reverdin*. El siguiente acto quirúrgico será la tenotomía del Aductor del primer radio, para ello se realiza un abordaje lateral en la primera articulación metatarsofalángica, se profundiza la incisión traspasando la cápsula articular hasta llegar al tendón Aductor del primero, procediendo a la tenotomía. Si lo indica el DASA, se realizará el *Akin*, la osteotomía incompleta de la base de la primera falange proximal respetando la cortical peroneal (90).

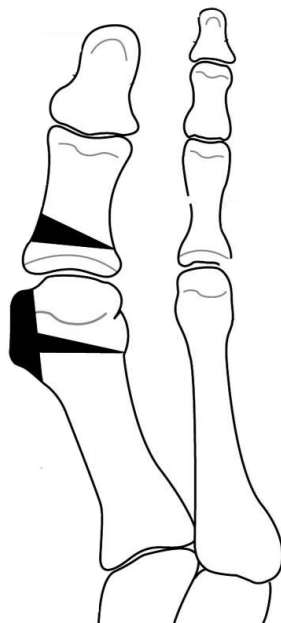


Ilustración 17: Técnica quirúrgica Reverdin-Isham.



Ilustración 18: Radiografía AP del antepié: pre y postoperatoria con técnica quirúrgica percutánea Reverdin-Isham. (89)

Mariano De Prado (91) notició en el año 2003 sus primarias conclusiones, realizando en 64 sujetos la técnica percutánea con un control de 2 años, concluyendo que tanto los resultados clínicos como radiológicos eran aptos, y se observó que mejoraban los tiempos de fijación en comparación con la técnica descrita por Bösch (92), ya que la pasta ósea formada en el fresado no se extrae adoptando una función de autoinjerto de calidad suprema.

Bauer *et al.* (93) realizan en 2009 un estudio prospectivo multicéntrico con 189 pacientes intervenidos con dicha técnica percutánea obteniendo unos resultados similares a otras prácticas percutáneas y abiertas al realizar un seguimiento de un año de duración. Como resultados también se observan que no existe un aumento de rigidez en el postquirúrgico en comparación a otras técnicas, y manifiestan la importancia de realizar un buen tratamiento rehabilitador post-operatorio con maniobras de movilización pasiva articular en la metatarsfalángica una vez pasada la primera semana tras la cirugía. Hay que puntualizar que el estudio acepta una complicación de imprecisión a la hora de realizar la osteotomía *Reverdin- Isham* que dificulta acertar el nivel de corrección del DMAA, pudiendo llegar a hipocorregir y/o hipercorregir, acompañado de incongruencia articular. En el año 2010 publican los resultados obtenidos después de 24 meses, afirmando las conclusiones, y poniendo en sobre aviso que existe una curva larga de aprendizaje y encomendando ceñir su práctica al *hallux valgus* leve y moderado (94).

Esta técnica quirúrgica es la que hemos utilizado en piezas anatómicas para la elaboración de esta tesis doctoral. El estudio aborda la problemática que encuentra el especialista a la hora de realizar la cirugía del *hallux valgus* con técnicas percutáneas, en las que como bien indican diversos autores tales como Bauer *et al.* (93), la curva de aprendizaje es muy larga y los podólogos cirujanos necesitan mucha práctica en cadáver para poder ejecutar una buena cirugía correctiva mediante técnicas percutáneas. Es por ello que para este estudio se ha patentado y puesto en práctica por podólogos con y sin destreza quirúrgica, una guía impresa en 3D para realizar las osteotomías *Reverdin* y *Akin*, de la que hablaremos más adelante.

2.4.1.3. Osteotomía Chevron y doble osteotomía percutánea

La realización de la osteotomía en *Chevron* de mínima incisión con el uso de fresas detallada por Mariano De Prado (91), si bien cuenta con una dificultosa proyección, se añade su complicada representación en la osteotomía base, en la que no define notoriamente la práctica de sujeción ni concreta la instrucción de la misma. En estudio actual que realiza Bauer (95) formula una osteotomía *Chevron* modificada percutáneamente con una línea de corte de 2 cm. Hay que puntualizar que los resultados obtenidos están presentemente en valoración.

Brogan *et al.* (96) divulgan en 2014 una innovación de la técnica de Bösch (92) en la que la osteotomía *Chevron* (Ilustración 19 e Ilustración 20) se fija con una aguja *Kirschner* que se introduce desde caudal a craneal en el primer radio, fijándola con un tornillo canulado de Barouk. Por otra parte Vernois y Redfern (97) estudian en ese mismo año la técnica quirúrgica en Reino Unido y a su vez Redfern y Perera (98) la detallan con claridad, practicando un *Chevron* 100% percutáneo sujeto con tornillos. El estudio se avala con una experiencia quirúrgica de más de 500 sujetos e instan a realizar numerosas prácticas en piezas anatómicas antes de utilizar la técnica en paciente real ya que el aprendizaje tiene una curva bastante larga. En cuanto a la doble osteotomía percutánea es una habilidad que se encuentra actualmente en perfeccionamiento. Analizando la literatura científica, encontramos un único artículo publicado, el de Lavigne (16), aunque cabe puntualizar que Isham (14) ya hace objeción de ello en el año 1991, en el que establece una osteotomía de cierre craneal y una osteotomía *Chevron* caudal, además de una liberación de la cápsula articular metatarsofalángica lateral y una osteotomía de *Akin*. El estudio solo cuenta con 6 pacientes y puntualiza realizar esta técnica quirúrgica para deformación severa del *hallux valgus*. Chaparro *et al.* (17) hace una publicación en el año 2010 sobre una técnica parecida contando con un volumen de 73 pies en 65 sujetos, con una observación post-quirúrgica de 2 años. La osteotomía craneal se realiza atravesando dorso-plantarmente con una angulación de 30° la diáfisis y posteriormente conduce la fresa hacia lateral creando una cuña. Chaparro *et al.* aplica una aguja de *Kirschner* como *joystick* y para fijar recurre a un tornillo canulado de 2,7mm.

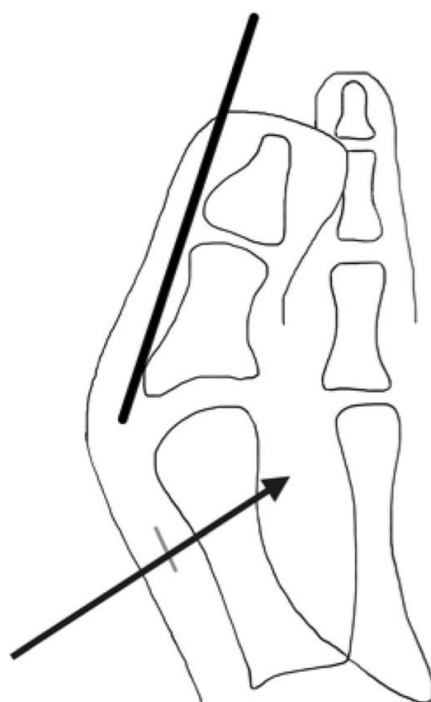


Ilustración 19: Osteotomía Chevron, técnica de corte dirigida hacia la cabeza del tercer metatarsiano.

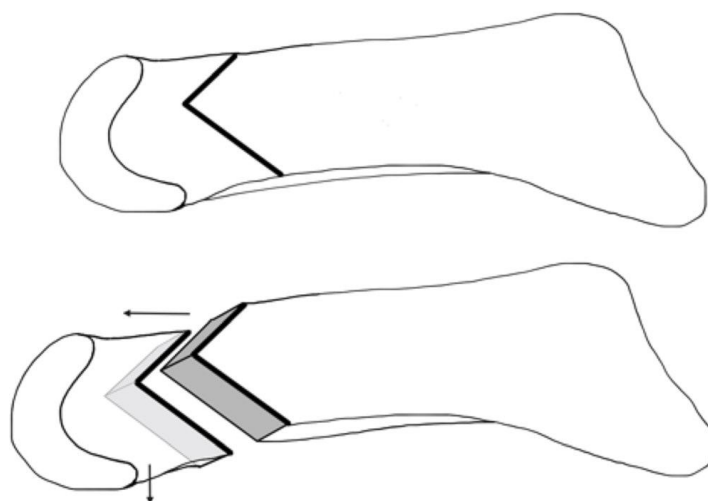


Ilustración 20: Vista lateral de la osteotomía Chevron con una extremidad superior y un ángulo distal-plantar mayores, lo que permite una mayor longitud y desplazamiento plantar

2.4.1.4. *Osteotomía de Bösch, Percutaneous Distal Osteotomy y técnica S.E.R.I. (Simple, Effective, Rapid, Inexpensive)*

Bösch *et al.* (92) utilizaron durante la década de los 90 los principios de las técnicas de mínima incisión para la deformidad del *hallux valgus* en la que propusieron la práctica de una osteotomía caudal, descrita por Lamprecht y Kramer (99), alterando también la técnica de Hohmann en la que emplearon un elemento para mover la cabeza del primer metatarsiano hacia lateral, aplicando una aguja *Kirschner* en la que se coloca intramedular desde la zona craneal y que en la zona caudal se posa medialmente a la cabeza metatarsal. Merino *et al.* (100) publican un estudio en el año 2010 los resultados de un total de 100 osteotomías con ésta técnica de mínima incisión, consiguiendo unos resultados semejantes a otras técnicas quirúrgicas abiertas y con períodos quirúrgicos más breves. Iannò (101) realizó una estudio en el año 2013 con 85 pies de un total de 72 sujetos, en las que realizó el método Bösch con una línea incisional de 2 cm, reservando la aguja a lo largo de 5 semanas, permitiendo la carga directa desde el primer día tras el procedimiento quirúrgico. En el año 2000, Portaluri (102) publicó un estudio con un volumen de 197 pies operados en 156 sujetos, con resultados radiológicos parejos a los de Bösch *et al.* (92). Magnan *et al.* (15) publicaron en el año 97, una pequeña alteración de la técnica percutánea que plantea Bösch, designándola “*Percutaneous Distal Osteotomy*” (P.D.O.) en la que crean una osteotomía cortical utilizando una fresa de corte tipo Lindenmann. Radwan y Mansour (103) elaboraron un estudio prospectivo comparativo en el que realizaron en 31 sujetos la técnica *Percutaneous Distal Osteotomy* y en 33 sujetos la osteotomía *chevron*. Obtuvieron unos resultados en el que observaron que solo había una media de 7 minutos de diferencia respecto al tiempo quirúrgico con la osteotomía percutánea. La recuperación de ángulos radiológicos y tiempo de fijación fue afín. La osteotomía *Chevron* desvelaron malos resultados en comparación al movimiento articular postquirúrgico, no hallándose consolidaciones viciosas o pseudoartrosis en el grupo que se realizaron la técnica *Percutaneous Distal Osteotomy*.

Roth *et al.* (104) realizaron un estudio comparativo entre la osteotomía Bösch y la de Hohmann-Kramer y objetaron que los inconvenientes de infección, y pseudoartrosis fueron más distinguidas en los de cirugía de mínima incisión.

En 2003, Giannini (105) publica una técnica que él mismo nombra S.E.R.I. (Simple, Effective, Rapid, Inexpensive). Se trata de una técnica Bösch modificada, en la que evita la utilización de una guía para colocar la aguja *Kirschner* dentro del canal intraóseo (Ilustración 21), además de evitar el uso radioscópico intraoperatorio. Para realizar esta osteotomía se utiliza una microsierra proyectando una incisión de 1 cm. Posterior a este estudio publica otro en el que compara la técnica S.E.R.I. con la técnica de *Scarf*. en 20 sujetos con deformación de *hallux valgus* a nivel bilateral. El estudio consiste en realizar un *scarf* en uno de los pies, y en el otro su propia técnica. Se realizó un control al año y otro a los 7 años observándose que las correcciones del *hallux valgus* fueron parecidas en ambos grupos. El tiempo quirúrgico fue significativamente menor en el grupo que se realizaron la técnica S.E.R.I.

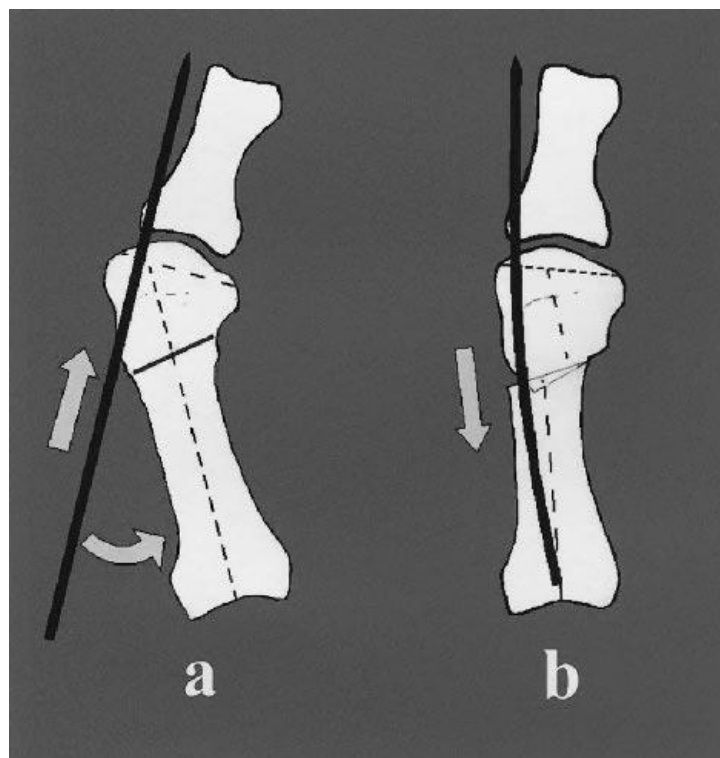


Ilustración 21: Corrección del ángulo articular metatarsal distal (A). La aguja Kirschner se inserta en el tejido blando con una inclinación medial-lateral de acuerdo con la corrección del ángulo articular metatarsal distal (B). (105)

Scala y Vendettuoni (106) alteran mínimamente la técnica Bösch en un volumen de 146 pies de 126 sujetos. Esta pequeña modificación se refleja en doblar la aguja intramedular en su lado más caudal e introduciéndola en la cabeza metatarsal para estabilizarla. La técnica se realiza mediante mínima incisión. Maffulli *et al.* (107) comparan en 2009, 36 osteotomías *Scarf* frente a 36 osteotomías Bösch. Al grupo que se le practicó la técnica Bösch tuvo un tiempo quirúrgico menor que a los que se le practicaron la técnica *Scarf*, y los resultados radiográficos obtenidos fueron similares en ambos. El proceso anestésico fue el mismo, mediante anestesia general e isquemia. La técnica quirúrgica fue de mínima invasión con una vía incisional caudal de 2 cm de longitud. La fijación se realizó con dos agujas Kirschner cruzadas para sujetar la cabeza metatarsal, y así evitar su descolocación (Ilustración 22). En este estudio se consintió la carga inmediatamente después del procedimiento quirúrgico.



Ilustración 22: Radiografía postoperatoria de un hallux valgus manipulado mediante la realización de una osteotomía mediante técnica mínimamente invasiva con fijación mediante dos agujas Kirschner cruzadas.(106)

En las revisiones bibliográficas de la literatura científica realizadas por Maffulli *et al.* (108), y Trnka (79) se han recolectado las publicaciones hasta la actualidad creando una lectura juiciosa. Roukis (109) recalca una escasez de estudios de alta evidencia científica fundamentándose en la categorización que hace el *Journal of Bone and Joint Surgery* del año 2003.

Trnka (79) opina que aun siendo frecuentes las conferencias sobre cirugías de mínima incisión en congresos, en la bibliografía científica no hay suficientes. Además, refiere que las contraindicaciones que adoptan este tipo de técnicas son menores en la bibliografía científica a las que se expone el cirujano en la práctica quirúrgica diaria, estando relacionado a que los estudios publicados se realizan en centros expertos en técnicas percutáneas o de mínima incisión. Es de especial interés la publicación que realizan Kadakia, Smerek y Myerson (84), que comienzan un estudio prospectivo evaluando un procedimiento quirúrgico parecido a la de Bösch. Tristemente, el estudio no finaliza debido a los inadmisibles incidentes y complicaciones, como puede ser la irreductibilidad, desplazamiento de la aguja *Kirschner* y la fijación con deslizamiento hacia dorsal de la cabeza del primer metatarsiano.

2.4.1.5. Otras técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas

Actualmente, en la práctica quirúrgica diaria se procede a la doble osteotomía para un *hallux valgus* severo y la osteotomía *Reverdin-Isham* la realizamos en caso de que el DMAA se encuentre aumentado y el ángulo intermetatarsal entre primero y segundo sea menor a 12°. Existe otro procedimiento quirúrgico interesante, el propuesto por Sanchis (110), que modifica la original de Holmes (111) a una técnica quirúrgica percutánea.

2.5. Cirugía mínimamente invasiva del *hallux valgus*: complicaciones

Tener una gran experiencia en el campo quirúrgico, realizar una correcta valoración radiográfica y una minuciosa exploración clínica, realizar un protocolo quirúrgico adecuado, y seguir un buen post-operatorio colaborando mutuamente con el paciente, nos libra de complicaciones. Siendo un procedimiento quirúrgico frecuente en nuestros tiempos, el porcentaje de complicaciones está entre el 10% y el 55% según bibliografía

publicada (112). La recidiva, la sobrecorrección, la pseudoartrosis, necrosis, infecciones, lesiones nerviosas, transferencia de cargas, etc. son algunos de los muchos inconvenientes post-quirúrgicos.

Es verdad que, para prevenir futuras complicaciones, el buen procedimiento y estudio prequirúrgico es muy importante. Las preguntas por parte del paciente deben ser esclarecidas y aclaradas por parte del especialista. La recuperación post-quirúrgica puede alongarse en el tiempo y ser muy doloroso, por lo que es de gran importancia que el paciente tenga unas expectativas realistas. Habrá que realizar una exploración completa, no solo las patologías deformativas del antepié, sino también estudiar el mediopié por si existiese una hiperlaxitud de la cuneometatarsiana, y también el retropié (varo o valgo) así como la valoración del tendón aquileo y del complejo gastrosóleo. También habrá que hacer un estudio minucioso de la dermis, del sistema vascular del miembro inferior, etc.

Finalmente las tomas radiográficas deberán ser muy bien valoradas prequirúrgicamente, ya que por ejemplo, la presencia de una subluxación hace que el riesgo de que la deformidad vuelva a aparecer aumente (113).

La cirugía mínimamente invasiva es un procedimiento quirúrgico que invita a practicar diferentes intervenciones sobre las deformidades del pie. Este tipo de cirugía, precisa de un control fluoroscópico durante todo el tiempo que dure la cirugía ya que el cirujano debe comprobar en cada momento donde colocar su instrumental para realizar el gesto quirúrgico, además se necesita un alto conocimiento anatómico y una excelente orientación de gestos quirúrgicos por parte del especialista cirujano, lo que complica la práctica de las técnicas de mínima incisión.

2.6. Guía quirúrgica impresa en 3D para cirugía mínimamente invasiva

La cirugía ortopédica actual tiende a practicar cada vez más este tipo de técnicas mínimamente invasivas ya que reducen las complicaciones de la cirugía abierta tradicional, y mejora acortando el proceso de recuperación posquirúrgica. Para obtener resultados satisfactorios con esta técnica se necesita un material instrumental específico

básico, motorizado y de control radiológico, así como una técnica quirúrgica refinada y un personal calificado y experimentado como hemos explicado anteriormente (114).

La innovación se convierte en algo esencial para progresar dentro del campo quirúrgico del pie, y los instrumentos quirúrgicos deben mejorarse para obtener mejores resultados para que puedan ser más confiables, reproducibles y seguros (115).

2.6.1. *Diagnósticos por imagen*

El diagnóstico por imagen es concluyente a la hora de realizar cualquier tratamiento quirúrgico. En este sentido, la radiografía proporciona una visión global de las estructuras anatómicas que permiten al especialista una primera proximidad diagnóstica con el paciente. Según las particularidades anatómicas del paciente, se ejecutará una tomografía computarizada (TC) ofreciendo un perfil morfológico real de la zona anatómica a tratar con una valoración tridimensional gracias a los sucesivos cortes perpetrados (116).

Velasco *et al.* (117) publica en el año 2008 un estudio sobre la cirugía guiada por ordenador. El diagnóstico mediante imagen radiográfica permite valorar las estructuras anatómicas y se obtienen datos diagnósticos por imagen gracias a la tomografía computarizada (TC) y programas informáticos como por ejemplo el programa *Facilitate Neoguide* que mejora notoriamente la proyección del tratamiento con una perspectiva tridimensional que certifica una inserción controlada de los implantes gracias a la cirugía guiada.

Los datos que ofrece la tomografía computarizada no pueden ser manipulados dinámicamente por el especialista para designar las localizaciones e inclinaciones de los gestos quirúrgicos, pero cabe puntualizar que las técnicas tridimensionales emergentes mediante tomas de imagen asistidas informáticamente han revolucionado este campo ya que consiente al especialista estudiar en un modelo anatómico virtual, con localizaciones alternativas de los gestos quirúrgicos y de este modo poder constituir un protocolo quirúrgico más propicio e individualizado al paciente (118–120). Se puede

decir entonces que, una vez se haya estudiado al completo de forma individual al paciente y se haya elegido el tratamiento óptimo, se realizaría una férula o guante quirúrgica expresamente elaborado al paciente. De este modo, los otros sistemas acuerdan en configurar una guante guiado y rígida para ser colocada en el lugar anatómico correspondiente (121).

2.6.2. Nuevas tecnologías y avances en la cirugía de mínima incisión del pie

Las técnicas quirúrgicas de mínima incisión aplicadas al pie, han evolucionado notablemente desde que las primeras publicaciones por parte del Dr. Isham (122) ofreciesen un gran abanico de procedimientos quirúrgicos que proporcionan una corrección efectiva de las patologías podológicas como el *hallux valgus*.

Estas técnicas tienen un gran reconocimiento debido a que su efectividad es comparable a los procedimientos quirúrgicos abiertos tradicionales. Las técnicas mínimamente invasivas se pueden aplicar en pacientes con compromiso médico y a los que se recuperan adecuadamente de los tradicionales métodos abiertos (123).

Estas técnicas requieren habilidades particulares y una alta curva de aprendizaje. Por esta razón, a través de esta investigación, se crea una guía quirúrgica para la cirugía de mínima incisión del pie con capacidad de ubicación y orientación, permitiendo que los especialistas sin destreza en gestos quirúrgicos y que no están capacitados para realizar las técnicas de cirugía mínimamente invasiva realicen la cirugía sin los riesgos habituales. Además, con estas técnicas quirúrgicas son necesarios los continuos controles fluoroscópicos intraoperatorios ya que al tratarse de incisiones mínimas la visualización del campo quirúrgico es nula, aumentando las complicaciones ya que se podrían lesionar estructuras anatómicas importantes debido a la falta de visión o la falta de experiencia en las propias técnicas (5).

Somos conscientes de la relevancia científica que tienen los avances en la cirugía y la importancia de tener notables resultados. En el año 2002 (124,125), surge una nueva modalidad de cirugía mínimamente guiada asistida por ordenador en el campo odontológico. En esta novedosa cirugía guiada asistida por ordenador, la posición e

inclinación de los gestos quirúrgicos vienen de los datos obtenidos en la tomografía computarizada y de la planificación con el software informático. La planificación rehabilitadora en el campo quirúrgico se realizará entonces con la guía quirúrgica fabricada con un proceso de protocolo rápido.

Las nuevas tecnologías, así como los avances en imagen médica empujan a que se mejoren las técnicas tradicionales de cirugía del pie, implementándose con nuevas formas de guiado para realizar dichas intervenciones. En la actualidad es relativamente fácil obtener una reconstrucción 3D gracias a las imágenes DICOM obtenidas de TAC o resonancia magnética y reconstruirlas con un software específico, obteniendo una imagen perfecta que podremos manipular en el ordenador. Michael S. Pinzur (126) afirma que antes de un enfoque propio actual basado en los niveles de evidencia, utilizamos el aprendizaje basado en la experiencia para guiar nuestro tratamiento. Algunos de estos expertos utilizan la metodología de prueba y error para ganar experiencia y otros ofrecen soluciones de alta tecnología para cambiar rápidamente los parámetros. La introducción de las soluciones de alta tecnología para la artroplastia total de cadera y rodilla parecía radical, pero a medida que se adquiere experiencia, se ofrecen las opciones de alta tecnología a pacientes más y más jóvenes. El mundo se mueve muy rápido y hay que estar abiertos a nuevos proyectos. El trabajo es probar con nuevas ideas de manera cuidada y éticamente correcta. Cada generación enfrenta nuevos retos. Se necesita probar cuidadosamente las nuevas innovaciones para determinar qué ofertas ofrecen beneficios y cuáles no. Es el equilibrio entre la innovación y el progreso.

Hoy en día existe tecnología similar en otras áreas sanitarias como en la odontología (6), donde colocan implantes planificados y guiados por ordenador, evitando dañar estructuras significativas adyacentes a la cirugía. Hasta la actualidad, la planificación prequirúrgica se realizaba mediante radiografías 2D y la goniometría oportuna para cuantificar dónde y cuánto debe realizarse la osteotomía.

Gracias a la planificación tridimensional, los software como *Maya*, *3D Max Studio* o *Mimics* un *software* de segmentación medica en 3D (127), se puede realizar una planificación virtual para posteriormente enviar la plantilla quirúrgica o la guía

quirúrgica a fabricación mediante prototipado rápido (7).

La guía quirúrgica de corte es un instrumento preciso y que sirve de gran ayuda al podólogo para realizar la cirugía mínimamente invasiva del pie, lo cual queda demostrado en el estudio realizado por Hetherington *et al.* (128) con otras guías quirúrgicas a cielo descubierto. Otros estudios como el de Otani, Teter *et al.* (129–131) en los años 90 también obtuvieron resultados que demuestran líneas de cortes más exactas en cirugías como artroplastia de rodilla. Sin embargo, no hay mucha información en la literatura científica sobre el uso de guías de osteotomías en la cirugía podológica.

Las guías son realmente importantes para para realizar las osteotomías correctamente, sobre todo en la cirugía del primer metatarsiano (Ilustración 23). Deben ser consideradas para su uso en los tratamientos quirúrgicos para las deformidades como el *hallux valgus*, con el principal objetivo de obtener una correcta alineación de corte y ángulo, restaurando la normalidad funcional del pie en la máxima brevedad posible y evitando posibles efectos no deseados debido a una mala alineación de las osteotomías.

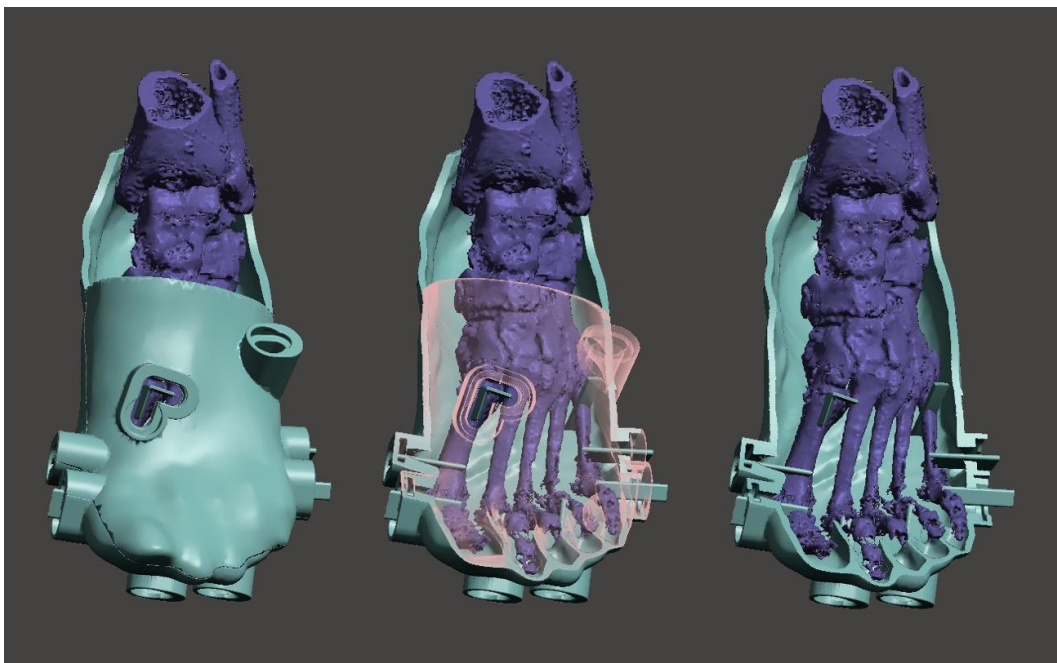


Ilustración 23: Diseño del guante quirúrgico en 3D con sus guías para las osteotomías de mínima invasión.

3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Es un hecho incuestionable que las técnicas quirúrgicas evolucionan constantemente y progresan hacia abordajes quirúrgicos cada vez menos invasivos y traumáticos para el paciente. El mundo de la cirugía ortopédica no se queda atrás, puesto que la cirugía M.I.S. (*Minimally Invasive Surgery*) trata desde fracturas y deformidades, hasta intervenciones protésicas. Es en el campo quirúrgico de pie y tobillo donde la cirugía de mínima incisión presenta su propia condición. Como hemos constatado anteriormente, las nuevas tecnologías y la innovación se vuelve esencial para ayudar al avance, y más aún dentro del campo quirúrgico del pie (115). Actualmente la tecnología ha avanzado notoriamente en otros campos sanitarios tales como en el área odontológico (6), donde ya están trabajando con implantes planificados y guiados por ordenador. Hasta día de hoy, la planificación prequirúrgica se realizaba gracias a las radiografías y la goniometría oportuna para conocer dónde debe realizarse la osteotomía.

La cirugía de mínima incisión se caracteriza por tener una larga curva de aprendizaje, puesto que los podólogos necesitan dedicación absoluta, un gran conocimiento anatómico y muchas horas de prácticas en piezas anatómicas antes de realizar una cirugía percutánea en paciente real. Una de las grandes desventajas que tiene la cirugía MIS es la exposición constante del podólogo a la radiación que produce el fluoroscopio. El fluoroscopio es un elemento totalmente necesario en quirófano para realizar este tipo de cirugías, ya que sirve de herramienta de orientación anatómica (5).

La guía quirúrgica impresa en 3D para realizar las osteotomías *Reverdin* y *Akin* en la cirugía del *hallux valgus* mediante técnicas quirúrgicas de mínima incisión, basada en la idea patentada por el Dr. Javier Ferrer Torregrosa y el Dr. Sergio García con patente europea número 13863530, se diseña y se valida para comparar los resultados radiográficos pre y post-operatorios de las osteotomías realizadas con la guía quirúrgica completa en esqueléticos y pies anatómicos, y con la guía quirúrgica estándar en pies anatómicos, comprobar si la utilización de la guía quirúrgica interviene en la curva de aprendizaje de los resultados obtenidos, para reducir la exposición radiológica al

personal de quirófano, y para que el podólogo realice las osteotomías con técnicas quirúrgicas percutáneas sin necesidad de tener una gran experiencia y orientarse anatómicamente con destreza sin la necesidad de fluoroscopia. La guía quirúrgica impresa en 3D es utilizada en este estudio en un volumen total de 33 piezas anatómicas, 15 pies esqueléticos de resina, 1 guante impreso en 3D para la pieza esquelética de resina, 3 guantes individualizados impresos en 3D, y 1 pieza estándar impresa en 3D.

El estudio ha consistido en la creación de tres grupos formados por; estudiantes del grado de podología, estudiantes del master universitario de cirugía de mínima incisión del pie para podólogos, podólogos con experiencia podológica de 5 años, podólogos con experiencia quirúrgica de un año, y podólogos expertos en cirugía, que han realizado la técnica *Reverdin-Isham* en piezas anatómicas con y sin guiado quirúrgico. Al realizar las osteotomías con la guía quirúrgica se reducen los tiempos de exposición a la radiación fluoroscópica puesto que no existe la necesidad de orientarse anatómicamente, además los gestos quirúrgicos del *Reverdin* y del *Akin* se proyectan en el lugar anatómico adecuado evitando los riesgos de dañar estructuras importantes.

Gracias al estudio y diseño tridimensional, los *software* tales como *Maya*, *3D Max Studio* o *Mimics* de segmentación médica en 3D (125), se puede realizar una planificación virtual para posteriormente enviar la plantilla quirúrgica o la guía quirúrgica a fabricación mediante prototipado rápido (127). Las guías quirúrgicas impresas en 3D, al encontrarse personalizadas para cada pie, se convierten en un elemento indispensable para aquellos podólogos que no tengan una gran destreza quirúrgica y se encuentren empezando en el mundo de la cirugía percutánea del pie, otorgándole seguridad y confianza en sus gestos y maniobras.

La guía quirúrgica de corte es un instrumento preciso para la cirugía mínimamente invasiva del pie, lo cual queda constatado en el estudio realizado por Hetherington *et al.* (128) con otras guías quirúrgicas a cielo descubierto. Otros estudios como el de Otani, Teter *et al.* (129–131) en los años 90 también obtuvieron resultados con líneas de corte más exactas en cirugías de rodilla. Según Weil Jr (132) los objetivos principales

quirúrgicos para un *hallux valgus* deberán contar con resultados correctivos y sin recidivas en el tiempo, una articulación sin dolor y con una amplitud de movimiento articular fisiológica, la posibilidad de realizar la cirugía bilateralmente, que no haya una gran limitación de actividad diaria en el post-quirúrgico, que se obtenga un resultado estético, y que se pueda aplicar la cirugía tanto en niños como adultos y en *hallux valgus* leves, moderados y severos (133).

Las guías son realmente importantes para realizar las osteotomías correctamente, sobre todo en la cirugía para el *hallux valgus*. Deben ser consideradas para su uso en los tratamientos quirúrgicos para las deformidades del antepié, con el principal objetivo de obtener una correcta alineación de corte y ángulo, restaurando la normalidad funcional del pie en la máxima brevedad posible y evitando posibles efectos no deseados debido a una mala alineación de las osteotomías. Por ello, en los apartados que siguen a continuación detallaremos la guía quirúrgica impresa en 3D y su aplicación en las piezas anatómicas.

4. HIPÓTESIS

La guía quirúrgica impresa en 3D consigue realizar las osteotomías *Reverdin* y *Akin* sin error de ejecución y localizadas en las zonas anatómicas planificadas en el prequirúrgico, consigue reducir las complicaciones intraoperatorias y minimiza la curva de aprendizaje.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo principal

- I. Diseñar y validar una guía quirúrgica para realizar las técnicas de cirugía de mínima incisión.

5.2. Objetivos secundarios

- II. Comparar los resultados radiográficos pre y post-operatorios de las osteotomías realizadas con la guía quirúrgica completa en esqueléticos y pies anatómicos, y con la guía quirúrgica estándar en pies anatómicos.
- III. Comprobar si la utilización de la guía quirúrgica interviene en la curva de aprendizaje de los resultados obtenidos.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio lo dividiremos en tres fases:

- Fase 1: diseño conceptual, validación de las guías de corte en esqueléticos, y proceso de obtención de un prototipo.
- Fase 2: diseño a medida del guante quirúrgico completo personalizado e impreso en 3D.
- Fase 3: diseño y obtención de la guía quirúrgica estándar impresa en 3D.

6.1. Instrumental utilizado para todas las técnicas

El instrumental utilizado para las técnicas quirúrgicas de mínima incisión, y por lo tanto utilizado durante todo el ensayo quirúrgico de la tesis doctoral ha constado de:

- Bisturíes desechables *64MIS*
- 1 mango de bisturíes desechables *64MIS*
- Fresas *Shanon Isham* largas
- Micromotor *OSANA*
- Un fluoroscopio
- 3 guías quirúrgicas completas impresas en 3D en resina poliamida 12
- 1 guía estándar impresa en 3D en resina poliamida 12
- Equipo radiográfico Flat Panel
- Batas plomadas
- Guantes quirúrgicos

6.2. Muestra para cada una de las técnicas

Las muestras utilizadas para realizar las técnicas quirúrgicas de mínima incisión han constado de:

- 15 esqueléticos de resina.
- 33 pies de cadáver.

6.3. Fase 1: Diseño conceptual, validación de las guías de corte en esqueléticos, y proceso de obtención de un prototipo

La guía quirúrgica es un elemento de guiado y contención para realizar las diferentes osteotomías e intervenciones mediante técnicas de mínima invasión en el pie. Gracias a la proyección y uso de esta guía, se pretende evitar las complicaciones que se producen en el acto quirúrgico cuando se realizan técnicas percutáneas. Esta guía minimiza las probabilidades de error existentes en la habilidad y destreza quirúrgica que tenga el especialista. Características del guante quirúrgico:

- El guante quirúrgico es un guante rígido de unos pocos milímetros de espesor que recubre el pie del paciente, manteniendo la posición patológica con la que se obtuvo la imagen diagnóstica.
 - El guante dispone de unas áreas de incisión donde se le ajustan piezas guías mediante las cuales se realizarán las osteotomías, tenotomías y capsulotomías.
- (Ilustración 24)

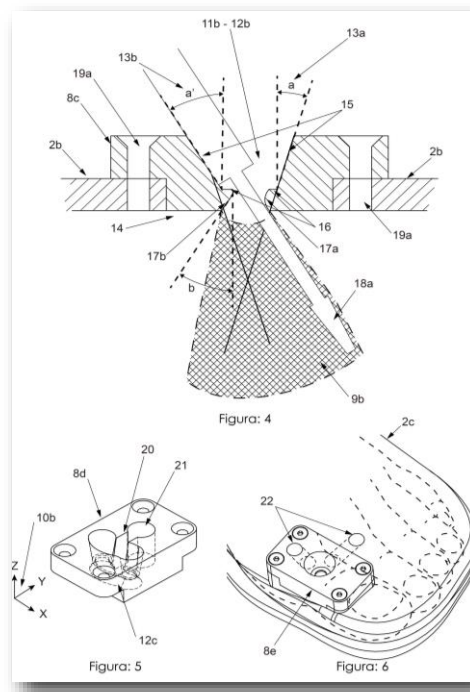


Ilustración 24: Diseño de las guías quirúrgicas.

Para poder realizar las incisiones en partes blandas o en tejido óseo, deberemos tener control sobre los tres ejes X, Y, Z. De esta forma podremos controlar tanto la longitud como la dirección de las osteotomías, y mediante los topes existentes en las fresas quirúrgicas controlaremos la profundidad.

Para esta primera fase del estudio se utilizaron 15 piezas esqueléticas de resina con patología del primer radio en *hallux valgus* (Ilustración 25), y se les practicaron las osteotomías de *Reverdin*, *Akin* y Base del primer metatarsiano. Una vez realizados los gestos quirúrgicos sobre la resina expansiva se moldearon con plastilina dándole forma de pie. (Ilustración 26)



Ilustración 25: Pieza esquelética de resina expansiva con diferentes patologías de antepié.



Ilustración 26: Moldes de plastilina para simular pie del paciente.

Seguidamente, se procedió a la realización de un TAC a la pieza esquelética moldeada con plastilina en forma de pie para poder tratarlo virtualmente mediante un archivo *DICOM* y diseñar la cirugía. El archivo se carga en la aplicación *Osirix* para su reconstrucción tridimensional exportándolo a un archivo *.stl para importarlo en *Autodesk Maya* versión 14, obteniendo el mismo pie virtualmente (Ilustración 27). Gracias al *software* se procede a realizar las osteotomías, además de configurar las piezas de guiado que van impresas con el guante (Ilustración 28 e Ilustración 29).

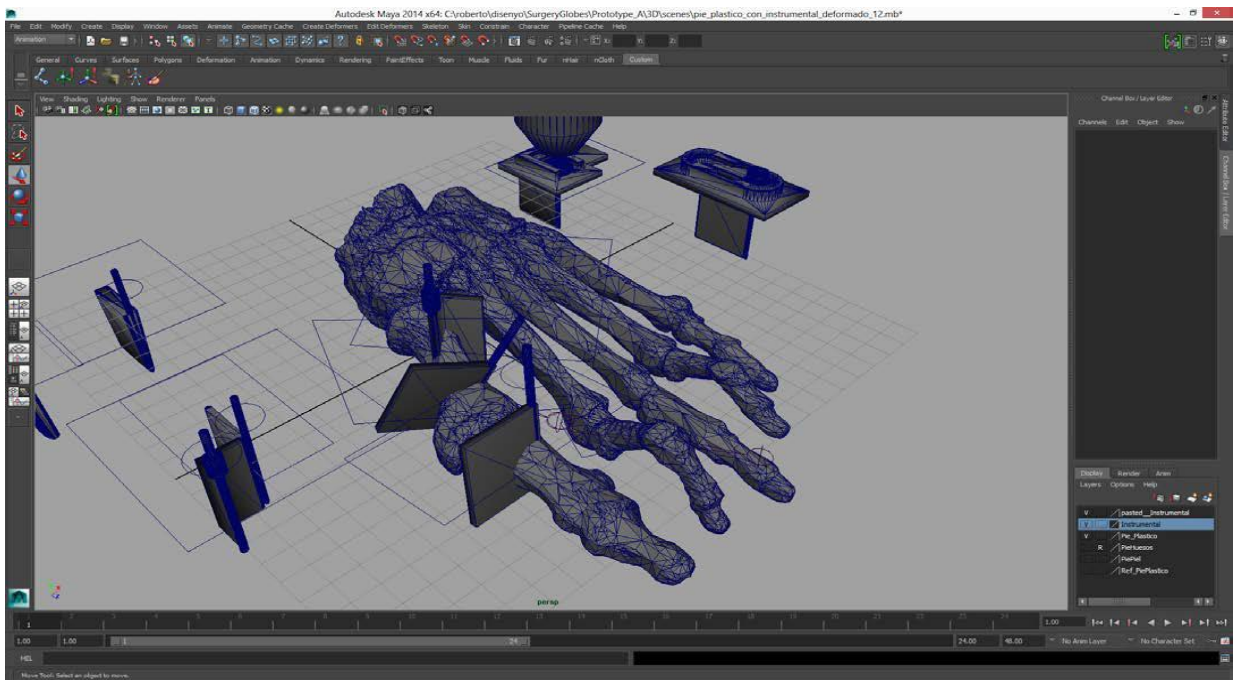


Ilustración 27: diseño de las osteotomías en Autodesk Maya.

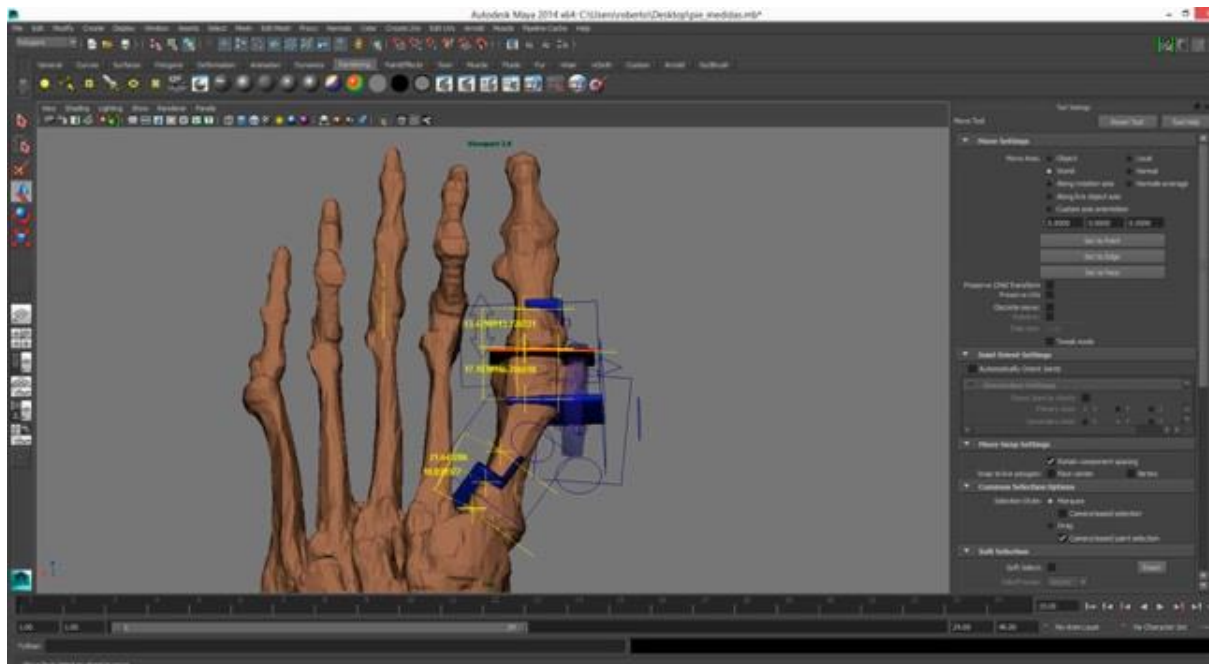


Ilustración 28: Diseño de las osteotomías Reverdin, Akin y Base con el programa Autodesk Maya v14



Ilustración 29: Diseño de las osteotomías Reverdin, Akin y Base con el programa Autodesk Maya v14

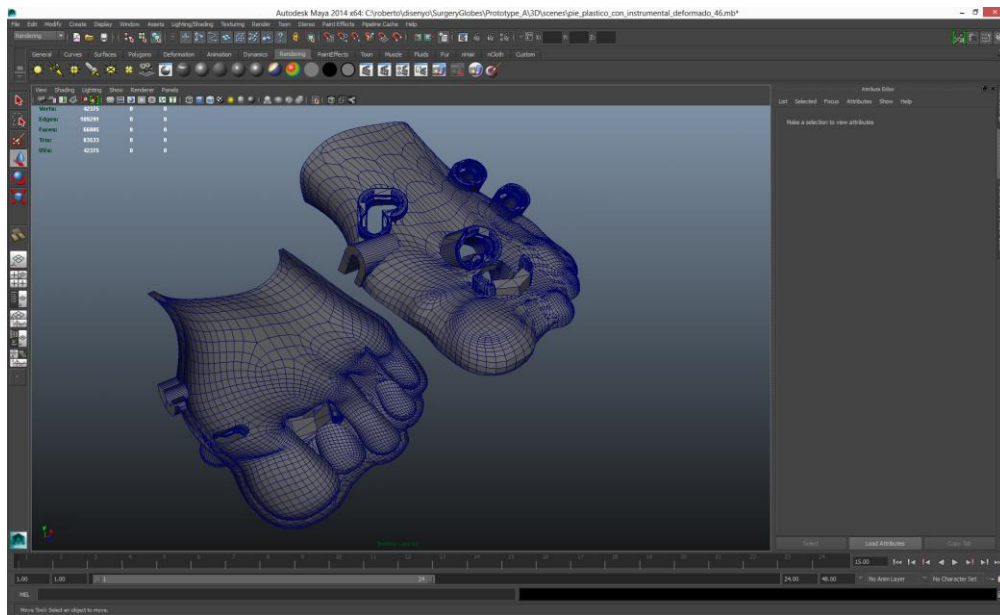


Ilustración 30: Obtención del guante virtual con sus guías quirúrgicas para las osteotomías Reverdin, Akin y Base con el programa Autodesk Maya v14

Una vez realizado el proceso del diseño quirúrgico obtendríamos la guía quirúrgica a medida de los esqueléticos utilizados (Ilustración 30). Gracias al archivo *.stl obtenido se imprime el guante quirúrgico mediante tecnología 3D Estereolitografía (SLA). Tolerancias: $\pm 0.3\text{mm}$ ó el $\pm 0,3\%$, con la empresa AIMME, Instituto tecnológico metalmecánico, utilizando como material una resina *DSM NEXT*. (Ilustración 31)



Ilustración 31: Guante quirúrgico impreso en resina Osetana, con sus respectivas guías y topes de profundidad de corte.

6.3.1. Validación de la guía quirúrgica obtenida en la primera fase:

Como hemos explicado anteriormente, durante esta primera fase del estudio se realizó una simulación quirúrgica sobre una pieza esquelética de resina expansiva, sobre la cual se proyectaron las distintas osteotomías para la patología del *hallux valgus*: osteotomías de Base del primer metatarsiano, *Reverdin* y *Akin*. Durante el proceso de validación, tres especialistas clínicos con diferentes niveles de experiencia quirúrgica; estudiante de cuarto año del grado de Podología, estudiante del Máster de Cirugía de Mínima Incisión del pie, y especialista podólogo con más de 5 años de experiencia quirúrgica, practicaron independientemente las mismas osteotomías diseñadas en las guías (Base, *Reverdin* y *Akin*) en los 15 pies esqueléticos. Estos elementos de resina vienen fabricados con diferentes patologías podológicas tales como:

- *Hallux abductus valgus*
- 2º dedo en garra: caracterizado por una plantaflexión del segundo metatarso, dorsiflexión de la segunda falange proximal, exostosis de la cabeza dorsal de la falange proximal y una plantaflexión de las falanges distales.
- 3º dígito con hiperostosis caudal
- 4º dígito en garra
- Juanete de sastre del 5º radio

Hay una razón clave por la cual se utilizaron tres individuos con niveles dispares en experiencia podológica, y fue para observar y verificar que la guía quirúrgica, independientemente de la destreza quirúrgica, es eficaz. Para complementar este estudio, se puso a prueba el nivel de eficacia de la guía en condiciones de trabajo menesterosas, puesto que un podólogo sin práctica quirúrgica cometerá siempre más errores que otro especialista con más años de experiencia. Seguidamente, acoplamos el guante quirúrgico fabricado en 3D en el elemento esquelético y se realizaron las 3 osteotomías. Una vez hechos los gestos quirúrgicos, se realizó un TAC post-quirúrgico para proceder con la medición de cada una de las osteotomías practicadas. Cada especialista clínico realizó las osteotomías pautadas en un total de 15 piezas esqueléticas, y los pies fueron medidos por otro investigador mediante el software

Netfabb, desconociendo a que grupo pertenecía cada pieza esquelética (Ilustración 32).

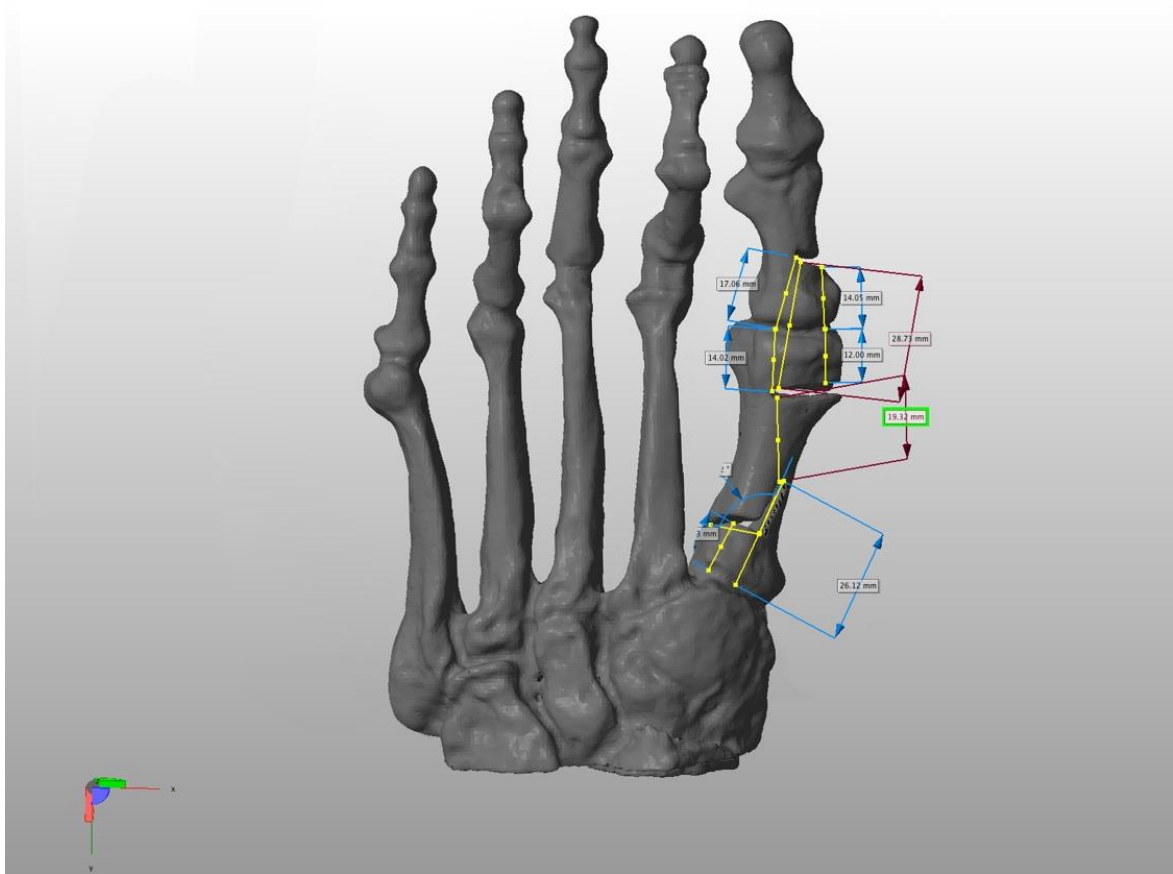


Ilustración 32: Medidas realizadas mediante el software Netfabb de las osteotomías Reverdin, Akin y Base

Las mediciones realizadas fueron las siguientes:

- Medición 1
Del extremo medial proximal de la osteotomía de Akin a la interlínea articular formada por la cabeza del 1º metatarsiano y la base de la falange proximal.
- Medición 2
Del extremo lateral proximal de la osteotomía de Akin a la interlínea articular formada por la cabeza del 1º metatarsiano y la base de la falange proximal.
- Medición 3
Del extremo medial distal de la osteotomía de Reverdin a la interlínea articular formada por la cabeza del 1º metatarsiano y la base de la falange proximal.

- Medición 4
Del extremo lateral distal de la osteotomía de Reverdin a la interlínea articular formada por la cabeza del 1º metatarsiano y la base de la falange proximal.
- Medición 5
Del extremo lateral más distal de la osteotomía de base a la interlínea articular formada por la base del 1º metatarsiano y escafoides.
- Medición 6
Del extremo medial más proximal de la osteotomía de base a la interlínea articular formada por la base del 1º metatarsiano y escafoides.
- Medición ALFA
Ángulo formado por los dos brazos de la osteotomía de base.
- Medida 7
Correspondiente a la distancia entre la osteotomía de Akin en su borde proximal y lateral y la osteotomía de Reverdin en su borde más distal y lateral.
- Medida 8
Correspondiente al borde más proximal y lateral de la osteotomía de Reverdin y el borde más distal y medial de la osteotomía de base.

6.4. Fase 2: Diseño a medida del guante quirúrgico completo personalizado e impreso en 3D

Antes de comenzar a desarrollar el contenido del estudio detallaremos el proceso de elaboración y construcción de la guía quirúrgica impresa en 3D y cómo se consigue personalizarla al pie del paciente.

6.4.1. Características del diseño de la guía quirúrgica completa personalizada e impresa en 3D

El primer paso a seguir es realizar una Tomografía Axial Computarizada (TAC) del pie patológico a intervenir. Se señalan a continuación los requisitos para la correcta realización del TAC, de forma que permita su uso en las etapas posteriores y con pacientes reales:

- Preparación del paciente: retirar cualquier prótesis metálica no fija, además de toda la joyería que pudiera interferir con la región que debe analizarse el TAC.
- Inmovilización durante el procedimiento: respiración normal aceptable, pero cualquier otro movimiento puede causar artefactos de movimiento que comprometen la calidad de las imágenes, pudiendo requerir un nuevo escaneado del paciente.
- Alineamiento del paciente: el TAC deberá realizarse según la orientación FFS (*Feet First Supine*).
- Las falanges deberán situarse lo más verticalmente posible respecto al plano horizontal.
- El TAC deberá recoger la anatomía completa del pie, incluyendo partes blandas.
- Evitar en lo posible cualquier deformación de la superficie del pie, ya sea por contacto con el pie adyacente, soporte, u otros elementos externos. Se recomienda utilizar algún soporte para tobillo de forma que el pie quede suspendido.

Una vez obtenidas las imágenes TAC de la pieza anatómica a utilizar para el primer ensayo de esta segunda fase, se realiza una reconstrucción gracias al *software* propio creado por las empresas *SOCINSER* (Asturias, España) y *TEQUIR* (Valencia, España). Este *software* permite al cirujano trabajar con una imagen diagnóstica en 2D en el caso de las imágenes radiográficas, y en 3D si procede de las tomografías axiales computarizadas, visualizando pormenorizadamente la estructura ósea y ayudándole a realizar de manera virtual mediciones, planificaciones y simulaciones de la técnica quirúrgica.

Trabajar sobre un entorno web colaborativo, posibilita la comunicación online a tiempo real con uno o más usuarios especialistas del programa. Es un proceso que permite un tratamiento integral de los casos complejos que ayuda al diseño y a la realización de las osteotomías a medida junto con las guías quirúrgicas correspondientes, resultantes de todo el proceso seguido y avalado por el cirujano como una total solución adaptada al caso patológico concreto. En la Ilustración 33, podemos observar el diseño de las osteotomías en el primer radio (*Akin*, *Reverdin* y *Base*), osteotomías incompletas en las

bases de las falanges proximales de los radios segundo y cuarto, y osteotomía *Isham-Bunionette* completo que consta de tres osteotomías; Base del V metatarsiano, cabeza metatarsal y base de la falange proximal.

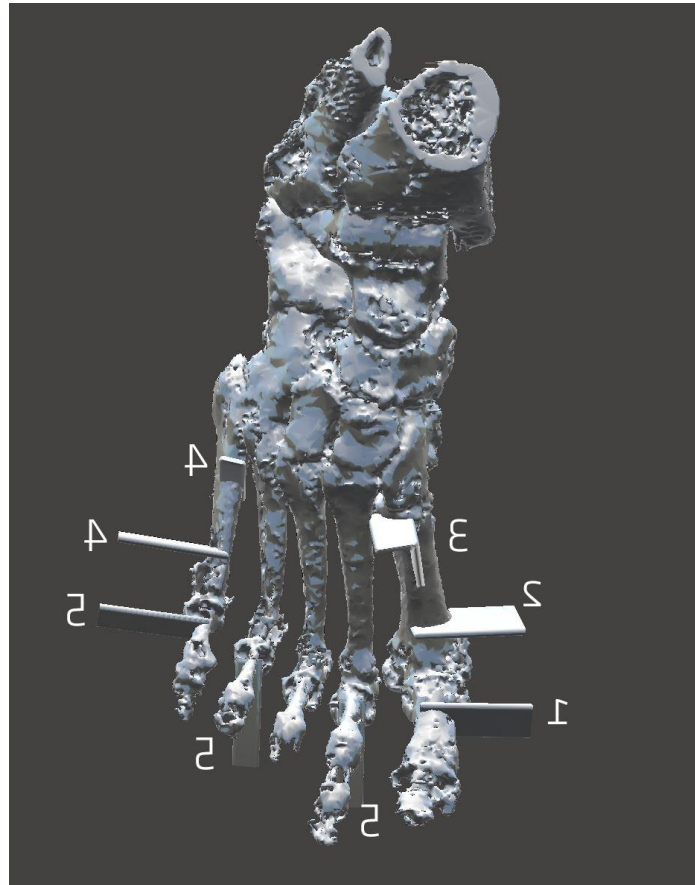


Ilustración 33: imagen en 3D del pie patológico en el que se observa la estructura ósea para proyectar virtualmente las mediciones, planificaciones y simulaciones de las técnicas quirúrgicas a realizar mediante un software propio.

Gracias al *software* se planificaron todas las osteotomías citadas anteriormente, aunque las osteotomías de interés para esta tesis doctoral fueron las siguientes:

- Osteotomía de *Akin*: paralela a la interlínea articular de la primera metatarsofalángica del primer radio, osteotomía incompleta.
- Osteotomía *Reverdin*: paralela a la interlínea articular de la primera metatarsofalángica del primer radio.

- Osteotomía de Base: osteotomía situada en la base del primer metatarsiano en forma de *L* invertida y en la que se respeta la cortical medial.

Una vez planificada la intervención y diseñadas las osteotomías se procede a imprimir la guía quirúrgica del pie gracias a la tecnología estereolitográfica del Instituto *AIMME* que proporciona una excelente calidad dimensional y superficial (Ilustración 34). El material que se utilizó para su construcción fue una poliamida (PA12). Un material dotado de una alta resistencia frente a temperaturas elevadas, hasta 172-182°C, y que lo convierte en un material idóneo para su esterilización en la autoclave. Para comprobar que el material de elección fuese el óptimo se realizó una prueba de esterilización en la autoclave de los guantes impresos de acuerdo a los parámetros establecidos de 134°C, temperatura máxima que alcanza el aparato para esterilizar material quirúrgico de uso intraóseo, durante un periodo de esterilización de 18 minutos. Este proceso verifica que los guantes no tuvieron problemas de dilatado ni deformaciones. Una vez impresos los guantes quirúrgicos al pie anatómico a tratar, se procedió a realizar las técnicas quirúrgicas establecidas en la planificación.



Ilustración 34: Guante quirúrgico personalizado e impreso en 3D con las guías quirúrgicas.

6.4.2. Primera prueba de concepto: ensayo quirúrgico con el primer guante completo en 3D

Este primer ensayo se realiza en 2016, de manera presencial y con una duración de 6 horas en total, de 9:00 a 15:00, teniendo lugar en la sala de Disección de la Facultad de Medicina de Valencia. Se realizó la prueba con un podólogo experto en cirugía MIS del Pie con más de 15 años de experiencia.

El objetivo principal para este primer ensayo fue determinar los parámetros críticos del diseño del guante y sus respectivas guías de corte, así como la planificación de la cirugía mediante un *software* propio y su posterior producción en 3D.

Los materiales empleados para la realización de la prueba constaron de; un pie derecho anatómico al que previamente se le había tomado un TAC (Ilustración 35), instrumental específico de cirugía de mínima incisión (bisturí 64MIS, y fresa *Shanon Isham* larga), un fluoroscopio, y guantes guía impresos en 3D en resina poliamida 12 para el pie derecho anatómico.



Ilustración 35: Pie derecho anatómico para la primera prueba de concepto.

Para la elaboración del guante completo y poder imprimirlo en 3D, se realizó una previa planificación gracias al *software* propio creado por *SOCINCER* de las osteotomías de interés. En esta actividad, se tuvo una primera impresión del funcionamiento y manejo del *software*. En esta planificación pudo verse que debido al renderizado del TAC en el *software* no se apreciaba el cartílago entre falanges, lo que dificultó la planificación del corte. La cirugía mínimamente invasiva se planifica primeramente sobre un esquelético de resina expansiva (Ilustración 36), y se realizan las correspondientes osteotomías:

1. *Reverdin*: osteotomía de la cabeza del primer metatarsiano.
2. *Akin*: osteotomía de la base de la falange proximal del primer radio respetando la cortical lateral.
3. Osteotomía de Base angulada a 45°: osteotomía en la base del primer metatarsiano que estrecha el ángulo intermetatarsal entre 1° y 2° respetando la cortical medial.
4. Osteotomía capital (2° cabeza metatarsiana): osteotomía completa.
5. *Isham buinonette*: osteotomía de la cabeza metatarsal del quinto metatarsiano con abertura lateral, pudiendo ser completa o incompleta.

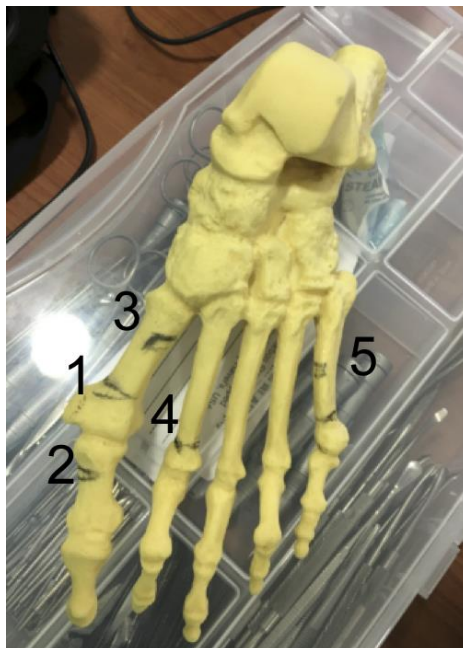


Ilustración 36: diseño previo de las técnicas quirúrgicas a realizar sobre pie de resina expansiva con diferentes patologías de antepié.

6.4.2.1. Primer ensayo con guante completo impreso en 3D en pie anatómico derecho

Antes de realizar las osteotomías sobre el pie anatómico, se comprueba que los cuatro modelos de guantes quirúrgicos se fabrican acorde al diseño creado y se imprimen en resina en 3D de manera personalizada al pie sujeto. Los cuatro guantes se imprimen con el mismo número y con la misma posición de las guías de corte, con la única diferencia que cada guante tiene un tipo de cierre distinto con el que se afianza el guante sobre el pie. La razón por la cual diseñamos cuatro guantes con diferentes anclajes fue para comprobar cuál de ellos resultaba ser el más efectivo en cuanto sujeción del pie, además de comprobar la rapidez de colocación y cierre. Durante este primer ensayo consideramos tener una serie de cuidados a la hora de proyectar el diseño, los cuales fueron realizar las osteotomías dónde termina el cóndilo y comienza la epífisis, teniendo en cuenta que la anatomía del paciente puede variar las dimensiones estimadas, además de considerar que las fresas no se adhieren a partes blandas por lo que si ésta llega a rozar capsula articular pararía el motor.

Después de probar cada guante a la pieza anatómica, reparamos que estos cuatro modelos de guantes completos no ofrecen la seguridad de agarre esperada, además cuesta introducir y encajar el pie ya que al hacerlo se separan la parte dorsal de la plantar en todos ellos (Ilustración 37 e Ilustración 38). Pudimos comprobar seguidamente que algunas de las guías de corte para realizar las osteotomías se diseñaron justo en la línea de anexo de las dos partes, lo que dificultaba la maniobra quirúrgica (Ilustración 39). Además, uno de los cierres laterales del guante tipo velcro se rompió fácilmente al intentar cerrarlo, por lo que se consideró mejorar y optimizar el cierre en las fases futuras de ensayo. (Ilustración 40)



Ilustración 37: Modelo guante completo quirúrgico impreso en 3D tipo velcro.



Ilustración 38: guante quirúrgico completo impreso en 3D



Ilustración 39: guante quirúrgico completo impreso en 3D



Ilustración 40: guante quirúrgico completo impreso en 3D tipo velcro

Una vez probados los diferentes modelos de guantes para el pie anatómico derecho y comprobar qué modelo era el más ergonómico, comenzamos con la siguiente fase del estudio, la práctica quirúrgica con el guante impreso en 3D acoplado al pie.

Al pie anatómico derecho se le realizaron todos los gestos quirúrgicos de mínima incisión diseñados e impresos en el guante; *Akin*, *Reverdin*, Base del primer metatarsiano, bases de las falanges proximales de segundo y cuarto radio, y *Isham bunionette* completo. Posteriormente a la cirugía se le realizó un segundo TAC en *diagnosalud* y se observaron los resultados de las osteotomías conseguidas de acuerdo a la planificación del diseño.

6.4.3. Segunda prueba de concepto: ensayo quirúrgico con el segundo guante completo en 3D

Este segundo ensayo se realiza en 2016, de manera presencial y con una duración de 4 horas y media en total, de 10:00 a 14:30 horas, teniendo lugar en la sala de Disección de la Facultad de Medicina de Valencia.

Se realizó la prueba con un podólogo que lleva 5 años realizando cirugía MIS del Pie, con experiencia media.

El objetivo principal que tuvimos en consideración para realizar este segundo ensayo, fue la determinación exacta de las guías quirúrgicas del guante, y verificar si sería mejor el diseño del guante con un *offset* de 1mm o con un *offset* de 0mm.

Los materiales empleados para la realización de la prueba constaron de; un pie izquierdo anatómico al que previamente se le había tomado un TAC, instrumental específico de cirugía de mínima incisión (bisturí 64MIS, y fresa *Shanon Isham* larga), un fluoroscopio, y el guante guía impreso en 3D en resina poliamida 12 para un pie izquierdo anatómico por parte de la empresa AIDIMME (Ilustración 41).



Ilustración 41: guante quirúrgico completo impreso en 3D con cierres palometa diseñado para un pie izquierdo anatómico

Para la elaboración del guante completo se realizó previamente la planificación gracias al *software* propio creado por *SOCINCER*. La cirugía mínimamente invasiva con guante se planifica sobre la imagen ósea en 3D del pie anatómico izquierdo (Ilustración 42), y se realizan las correspondientes osteotomías:

1. *Reverdin*: osteotomía de la cabeza del primer metatarsiano respetando la cortical lateral.
2. *Akin*: osteotomía de la base de la falange proximal del primer radio respetando la cortical lateral perpendicular al eje medio de la falange.
3. Osteotomía de Base angulada a 45°: osteotomía en la base del primer metatarsiano que estrecha el ángulo intermetatarsal entre 1º y 2º respetando la cortical medial.
4. Osteotomías de base en 2º y 4º falanges proximales: osteotomías incompletas.
5. *Isham buinonette*: osteotomía de la cabeza metatarsal del quinto metatarsiano con abertura lateral incompleta.

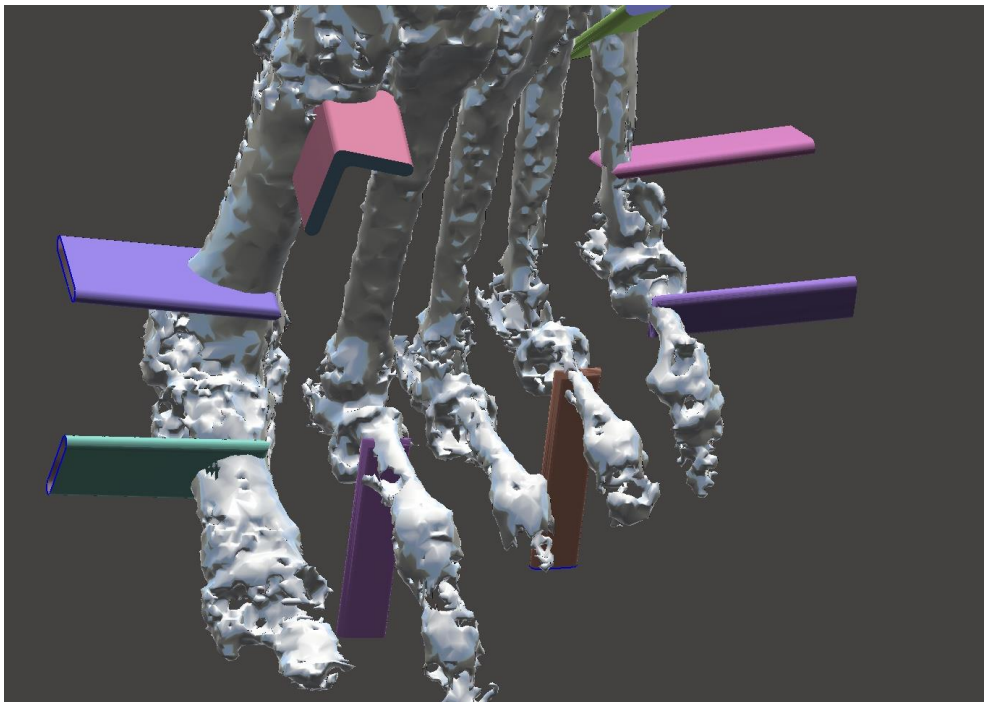


Ilustración 42: diseño de las osteotomías incompletas prequirúrgicas del pie anatómico izquierdo.

Al igual que en la primera prueba de concepto, se volvieron a diseñar las osteotomías de Akin, *Reverdin*, osteotomía de base del primer metatarsiano, osteotomías de base de falanges proximales del segundo y cuarto radio, y *Isham Bunionette* completo. Con este diseño se procedió a imprimir el guante en AIDIMME en un material Poliamida 12, material que como hemos dicho anteriormente aguanta perfectamente las altas temperaturas de la autoclave, con un *melt point* EN ISO 11357-1 de 172-180°C.

Para este segundo ensayo de concepto tuvimos una serie de consideraciones previas a la planificación del diseño relacionadas con el tipo de cierre y la clase de material utilizado para el guante, ya que hay que recalcar que durante la primera fase del estudio se observó que la resina poliamida 12 deja un residuo polvoriento del que se desconoce su interacción biológica, pudiendo dar origen a posibles incidencias postquirúrgicas, por lo que habrá que investigar la viabilidad biológica del material para su uso quirúrgico. Los cierres tipo palometa implementados por AIDIMME (Ilustración 43), resultaron no ser recomendables debido a la pérdida de tiempo dedicado a cerrar las dos valvas.



Ilustración 43: anclajes de las dos porciones del guante con palometas.

Por lo que se plantearon diferentes propuestas de anclaje, de las que destaca un cierre tipo machihembrado de fácil extracción y con la fuerza suficiente para cerrar las dos valvas, dorsal y plantar. (Ilustración 44)



Ilustración 44: cierre machihembrado de fácil extracción

Durante la previa reunión a la construcción del guante, se propone fabricar la pieza guía junto con un tubo de hierro que mida la profundidad. Para medir esa profundidad nos

ayudamos de un tornillo sin fin que limite el calado y que tenga marcado por láser las medidas en milímetros. (Ilustración 45)



Ilustración 45: Pieza encargada de medir la profundidad en las guías de corte.

6.4.3.1. Segunda prueba de concepto con guante completo impreso en 3D en pie anatómico

Tras probar los dos guantes quirúrgicos completos, uno con un *offset* de 1mm y otro con un *offset* de 0mm, se establece que la mejor opción es el que posee 0mm. Consecutivamente se procede a acoplar el guante quirúrgico completo al pie anatómico y se realiza el procedimiento de los gestos quirúrgicos descritos anteriormente: *Reverdin*, *Akin* y Base del primer metatarsiano, osteotomías de base de las falanges proximales del 2º y 4º metatarsianos, y por último la técnica *Isham bunionette* completo del 5º metatarsiano. Una vez realizados todos los gestos quirúrgicos sobre el pie se le realiza un *TAC* postquirúrgico. Posteriormente se cogen las imágenes *TAC* previas a la cirugía y las posteriores, y se superponen para comprobar que las osteotomías están perfectamente ubicadas. El software utilizado es *Osirix*. (Ilustración 46)

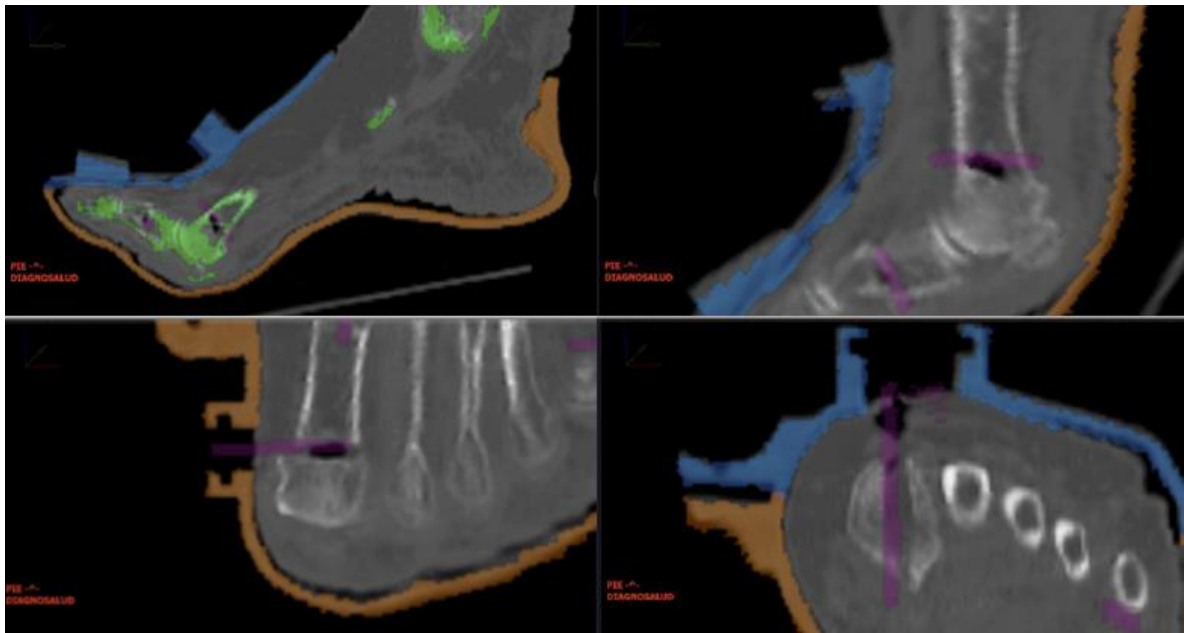


Ilustración 46: Imagen TAC pre y postquirúrgica del pie anatómico derecho superpuestas.

Para calcular la medida justa de profundidad del corte se computan automáticamente gracias al *software* de planificación (Ilustración 47 e Ilustración 48), y se crean con respecto al tope de fresa, siendo esta medida de 25,41mm., un resultado que obtenemos del cálculo:

$$T = F - H = 25.42mm$$

F: longitud libre de fresa, en este caso de 55mm.

H: último punto medible de la profundidad de fresado hasta el inicio del tope, en este caso 29.61mm.

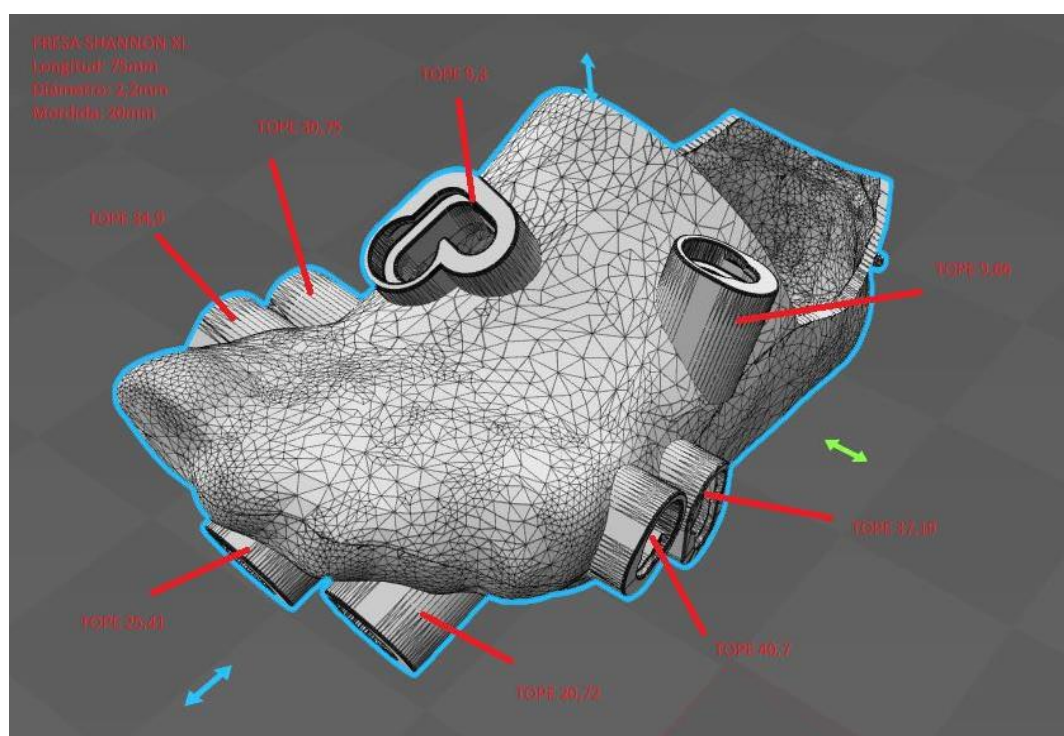


Ilustración 47: planificación de la longitud en profundidad de la fresa de corte con tope para realizar las osteotomías.

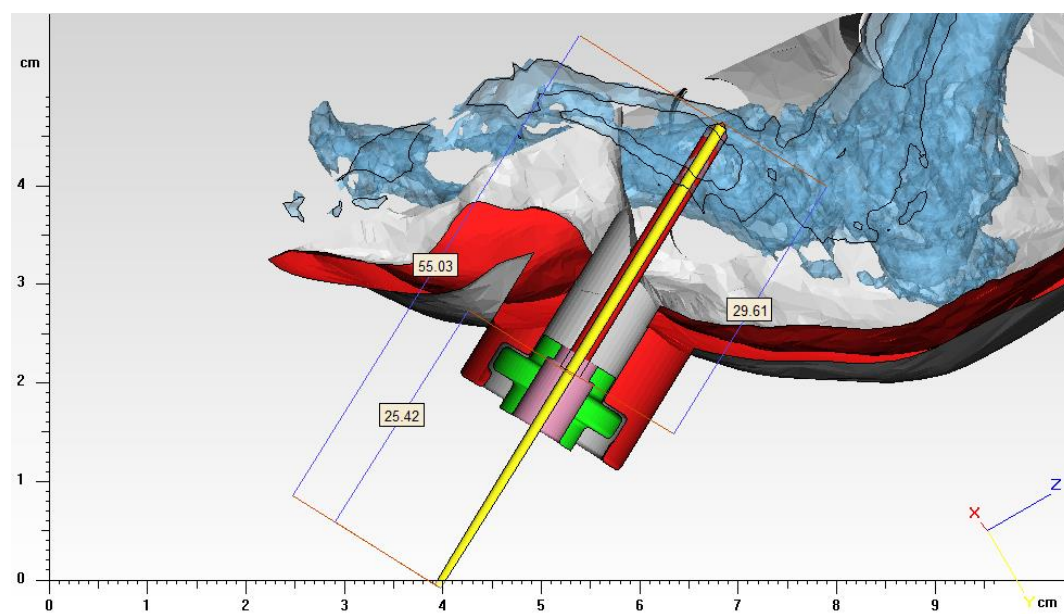


Ilustración 48: calculo mediante el software para la profundidad de la fresa de corte.

6.4.4. Tercera prueba de concepto: ensayo quirúrgico con el tercer guante completo en 3D

Este tercer ensayo se realiza en 2016, de manera presencial y con una duración de 5 horas y media en total, de 09:30 a 15:00 horas, teniendo lugar en la sede Herbitas Foios. Se realizó la prueba con un investigador sin experiencia quirúrgica

El objetivo principal para este tercer ensayo fue la determinación exacta de la desviación de las agujas Kirschner que nos van a servir como fijación de estructuras anatómicas al guante, y la desviación de las osteotomías sobre la pieza anatómica. Los materiales empleados para la realización de la prueba constaron de; un pie derecho anatómico espécimen 566 al que se le incorporaron unos elementos radiopacos de 4mm de longitud y 1mm de orificio interior para introducir las agujas Kirschner de 1mm (Ilustración 49), agujas *Kirschner*, instrumental específico de cirugía de mínima incisión (bisturí 64MIS, y fresa *Shanon Isham* larga), un fluoroscopio, y el guante guía impreso en 3D en resina poliamida 12 para el pie derecho anatómico por parte de la empresa AIDIMME.



Ilustración 49: Pie anatómico derecho espécimen 566 con elementos radiopacos para la inserción de las agujas Kirschner.

Antes de comenzar con la técnica quirúrgica sobre la pieza anatómica se le realiza un TAC en la empresa *Diagnosalud* y una vez obtenida la imagen se le recrea la cirugía computarizada para el diseño de las guías y del guante completo de resina poliamida 12. Para la elaboración del guante completo y poder imprimirlo en 3D, se crea una previa planificación gracias al *software* propio creado por *SOCINCER* de las osteotomías de interés. En esta actividad, también se tuvo un manejo del *software* para la planificación previa al diseño del guante. La cirugía mínimamente invasiva con guante se planifica sobre la imagen ósea en 3D del pie anatómico derecho, y se realizan las correspondientes osteotomías:

1. *Reverdin*: osteotomía de la cabeza del primer metatarsiano respetando la cortical lateral.
2. *Akin*: osteotomía de la base de la falange proximal del primer radio respetando la cortical lateral perpendicular al eje medio de la falange.
3. Osteotomía de Base angulada a 45°: osteotomía en la base del primer metatarsiano que estrecha el ángulo intermetatarsal entre 1° y 2° respetando la cortical medial.
4. Osteotomía de base (2° y 4° falange proximal): osteotomías incompletas.
5. *Isham buinonette*: osteotomía de la cabeza metatarsal del quinto metatarsiano con abertura lateral incompleta, osteotomía de base del metatarsiano y osteotomía de la base de la falange proximal.

Una vez diseñadas las técnicas e impreso el guante con sus correspondientes guías, se procede a la realización de la cirugía de mínima incisión sobre un espécimen anatómico derecho. (Ilustración 50 e Ilustración 51)



Ilustración 50: Mesa quirúrgica.



Ilustración 51: Fluoroscopia cedido por Herbitas.

En la tercera prueba de concepto observamos que el guante quirúrgico completo impreso en 3D y fabricado en Poliamida 12 se ajusta correctamente al pie derecho anatómico y se cierra sin ningún problema. (Ilustración 52 e Ilustración 53)

A diferencia de los otros modelos de guantes quirúrgicos, este tercer diseño se fabrica con cierres a modo de *I,O* fácil de colocar y cerrar (Ilustración 54), además de imprimir una regla para ayudarnos a la medición de la profundidad de calado de la fresa de corte.



Ilustración 52: colocación del guante quirúrgico completo al pie anatómico.



Ilustración 53: Guante quirúrgico completo ajustado al pie anatómico y cerrado.

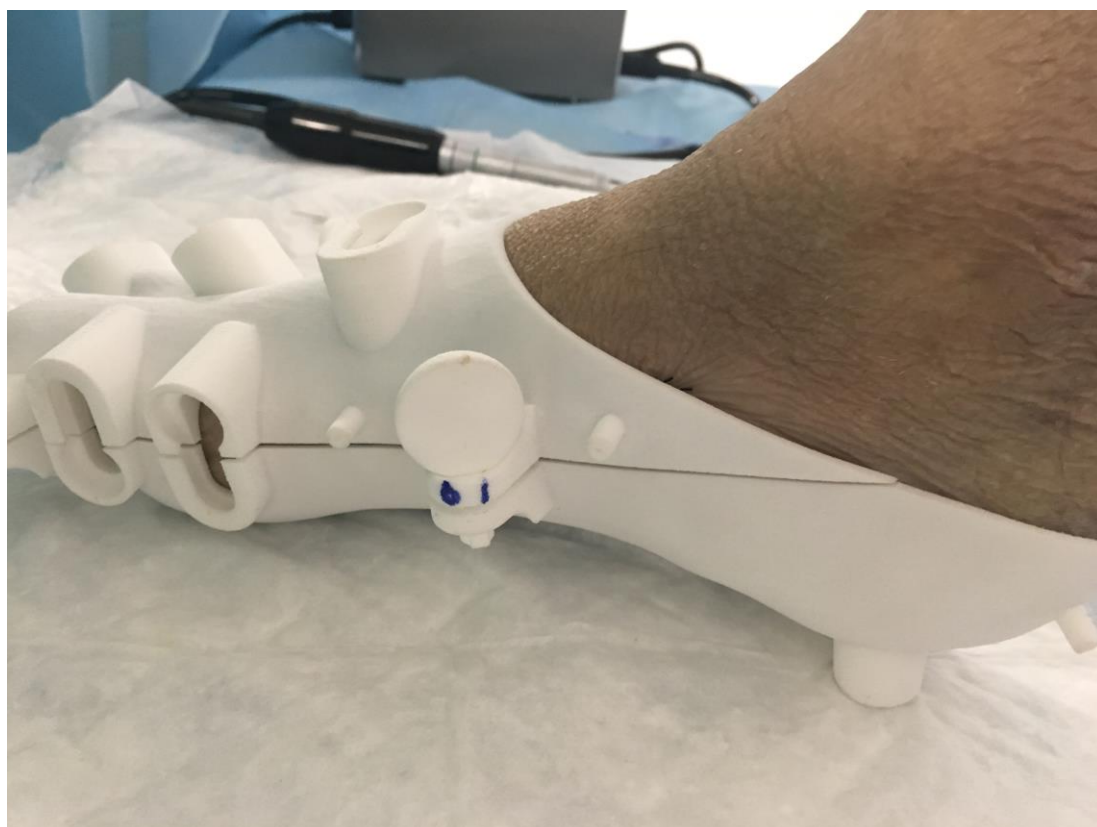


Ilustración 54: detalle del cierre del guante quirúrgico completo.

Una vez ajustado y anclado completamente el guante quirúrgico sobre la pieza anatómica, comprobamos que el pie encaja perfectamente en la estructura de resina e introducimos manualmente las guijas *Kirschner* de 1mm de grosor en los orificios diseñados e impresos en el guante expresamente para que sirvan de máxima sujeción (Ilustración 55). Advertimos que todas las agujas *Kirschner* son encajadas sin ninguna incidencia. Colocadas las agujas *Kirschner* procedemos a realizar un previo control fluoroscópico. (Ilustración 56 e Ilustración 57)



Ilustración 55: introducción de agujas Kirschner por los orificios diseñados en el guante quirúrgico completo

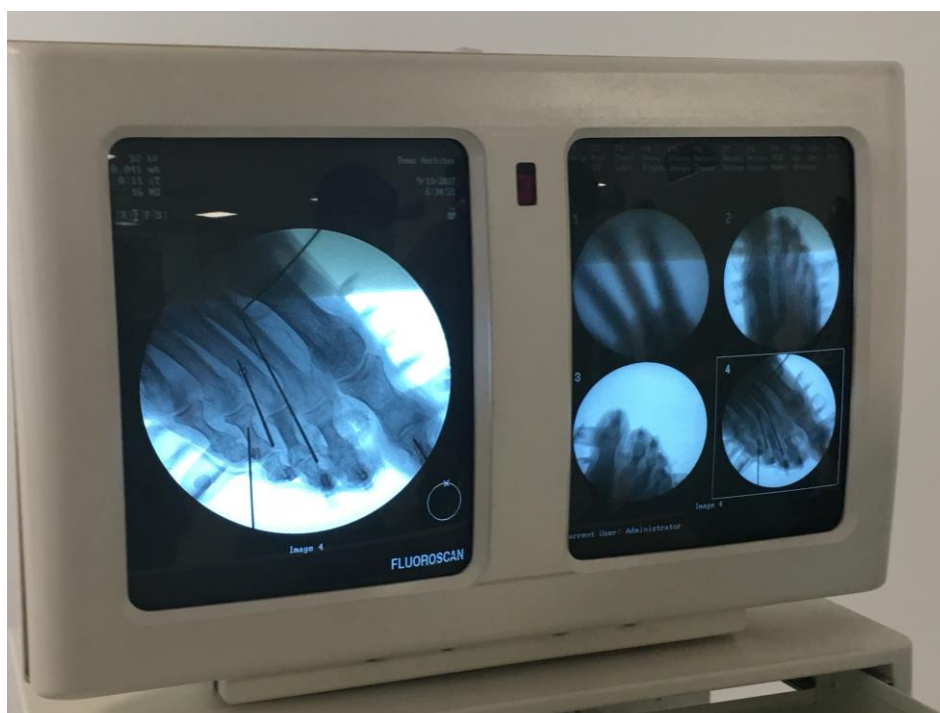


Ilustración 56: Control fluoroscópico de las agujas Kirschner



Ilustración 57: Control fluoroscópico de las agujas Kirschner.

Con las tomas de imágenes fluoroscópicas realizadas continuamos con el protocolo establecido, ejecutándose las osteotomías correspondientes al diseño previamente creado en el guante quirúrgico completo, en el que antes de realizar los gestos intraoperatorios se coloca en la guía el elemento de metal para ayudar al movimiento de la osteotomía, seguido del tope de resina para controlar la profundidad de la fresa, y por último la fresa *Shanon Isham* para realizar los gestos quirúrgicos. (Ilustración 58)



Ilustración 58: Introducción de la fresa Shanon Isham en el agujero guía con sus topes correspondientes.

Conforme se efectuaban las osteotomías, se realizaban fluoroscopías de control por cada gesto quirúrgico para comprobar que se realizaban en el lugar anatómico correcto y con la línea de corte correspondiente al diseño previo quirúrgico. En las ilustraciones que se observan a continuación se logra visualizar, gracias al fluoroscopio, la osteotomía de *Reverdin* en la primera cabeza metatarsal de forma incompleta preservando la cortical lateral (Ilustración 59), y la osteotomía de Akin en la base de la primera falange proximal (Ilustración 60).

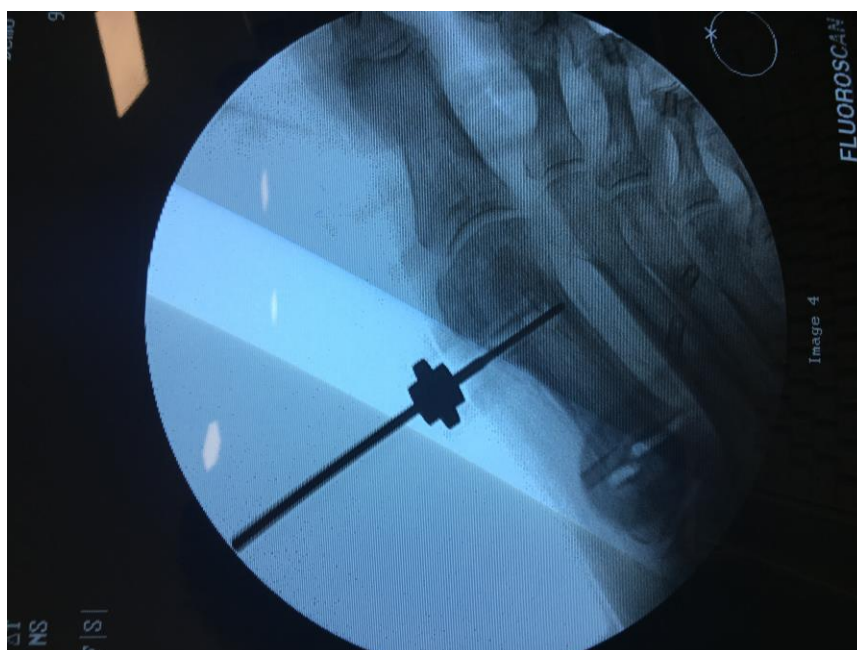


Ilustración 59: imagen fluoroscópica en la que se observa la Osteotomía incompleta de Reverdin



Ilustración 60: imagen fluoroscópica en la se observa la Osteotomía de Akin

6.5. Fase 3: Diseño y obtención de la guía quirúrgica estándar

Durante la realización de esta tercera y última fase del estudio se diseña una guía quirúrgica estándar en lugar de un guante quirúrgico completo. Para ello hemos contado con 30 pies anatómicos para practicarles la técnica *Reverdin-Isham* de mínima incisión consistente en dos osteotomías, la osteotomía *Reverdin* en el primer metatarsiano y la osteotomía *Akin* en la falange proximal del primero. Se tuvieron como objetivos principales; valorar la distancia medible de las osteotomías, *Reverdin* y *Akin*, con respecto a la línea articular de la metatarsofalángica del *hallux*. Las osteotomías fueron realizadas por alumnos del Grado de Podología y del *Master de Cirugía Podológica de Mínima Incisión del pie para Podólogos* sin guante quirúrgico, y por personal podológico con guante quirúrgico en la sala de disección de la Sede de San Carlos, Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir. El motivo principal por realizar el ensayo de esta manera fue poder valorar la precisión de la técnica quirúrgica sobre el primer radio con la guía estándar y sin ella, ambas valoraciones evaluadas radiológicamente.

Para realizar las técnicas de cirugía de mínima invasión hemos contado con tres grupos de podólogos:

- 10 alumnos de grado.
- 10 alumnos de master.
- 10 podólogos que utilicen la patente.

Los materiales utilizados para la realización de los ensayos constaron de 30 pies anatómicos de la talla 40 y un ancho de antepié aproximado de 12cm, a los que previamente se les había tomado una radiografía dorsoplantar simulando carga y posteriormente a la realización de las técnicas quirúrgicas se les volvió a tomar radiografías dorsoplantares simulando carga con un equipo radiológico y el personal protegido con batas plomadas. Para la práctica quirúrgica se contó con instrumental específico de cirugía de mínima incisión; un bisturí *64MIS* para la incisión de partes blandas y una fresa *Shanon Isham Larga* para realizar las osteotomías, una guía quirúrgica estándar impresa en 3D con dos guiados para las osteotomías de *Reverdin* y

Akin, 2 agujas *Kirschner* para fijar la guía quirúrgica, y un fluoroscopio.

6.5.1. Características del diseño de la guía estándar quirúrgica

El guante quirúrgico estándar está impreso en 3D adaptado al primer radio del pie y fabricado en una sola pieza con material poliamida 12, un material resistente a las altas temperaturas de la autoclave (125°C-135°C) lo que facilitará la esterilización del mismo para hacer uso de él en el momento intraoperatorio. El grosor del material es de 2mm y a sus extremos, tanto en área craneal como en caudal, existen dos orificios por los cuales se insertarán dos agujas *kirschner* que fijarán el guante al primer radio del paciente. La pieza guía recubre toda la parte medial del primer dedo, desde la articulación cuneo-metatarsiana hasta la zona más distal del primer dedo, abrazando por sus lados dorsal y plantar al primer radio. Como se puede observar en la Ilustración 61, están representadas las dos guías donde se proyectan las osteotomías, siendo la más distal del primer radio la correspondiente al *Akin* y la más proximal al *Reverdin*, posicionadas en la ilustración de arriba abajo, *Reverdin* y *Akin*. En la Ilustración 62 podemos observar las líneas de corte que seguirán las fresas para realizar las osteotomías existiendo entre ellas un ángulo de 2° de lateral a medial, y un ángulo de apertura de 3° de dorsal a plantar. En la Ilustración 63, observamos que la distancia entre las guías es de 3cm, siendo el ancho de cada guiado de 9mm. En la línea media localizada entre las dos guías de corte se fija, mediante un canal de 1mm, un hilo de cobre radiofaro para marcar fluoroscópicamente la línea articular metatarsofalángica, lo que nos ayudará a fijar el guante al primer radio en el lugar adecuado. La comprobación con fluoroscopio nos indicará si las posiciones de las osteotomías están situadas en el lugar anatómico correcto del primer radio gracias a que observaremos que el hilo de aluminio cae en la línea interarticular de la primera metatarsofalángica. Las osteotomías de *Akin* y *Reverdin* deberán estar proyectadas paralelamente a la línea articular metatarsofalángica y a 1,5cm de distancia de ésta. Una vez comprobadas las guías y observar que se encuentran correctamente posicionadas con la ayuda del fluoroscopio, fijamos el guante al primer radio con las dos agujas *Kirschner*, una insertada en su parte más distal, y otra en su parte más proximal. Terminado el proceso de valoración,

posicionamiento y fijación del guante pasaríamos a la siguiente tarea, realizar las osteotomías de *Akin* y *Reverdin*.

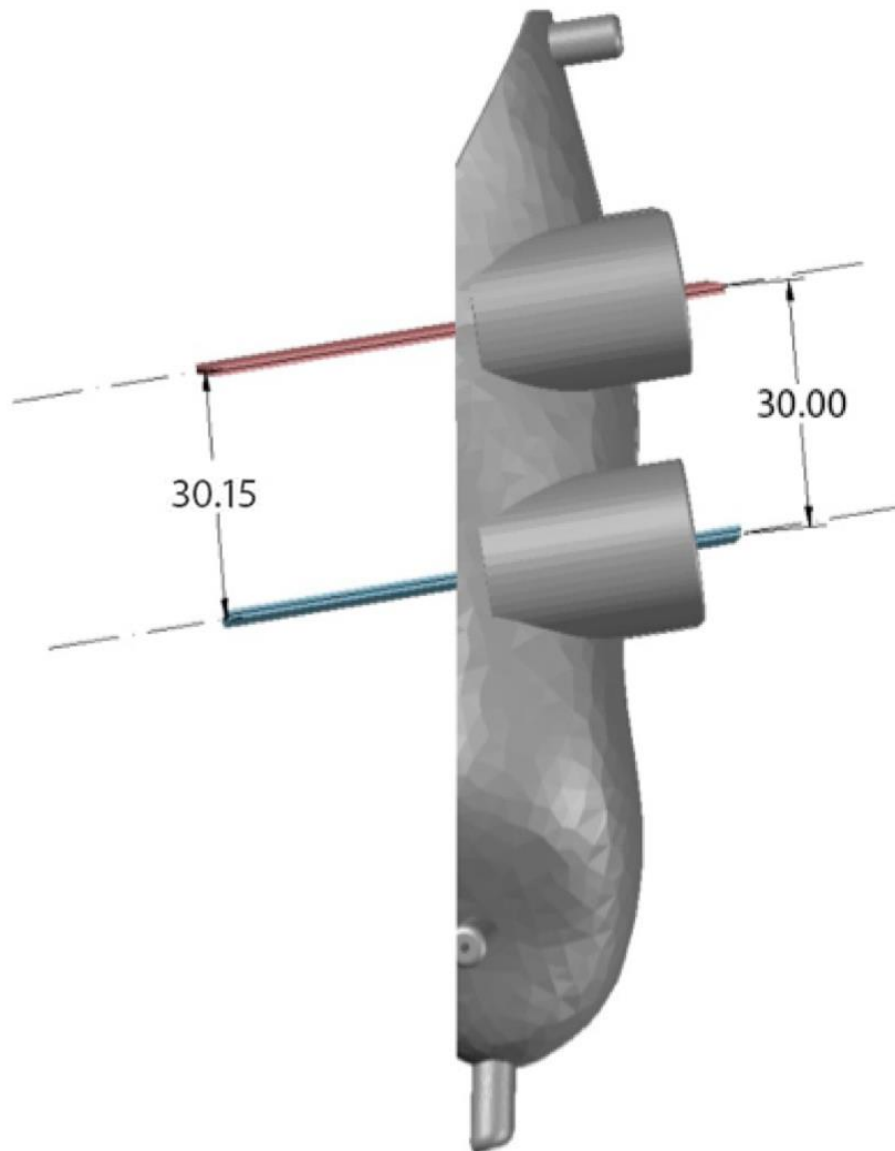


Ilustración 61: diseño de la guía estándar para las osteotomías Akin y Reverdín, con sus dos guías a los extremos para la inserción de las agujas Kirschner.

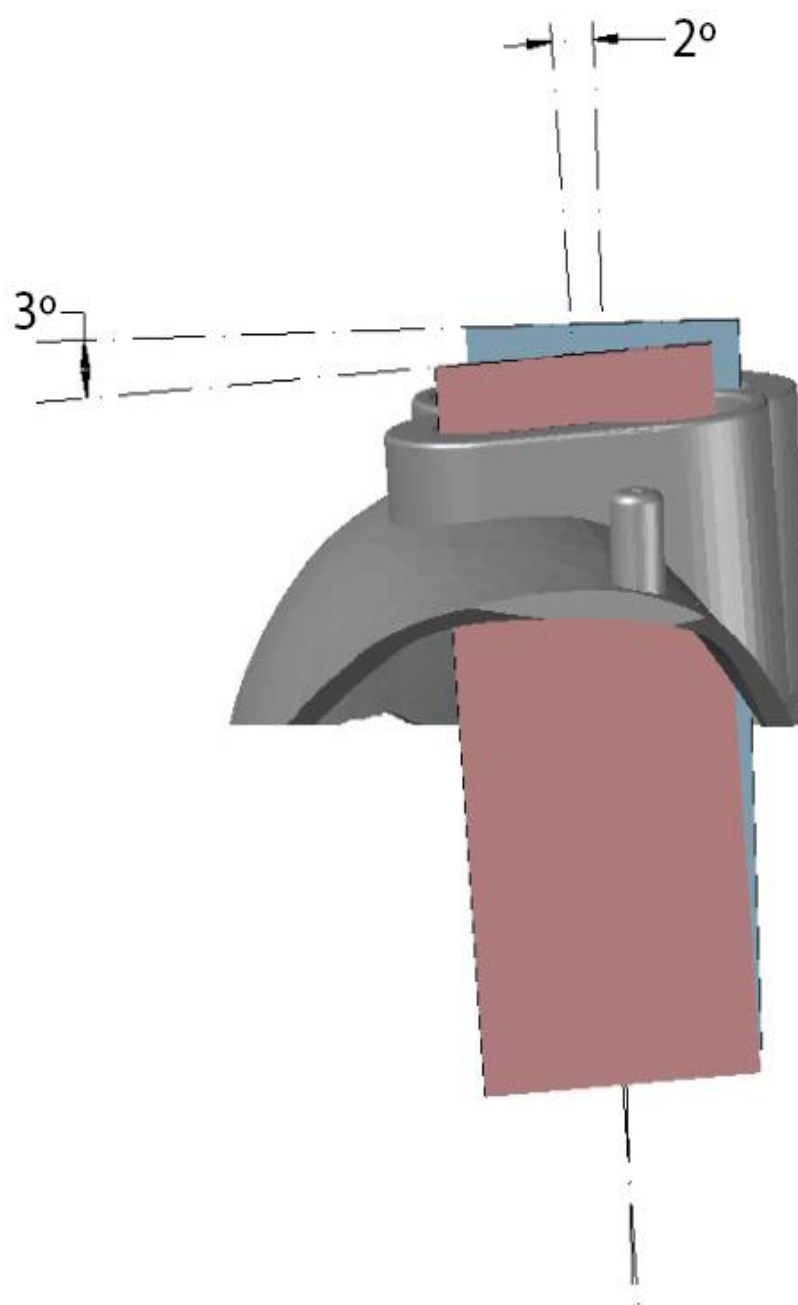


Ilustración 62: diseño de la guía estándar para las osteotomías Akin y Reverdin con las líneas de corte representadas.

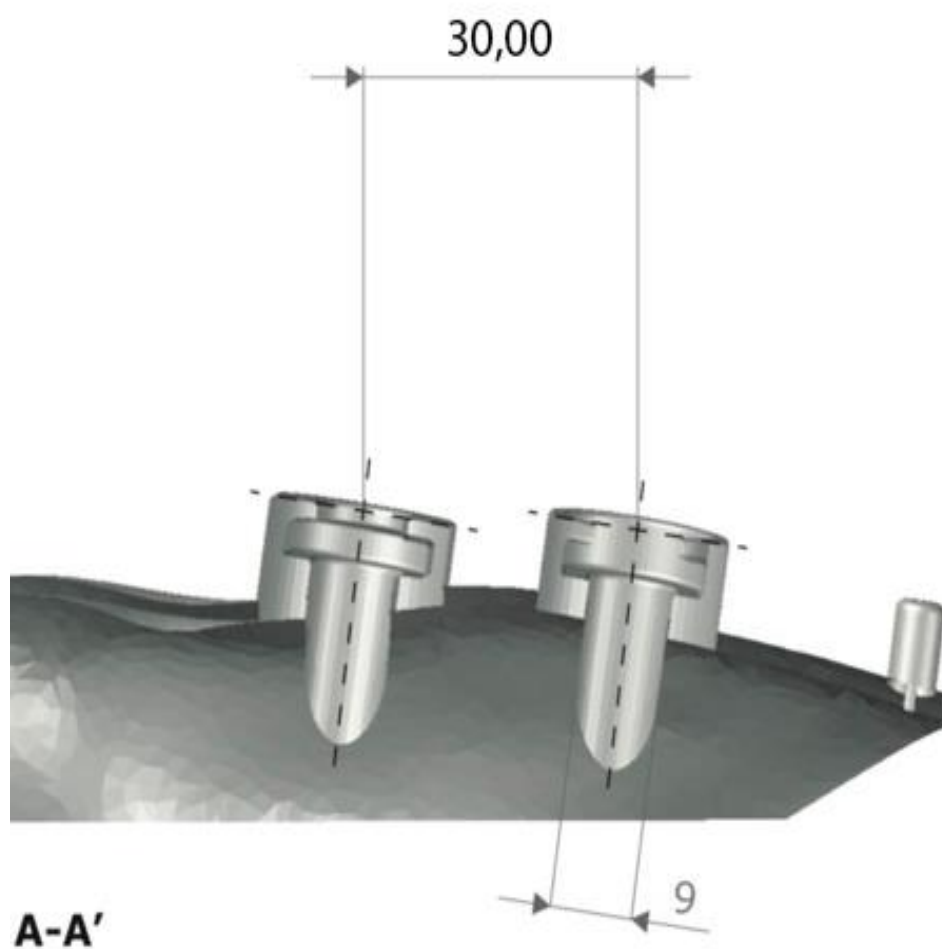


Ilustración 63: Diseño de la guía estándar con las osteotomías Akin y Reverdin, y la distancia entre ellas

6.5.2. Ensayo quirúrgico sobre las piezas anatómicas sin guía estándar y con guía estándar

En primer lugar aportamos la información y explicación al alumnado del Grado de Podología y del *Master de Cirugía Podológica de Mínima Incisión para Podólogos* en el que se recalca que las osteotomías a realizar sin la guía estándar constan de realizar primero el *Reverdin* a un 1,5cm de la interlínea articular de la primera metatarsofalángica, seguido del *Akin*, también a 1,5cm de la interlínea articular, con comprobación fluoroscópica tanto en el prequirúrgico para comprobar que la posición de la fresa está en el lugar anatómico correcto, como en el postquirúrgico para comprobar las osteotomías practicadas. Por otro lado, al grupo de podólogos con experiencia quirúrgica se le pautan las mismas directrices, primero realizar la osteotomía *Reverdin* seguida de la osteotomía *Akin*, pero a diferencia de los otros dos grupos esta vez con la guía estándar, comprobando también fluoroscópicamente la posición correcta de la guía en el prequirúrgico y las osteotomías en el postquirúrgico.

Los ensayos se realizaron durante la primera mitad del 2018, divididos en dos tiempos; el primer tiempo con el grupo de los estudiantes de Grado de Podología, y el segundo tiempo con el grupo de estudiantes del Master de Cirugía y con podólogos cirujanos. Todas las prácticas quirúrgicas tuvieron lugar en la sala de disección de la Universidad Católica San Vicente Mártir, con una duración de 6 horas en total (de 9:00 a 15:00) y de forma presencial.

A principios del 2018 durante la ejecución del primer ensayo con el primer grupo de estudiantes, se cuentan con 10 piezas anatómicas de la talla 40 previamente medidos con un pie de rey y un ancho aproximado de antepié de 12cm, a los que se le realizan las osteotomías de *Reverdin* y *Akin* paralelas y a 1,5cm de la línea interarticular sin la ayuda de la guía quirúrgica. A mediados del 2018, se produce el segundo ensayo, para el que se utilizan 20 piezas anatómicas, a las que se le realizan las dos osteotomías *Reverdin* y *Akin* posicionadas paralelamente a un centímetro y medio de la interlínea articular sin la ayuda de la guía quirúrgica en 10 piezas anatómicas, y las mismas osteotomías con las mismas directrices en las otras 10 piezas cadavéricas con la guía estándar.

Una vez realizadas las osteotomías, se proyectaron radiografías dorsoplantares en carga simulada del antepié con un *flat panel* postquirúrgicos. En las radiografías obtenidas se midieron la línea del PASA y del DASA de la primera articulación metatarsofalángica con el programa *Osirix*. Los puntos de medición utilizados fueron: (Ilustración 64)

- Diferencia medida *Akin* medial 1
- Diferencia medida *Akin* medial 1
- Diferencia medida *Reverdin* medial
- Diferencia medida *Reverdin* lateral
- Diferencia medida del *Akin* al *Reverdin* medial
- Diferencia medida del *Akin* al *Reverdin* medial
- Diferencia del ángulo entre el *Akin* y el *Reverdin*

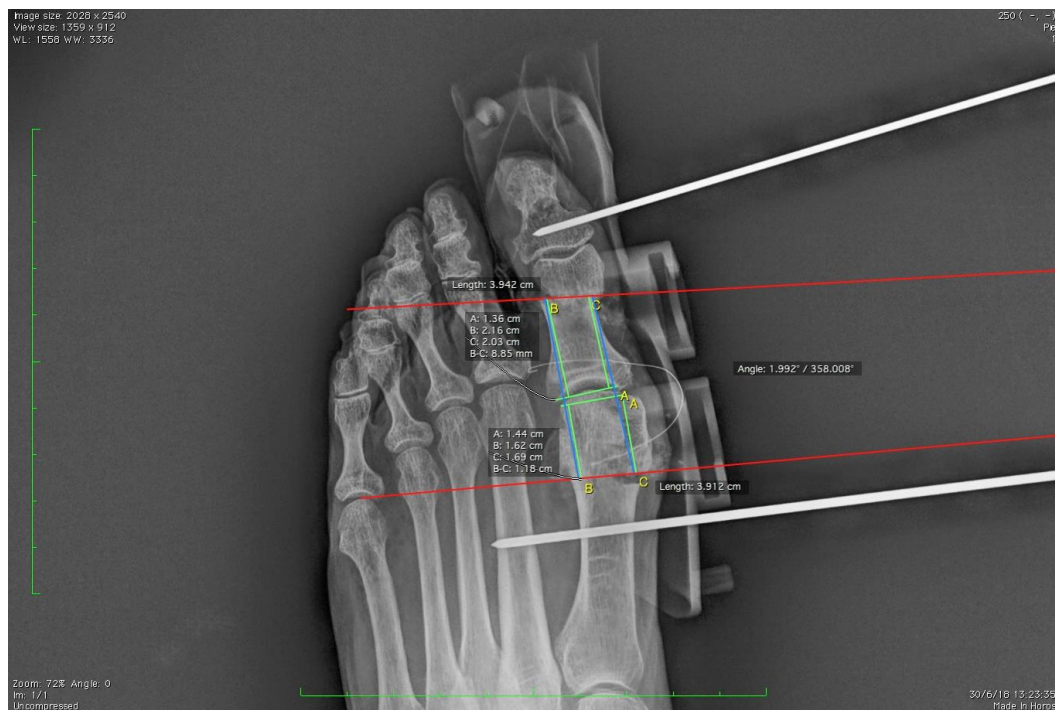


Ilustración 64: mediciones radiográficas postquirúrgicas de las líneas PASA y DASA con el programa *Osirix*.

6.6. Análisis estadístico

Se realiza estadística descriptiva para todas las mediciones prequirúrgicas y postquirúrgicas. Prueba T relacionada para el prequirúrgico y postquirúrgico en las pruebas de cadáver y prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para las variables de agrupación según destreza quirúrgica. El nivel de probabilidad fue considerado estadísticamente significativo para valores $<0,05$. El análisis estadístico de las distintas variables se realizó mediante el programa SPSS v.21 (IBM, Chicago, IL, USA).

7. RESULTADOS

Se ha diseñado y construido un novedoso prototipo a modo de guante quirúrgico que ha probado ser efectivo para la realización y guía de las osteotomías. La validación del diseño de este dispositivo se efectuó mediante ensayos “In Vitro” cuyos resultados permitieron confirmar que la geometría propuesta para las partes que conforman la herramienta, cumpliendo con la función para la cual fueron diseñadas. El trabajo aquí reportado ha permitido desarrollar una base instrumental para la realización sin errores de las cirugías del pie planteadas en el estudio prequirúrgico.

Los logros y tropiezos encontrados a lo largo de este trabajo mostraron que el tema en cuestión presenta un panorama que admite múltiples soluciones ingenieriles al problema planteado, las osteotomías, tenotomías y capsulotomías pueden adaptarse dependiendo de los requerimientos y criterio del especialista. El prototipo planteado permite la realización de una técnica quirúrgica rápida, sencilla y mínimamente invasiva, además de reducir la exposición radioactiva nociva para la salud del personal intraoperatorio.

7.1. Prueba con esqueléticos

Para analizar los resultados obtenidos restaremos las mediciones obtenidas en cada uno de los pies de resina a las medidas obtenidas en el pre-quirúrgico de cada una de las osteotomías. De esta forma, observamos que para la realización de la osteotomía de *Akin*, que corresponden las medidas 1 y 2 existe una desviación típica de:

- 0,99 para el primer metatarsiano (M1), y de 0,67 para el segundo metatarsiano (M2) cuando lo realiza un experto.
- 0,53 para M1 y de 0,67 para M2 cuando lo realiza un *Master Degree*.
- 0,89 para M1 y 65 para M2 si lo realiza un *Degree*.

Observamos para estas medidas que no existe diferencia significativa en los tres grupos $p < 0,05$. (Tabla 1).

Tabla 1: descriptivos de la resta del prequirúrgico y las mediciones de las osteotomías Reverdin y Akin

		M1	M2	M3	M4	M5	M6	alfa	Dist Corte 1	Dist Corte 2
Grado	N	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Rango	2,49	1,48	3,16	1,07	1,51	6,70	2,19	2,36	2,02
	Mínimo	15,22	14,56	10,99	13,06	10,99	23,10	93,42	17,03	27,97
	Máximo	17,71	16,04	14,15	14,13	12,50	29,80	95,61	19,39	29,99
	Media	16,49	15,19	12,56	13,53	11,65	25,51	94,46	18,32	29,08
	Desv. Desviación	0,99	0,68	1,39	0,39	0,57	2,58	0,98	1,04	0,96
Master	N	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Rango	1,39	1,53	1,26	1,13	1,41	0,82	2,68	1,49	2,55
	Mínimo	15,90	14,05	13,52	13,40	10,65	25,71	92,48	17,93	26,48
	Máximo	17,29	15,58	14,78	14,53	12,06	26,53	95,16	19,42	29,03
	Media	16,71	14,90	14,23	13,84	11,51	26,01	94,19	19,01	28,23
	Desv. Desviación	0,53	0,60	0,48	0,45	0,66	0,33	1,24	0,61	1,01
Profesional	N	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Rango	2,17	1,70	4,64	2,34	1,13	2,82	3,89	1,42	1,59
	Mínimo	14,19	14,13	11,06	12,66	10,48	23,46	93,61	18,54	28,11
	Máximo	16,36	15,83	15,70	15,00	11,61	26,28	97,50	19,96	29,70
	Media	15,57	14,94	13,07	13,92	11,03	24,94	95,53	19,22	28,82
	Desv. Desviación	0,89	0,65	1,81	0,93	0,49	1,12	1,55	0,52	0,67

Para las medidas M3 y M4 observamos como las medias entre cada uno de los grupos difieren menos de 2mm:

- 2,03 para M3 y 1,05 para M4 cuando lo hace un experto.
- 0,35 para M3 y 0,73 para M4 cuando lo hace un *Master Degree*.
- 1,52 para M3 y 0,66 para M4 cuando lo hace un estudiante.

Siendo también en este caso estadísticamente no significativo con ($p < 0,05$). Como podemos observar para el resto de medidas tomadas ocurre lo mismo para todos los grupos. Respecto al ángulo formado por la osteotomía de base observamos para cada uno de los grupos una desviación típica:

- 0,98 para el experto.
- 1,24 para el *Master Degree*.
- 1,55 para el *Degree*.

No siendo la diferencia significativa ($p < 0,05$). Observamos que los tres grupos obtienen el mismo ángulo con una diferencia de $\pm 2.5^\circ$

Podemos observar como el p-value de todas las mediciones no tienen una diferencia significativa.

Tabla 2: descriptivos de todas las mediciones

		Df M1	Df M2	Df M3	Df M4	Df M5	Df M6	Df alfa	Df Cort 1	Df Cort 2
Grado	N	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Rango	2,49	1,48	3,16	1,07	1,51	6,70	2,19	2,36	2,02
	Mínimo	-0,82	-0,48	-3,60	-1,52	0,47	-2,80	0,41	-1,03	-2,26
	Máximo	1,67	1,00	-0,44	-0,45	1,98	3,90	2,60	1,33	-0,24
	Media	0,45	0,15	-2,03	-1,05	1,13	-0,39	1,45	0,26	-1,15
	Desv. Desviación	0,99	0,68	1,39	0,39	0,57	2,58	0,98	1,04	0,96
Master	N	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Rango	1,39	1,53	1,26	1,13	1,41	0,82	2,68	1,49	2,55
	Mínimo	-0,14	-0,99	-1,07	-1,18	0,13	-0,19	-0,53	-0,13	-3,75
	Máximo	1,25	0,54	0,19	-0,05	1,54	0,63	2,15	1,36	-1,20
	Media	0,67	-0,14	-0,36	-0,74	0,99	0,11	1,18	0,95	-2,00
	Desv. Desviación	0,53	0,60	0,48	0,45	0,66	0,33	1,24	0,61	1,01
Profesional	N	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Rango	2,17	1,70	4,64	2,34	1,13	2,82	3,89	1,42	1,59

	Mínimo	-1,85	-0,91	-3,53	-1,92	-0,04	-2,44	0,60	0,48	-2,12
	Máximo	0,32	0,79	1,11	0,42	1,09	0,38	4,49	1,90	-0,53
	Media	-0,47	-0,10	-1,52	-0,66	0,51	-0,96	2,52	1,16	-1,41
	Desv. Desviación	0,89	0,65	1,81	0,93	0,49	1,12	1,55	0,52	0,67

Observamos que existe una reproducibilidad de los resultados para cada uno de los grupos siendo de ± 2 mm la desviación intra y extra grupal. Si restamos cada una de las mediciones de cada grupo con la medición informática pre-quirúrgica, podemos observar la cantidad de desviación en milímetros para cada medición realizada.

Tabla 3: Prueba de Kruskal-Wallis para todas las mediciones

Rangos			
	Grupo	N	Rango promedio
M1	Grado	5	8,60
	Master	5	10,40
	Profesional	5	5,00
	Total	15	
M2	Grado	5	9,00
	Master	5	7,20
	Profesional	5	7,80
	Total	15	
M3	Grado	5	6,00
	Master	5	11,40
	Profesional	5	6,60
	Total	15	
M4	Grado	5	6,40
	Master	5	9,00
	Profesional	5	8,60
	Total	15	

M5	Grado	5	9,80
	Master	5	9,00
	Profesional	5	5,20
	Total	15	
M6	Grado	5	6,40
	Master	5	11,20
	Profesional	5	6,40
	Total	15	
alfa	Grado	5	7,00
	Master	5	6,40
	Profesional	5	10,60
	Total	15	
DistCorte1	Grado	5	5,40
	Master	5	9,20
	Profesional	5	9,40
	Total	15	
DistCorte2	Grado	5	9,30
	Master	5	6,40
	Profesional	5	8,30
	Total	15	

Tabla 4: Prueba de Kruskal-Wallis y variable de agrupación; grupo

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	alfa	DistCorte1	DistCorte2
H de Kruskal-Wallis	3,780	,420	4,380	,980	3,020	3,840	2,580	2,540	1,087
gl	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sig. asintótica	,151	,811	,112	,613	,221	,147	,275	,281	,581

En el diagrama de cajas Simples que indicamos a continuación para la medición 1 (Ilustración 65), distinguimos que la mediana encargada de indicar el valor central del conjunto ordenado de observaciones del grupo profesional es el más simétrico con un valor de -0,24 con respecto a la amplitud intercuartil que el de los grupos de Grado (0,11) y Master (0,66). Percibimos que la dispersión del valor, que es igual a la longitud del intervalo, es mayor en el grupo de Grado, alejando su mediana del cuartil tercero (Q3) y acercándose mucho al cuartil primero (Q1). Sin embargo, aunque observamos que en el grupo de Master la dispersión es menor, la mediana se encuentra asimétrica encontrándose muy cercana al Q1, y alejada del Q3.

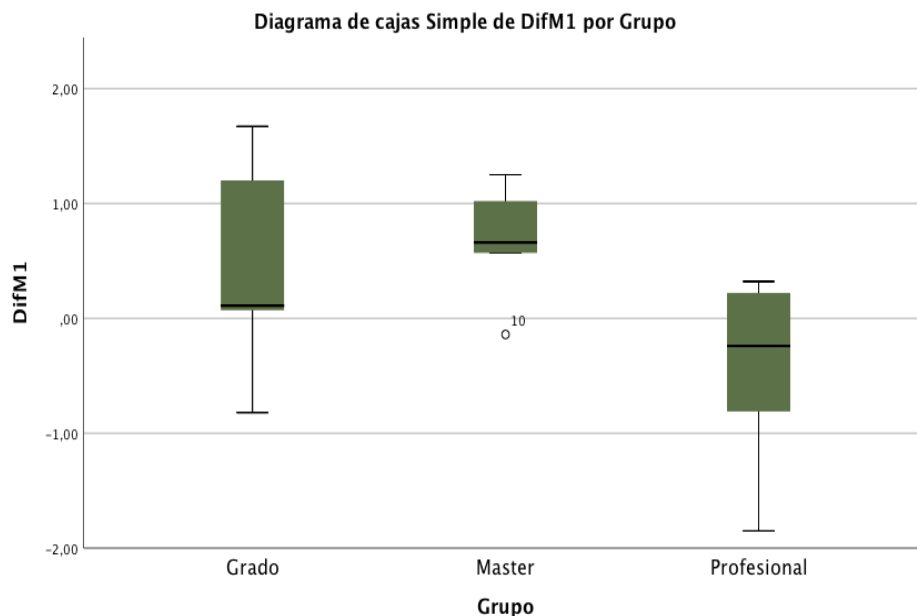


Ilustración 65: Diagrama de cajas Simple de DifM1 por grupo

En el diagrama de cajas Simples para la medición 2 (Ilustración 66), distinguimos que la mediana del grupo de master situada en el valor -0,21, es el más simétrico con respecto a la amplitud intercuartil, sin embargo, la mediana del grupo profesional se encuentra en el valor de -0,28 y simétrico con respecto a las patillas. Percibimos que la dispersión del valor es mayor en el grupo de Grado, alejando su mediana situada en el valor de -0,11 del Q3 y acercándose al Q1. Aunque observamos que en el grupo de Master la dispersión es menor, las patillas se encuentran asimétricas.

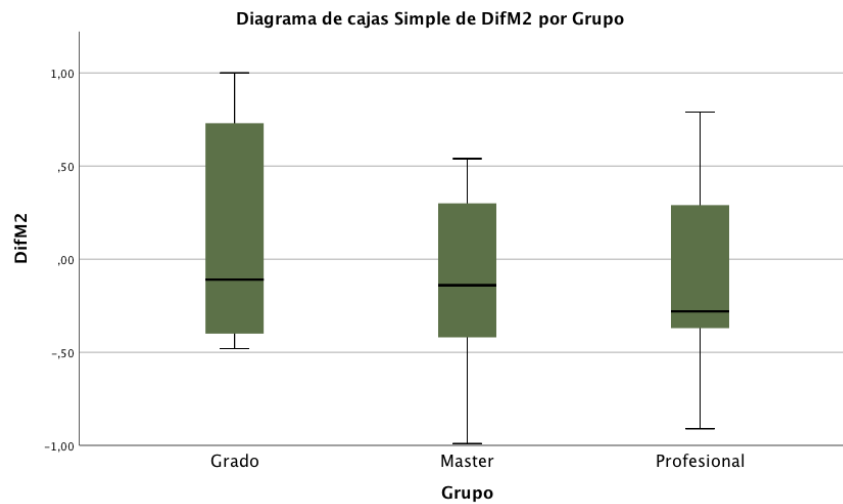


Ilustración 66: Diagrama de cajas simple de DifM2 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples para la medición 3 (Ilustración 67), distinguimos que la mediana del grupo de grado tiene un valor de -2,67, alejándose del valor ,00 y encontrándose cercana al Q3, además es el más asimétrico con respecto a la amplitud intercuartil, sin embargo, en el grupo profesional encontramos la mediana con un valor de -1,2 cercana al Q1 y simétrica con respecto a las patillas. Percibimos que la dispersión del valor es mayor en el grupo de Grado. Aunque observamos que en el grupo de Master la dispersión es menor, la mediana con un valor de -0,21 se encuentra asimétrica con respecto a las patillas.

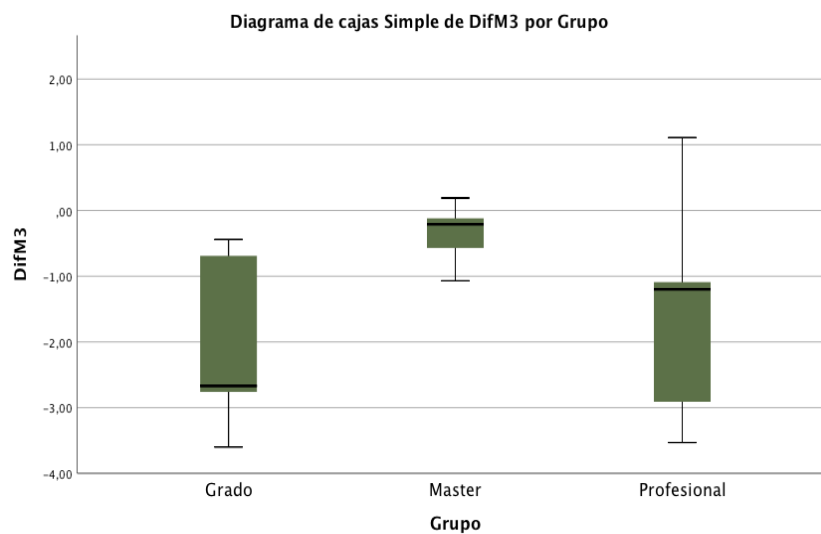


Ilustración 67: Diagrama de cajas simple de DifM3 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples para la medición 4 (Ilustración 68), distinguimos que la mediana del grupo de Grado con un valor de -1,08 es la más asimétrica con respecto a la amplitud intercuartil, sin embargo, en el grupo Profesional encontramos la mediana con un valor de -0,48 situada cerca del valor óptimo, con una dispersión intercuartil amplia y ligeramente simétrica con respecto a las patillas. Observamos que en el grupo de Master la dispersión es menor, pero la mediana tiene un valor de -0,81 y se aleja del valor 1, encontrándose asimétrica con respecto a las patillas.

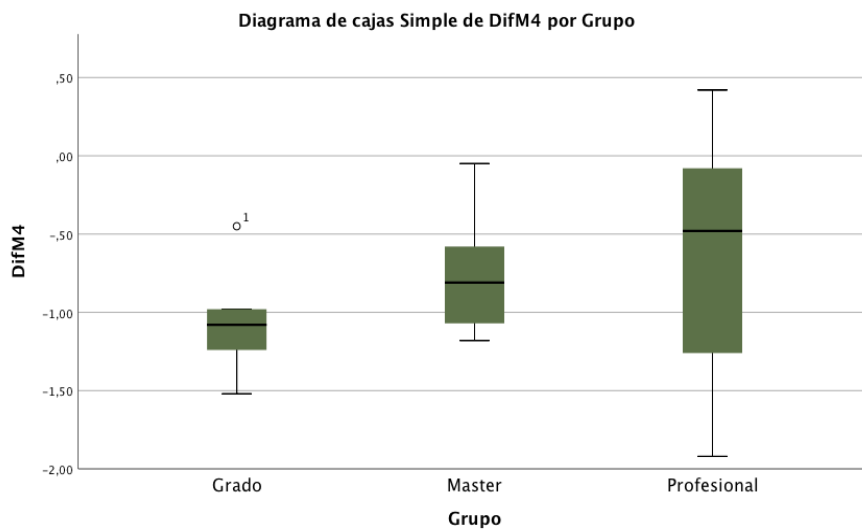


Ilustración 68: Diagrama de cajas simple de DifM4 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples para la medición 5 (Ilustración 69), distinguimos que la mediana del grupo Profesional con un valor de 0,65 se encuentra situada justamente entre los valores 1,00 y ,50 con una dispersión intercuartil amplia. Observamos que en el grupo de Master la dispersión intercuartil es bastante mayor, asimétrica, y la mediana con un valor de 1,31 se encuentra alejada por encima del valor 1,00. Aunque observamos que la mediana del grupo de Grado con un valor de 1,02, se encuentra ubicada en el valor 1,00 las patillas se encuentran muy dispersas llegando una de ellas a valores máximos de 2,00.

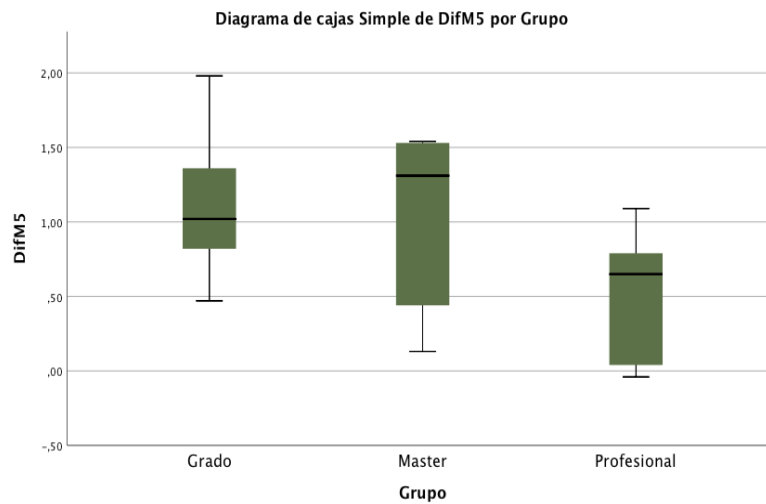


Ilustración 69: Diagrama de cajas simple DifM5 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples para la medición 6 (Ilustración 70), distinguimos que la mediana del grupo Profesional con un valor de -0,56 está situada cerca del valor ,00 con ligera dispersión intercuartil, y muy cercana al Q3. Observamos en el grupo de Master que la dispersión intercuartil es mínima pero asimétrica, ya que la mediana con un valor de -0,05 se encuentra en el Q1. Percibimos que la mediana del grupo de Grado tiene el valor -1,09 con amplia dispersión.

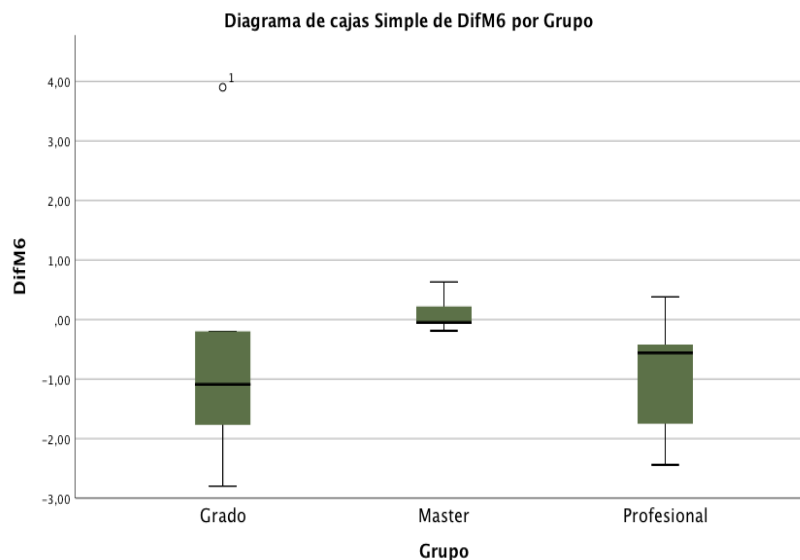


Ilustración 70: Diagrama de cajas simple por DifM6 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples para la diferencia alfa (Ilustración 71), distinguimos que la mediana del grupo Profesional con un valor de 2,8, está encuentra simétrica a las patillas cercana al valor 3,00, aunque se acerca ligeramente al Q3 alejándose medianamente del Q1. Observamos en el grupo de Master que la dispersión intercuartil es mayor y asimétrica, encontrándose la mediana en el valor 1,91 cerca del Q3 y a la patilla superior. Percibimos que la mediana del grupo de Grado con un valor de 1,86 se encuentra ubicada en el Q3 alejándose del Q1, y asimétrica a las patillas.

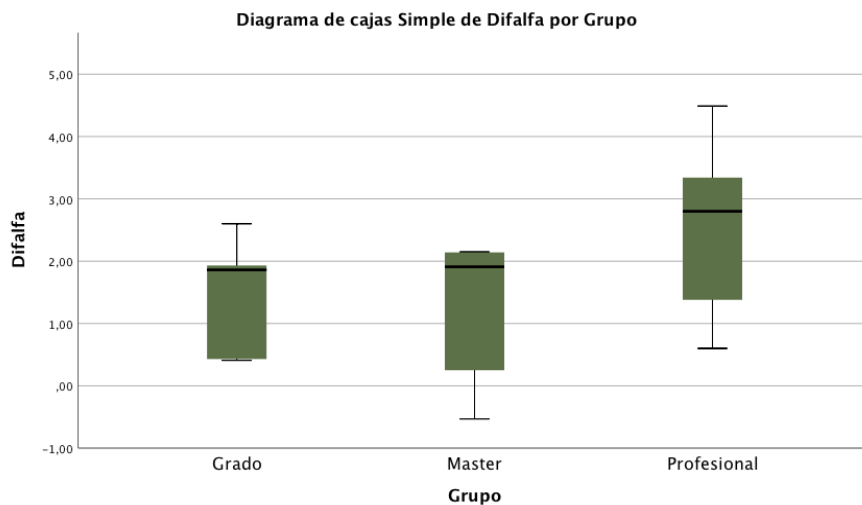


Ilustración 71: Diagrama de cajas simple por Difalfa por grupo.

En el diagrama de cajas Simples para la diferencia de distancia del corte 1 (Ilustración 72), distinguimos que la mediana del grupo Profesional con un valor de 1,2 se encuentra en el valor correcto. La mediana del grupo de Master obtiene un valor de -1,21 con ligera dispersión intercuartil alejándose del Q1. Percibimos que el grupo de Grado tiene una dispersión intercuartil mucho mayor que del resto grupos, con la mediana en el valor 0,78 por debajo del valor 1,00 y asimétrica con respecto a sus cuartiles, ubicándose cerca del Q3 y alejándose del Q1.

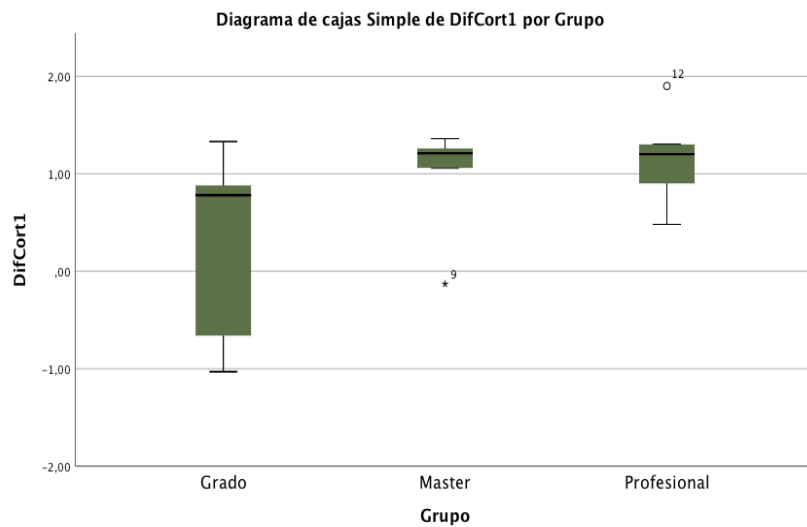


Ilustración 72: Diagrama de cajas simple de DifCort1 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples para la diferencia de distancia del corte 2 (Ilustración 73), distinguimos que la mediana del grupo Profesional en el valor -1,35 está encuentra cerca del valor -1,00 con ligera dispersión intercuartil. En el grupo de Master la dispersión intercuartil es menor, encontrándose los cuartiles y las patillas entre los valores -1,00 y -2,00, y la mediana con un valor de -1,74 cerca del Q1. Percibimos que el grupo de Grado tiene una dispersión intercuartil mayor que en el resto de grupos, con la mediana en el valor -0,65 asimétrica con respecto a sus cuartiles, ubicándose cerca del Q3 y alejándose del Q1.

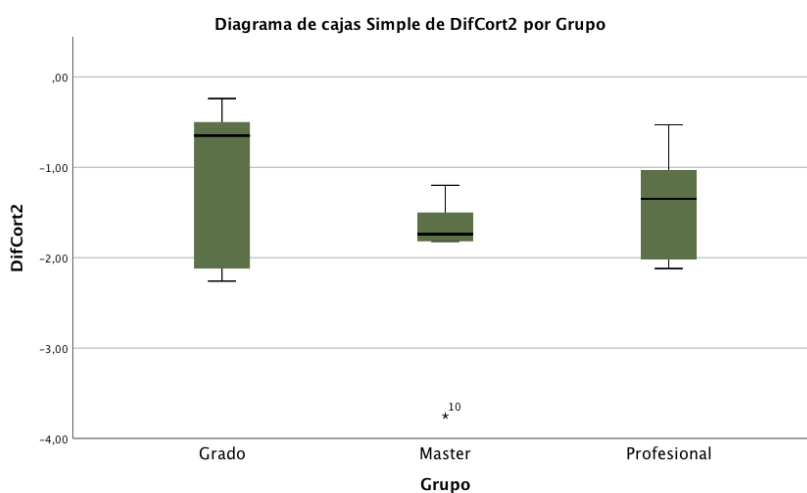


Ilustración 73: Diagrama de cajas simple de DifCort2 por grupo.

7.1. Ensayo con Guante 1 a medida

Los resultados obtenidos en el primer ensayo con un pie anatómico y el primer guante quirúrgico completo fueron los siguientes; durante el manejo de incisiones en partes blandas nos encontramos con varias dificultades debido al espacio reducido que nos ofrece la guía para poder realizarlas cómodamente, además el guante impide la palpación de tejido blando importante por parte del cirujano especialista en mínima incisión para evitar daños estructurales significativos.

En cuanto a las osteotomías realizadas nos dimos cuenta que algunas corticales laterales quedaban intactas sin llegar a realizarlas de manera completa y habría que estudiar si alargando la longitud de la guía en el guante quirúrgico podría ser suficiente para ejecutar las osteotomías completas.

El manejo “poco natural” de las fresas de corte se convirtió en otra dificultad añadida, debido a la imposibilidad de bascular las fresas. Esta falta de movimiento oscilante no ayuda a que la técnica quirúrgica sea fácil y natural para el cirujano especialista en mínima incisión. La falta de libertad de movimiento hace que el cirujano tenga que generar una fuerza y tensión excesiva sobre la fresa con el peligro de rotura cuando se esté realizando la osteotomía.

Cuando se planteó recrear un diseño nuevo de las guías surgió un requisito principal: permitir el movimiento bascular de la fresa, contando con la inclusión de partes móviles acopladas a las guías, las cuales no pueden ser impresas directamente en el guante quirúrgico por lo que éste se imprimiría en 3D con sus respectivas guías de corte y las piezas basculantes fabricadas en metal o polímero se anclarían a las guías *a posteriori* mediante un diseño sencillo de *clic*. Otro inconveniente encontrado fue el material poliamida 12 con el que se imprimieron las piezas de contacto con las fresas para evitar residuos de fresado en áreas incisionales quirúrgicas.

Por último, tuvimos serias dificultades para realizar algunas osteotomías debido a la longitud de las fresas y su automatización en el movimiento de corte. Como solución a la problemática de la profundidad de las fresas se plantea un instrumento con

mediciones en una regla incorporada a las guías externas. El objetivo principal para este primer ensayo con el guante quirúrgico impreso a medida en 3D fue determinar los parámetros críticos del diseño del guante y guías, así como la planificación de la cirugía mediante un *software* propio y su producción en 3D.

A continuación, observaremos los datos obtenidos (**Tabla 9**) después de las pruebas realizadas en el pie anatómico con el guante quirúrgico 1 comparando los rangos con diferencias entre el prequirúrgico y el postquirúrgico, en los cuales podemos puntualizar que todos los valores diferenciales son menores a $\leq 1,58$, solo superado por un valor igual a 5,23. Los resultados son:

Tabla 5: Prueba de rangos con diferencias entre el pre y el postquirúrgico.

PREQUIRURGICO	POSTQUIRURGICO	DIFERENCIA
13,23	12,11	1,12
9,15	9,13	0,03
12,55	12,68	-0,13
19,59	14,36	5,23
18,32	18,05	0,27
16,21	17,49	-1,28
5,86	6,09	-0,22
14,05	15	-0,95
6,17	5,18	0,99
9,15	9,13	0,03
12,85	14,43	-1,58

En el siguiente gráfico (Ilustración 74) se reflejan los rangos de diferencia entre el prequirúrgico representado por la línea azul, y el postquirúrgico representado por la línea naranja en el que se puede observar sólo un punto de máxima discrepancia entre ellos en el punto 4, pero manteniéndose en el resto prácticamente sin ninguna diferencia.

Precisión quirúrgica en cirugía de mínima incisión del pie mediante guías impresas en 3D

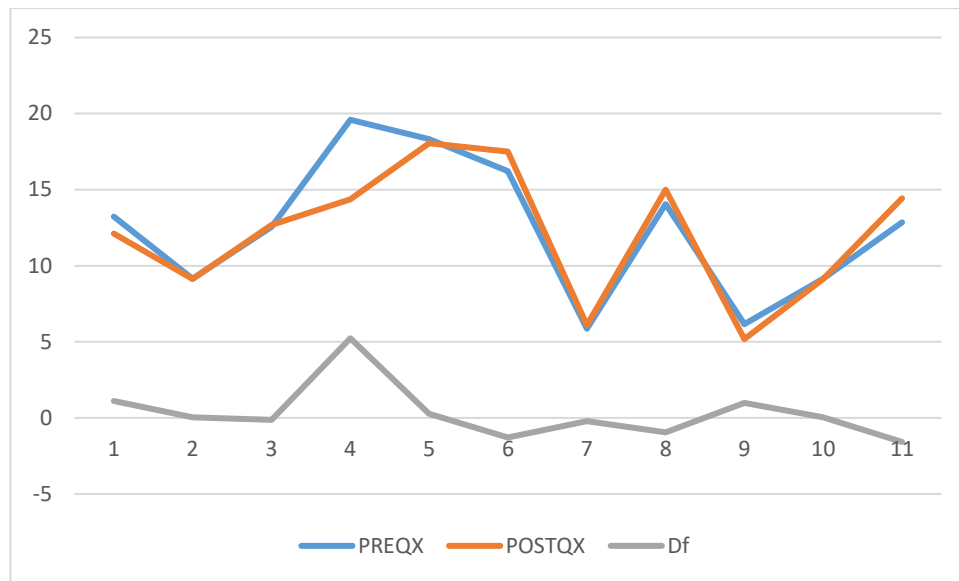


Ilustración 74: Gráfico con diferencias entre los resultados del pre y del postquirúrgico obtenidos en el ensayo con el guante quirúrgico completo 1

Tabla 6: Estadísticos descriptivos para espécimen A.

Estadísticos descriptivos ^a					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
PREQX	11	5,86	19,59	12,4670	4,55537
POSTQX	11	5,18	18,05	12,1485	4,30710
DIFERENCIA	11	-1,58	5,23	,3185	1,83447
N válido (según lista)	11				

a. ESPECIMEN = 1,00

Tabla 7: estadísticos de muestras relacionadas para espécimen A.

Estadísticos de muestras relacionadas ^a					
		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	PREQX	12,4670	11	4,55537	1,37350
	POSTQX	12,1485	11	4,30710	1,29864

a. ESPECIMEN = 1,00

Tabla 8: correlaciones de muestras relacionadas especimen A.

Correlaciones de muestras relacionadas ^a							
		N	Correlación		Sig.		
Par 1	PREQX y POSTQX	11	,916		,000		
a. ESPECIMEN = 1,00							
Prueba de muestras relacionadas ^a							
		Diferencias relacionadas					t
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
					Inferior	Superior	
Par 1	PREQX - POSTQX	,31845	1,83447	,55311	- ,91396	1,5508 7	,576

Prueba de muestras relacionadas ^a			
		gl	Sig. (bilateral)
Par 1	PREQX - POSTQX	10	,578
a. ESPECIMEN = 1,00			

7.2. Ensayo con Guante 2 a medida

El objetivo principal para este segundo ensayo fue la determinación exacta de las guías quirúrgicas, y verificar si sería mejor el diseño del guante quirúrgico con un *offset* de 1mm o con un *offset* de 0mm, que resultó ser mejor el *offset* de 0mm debido a que el pie queda más ajustado al guante.

Al realizar los gestos quirúrgicos con el guante 2 a medida, procedimos a ejecutar el

TAC postquirúrgico distinguiendo que, a diferencia de los resultados obtenidos en la primera prueba de concepto con el guante 1 a medida, todas las osteotomías se encuentran perfectamente ubicadas. A pesar de que en esta segunda prueba se consiguen realizar las osteotomías en el lugar anatómico correcto, no se consigue la precisión absoluta puesto que no se ejecutan de forma completa quedando intactas algunas corticales dorsales y/o plantares, además la medición de la profundidad de corte de la fresa no es la óptima, incapacitando completamente el corte de alguna de las osteotomías.

Hay que puntualizar que las pruebas realizadas con el guante completo será necesario comprobarlas fluoroscópicamente antes y después de realizar los gestos quirúrgicos, por lo que habrá que tenerlo en cuenta para las siguientes acciones que realizaremos en la prueba del guante 3 a medida.

Para esta segunda prueba con el modelo de guante 2 se siguió un protocolo meticuloso para proyectar los TAC, en los que cabe puntualizar que fueron proyectados cumplidamente teniendo la misma cantidad de cortes fotográficos para cada uno de los TAC de los pre y los postquirúrgicos de las piezas anatómicas. Cabe destacar un inconveniente que tuvimos con el pie anatómico utilizado de dos años de antigüedad, lo que nos conduce a pensar que pueda ser la razón por la cual se produjeran ligeros desplazamientos óseos a la hora de practicarle la cirugía.

Para finalizar este apartado se presentan unas líneas claras de acción a seguir para la tercera prueba de concepto; diseñar de manera correcta y definitiva el anclaje de las dos valvas del guante, cambiar la guía de corte estándar por una que permita el baile basculante de la fresa facilitando los movimientos necesarios para realizar las osteotomías y que las guías basculantes se acoplen cómodamente al guante completo, minimizar el espesor de las guías para utilizar fresas estándares en vez de la fresa *Shanon Isham* extra larga, diseñar y fabricar un medidor de profundidad de corte, estudiar si fuese necesario colocar un testigo no metálico para realizar las osteotomías en su medida de profundidad óptima, y por último estudiar la forma en la que poder medir perfectamente los diseños de las osteotomías en los TAC del pre y del postquirúrgico para cuantificarlo.

A continuación, observaremos los datos obtenidos (Tabla 9) después de las pruebas

realizadas en el pie anatómico con el guante quirúrgico 2 comparando los rangos con diferencias entre el prequirúrgico y el postquirúrgico, en los cuales podemos puntualizar que todos los valores diferenciales son menores a $\leq 0,42$, no superando ninguna diferencia entre ellos de 1,00. Los resultados son:

Tabla 9: Prueba de rangos con diferencia entre pre y postquirúrgicos

PREQUIRURGICO	POSTQUIRURGICO	DIFERENCIA
2,14	2,12	0,02
2,29	2,34	-0,05
2,39	2,34	0,05
1,93	1,61	0,32
2,01	2,43	-0,42
3,27	3,18	0,09
2,19	2,13	0,06
0,985	1	-0,015
4,01	3,59	0,42
1,92	1,9	0,02

En el siguiente gráfico (Ilustración 75) se reflejan los rangos de diferencia entre el prequirúrgico representado por la línea azul, y el postquirúrgico representado por la línea naranja en el que se puede observar que apenas existe una discrepancia acentuada entre ellas, manteniéndose prácticamente sin ninguna diferencia.

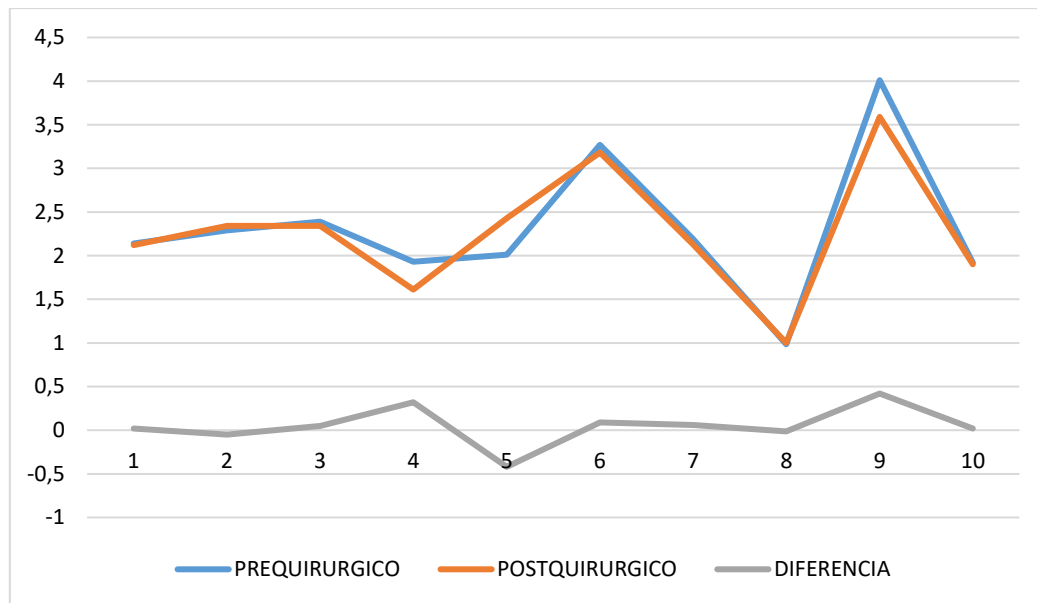


Ilustración 75: gráfico de diferencias entre pre y postquirúrgico con guante 2.

Tabla 10: Estadísticos descriptivos de muestras relacionadas.

a. ESPECIMEN = 2,00					
Estadísticos de muestras relacionadas ^a					
		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	PREQX	2,3135	10	,81675	,25828
	POSTQX	2,2640	10	,73281	,23173

a. ESPECIMEN = 2,00

Tabla 11: Correlaciones de muestras relacionadas.

Correlaciones de muestras relacionadas ^a				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	PREQX y POSTQX	10	,964	,000

a. ESPECIMEN = 2,00

Tabla 12: Prueba de muestras relacionadas entre el pre y el postquirúrgico.

Prueba de muestras relacionadas ^a								
			Diferencias relacionadas				t	
			Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
						Inferior		Superior
Par 1	PREQX POSTQX	-	,0495 0	,22321	,07059	-,11018 ,20918	,70 1	

Tabla 13: Prueba de muestras relacionadas entre el pre y el postquirúrgico.

Prueba de muestras relacionadas ^a			
		gl	Sig. (bilateral)
Par 1	PREQX - POSTQX	9	,501

Gracias a las imágenes TAC postquirúrgicas se observa que en la osteotomía de Base del primer metatarsiano se produce una oquedad considerable debido al cambio de dirección de la fresa que hace que baile justamente en el vértice que da forma de *L* invertida de la osteotomía, por lo que se propone evitar el cambio direccional para evitar crear un orificio. Podemos observar que la osteotomía de Reverdin de la cabeza del primer metatarsiano se encuentra en la posición correcta diseñada, pero quedando intacta la cortical ósea medial y parte de la plantar. (Ilustración 76)

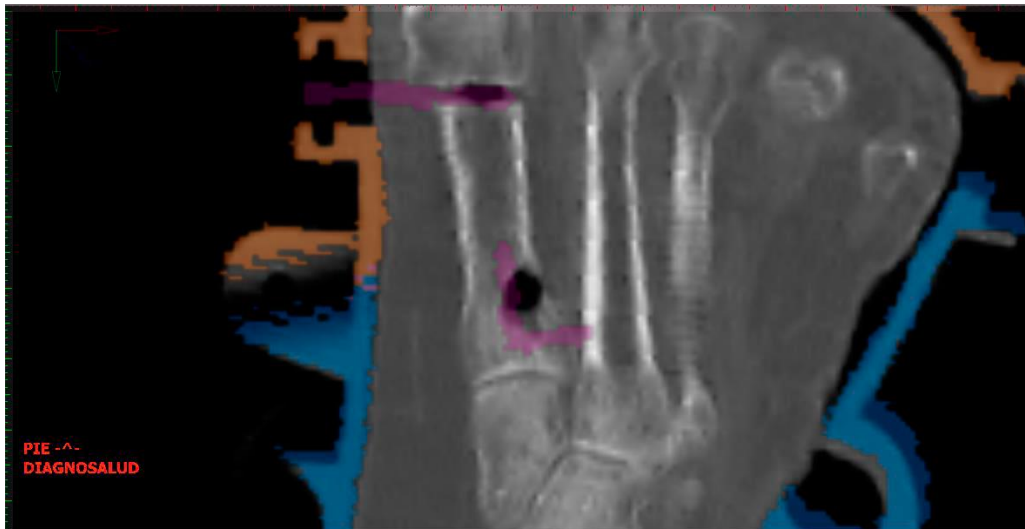


Ilustración 76: Oquedad en la base del primer metatarsiano debido al movimiento de la fresa al cambiar la dirección de corte.

Se pudo distinguir además con la superposición de los TAC pre y postquirúrgicos que no se terminan de completar todas las osteotomías, quedando corticales plantares en algunos casos (Ilustración 77 e Ilustración 78) o dorsales en otros por terminar de fragmentar.

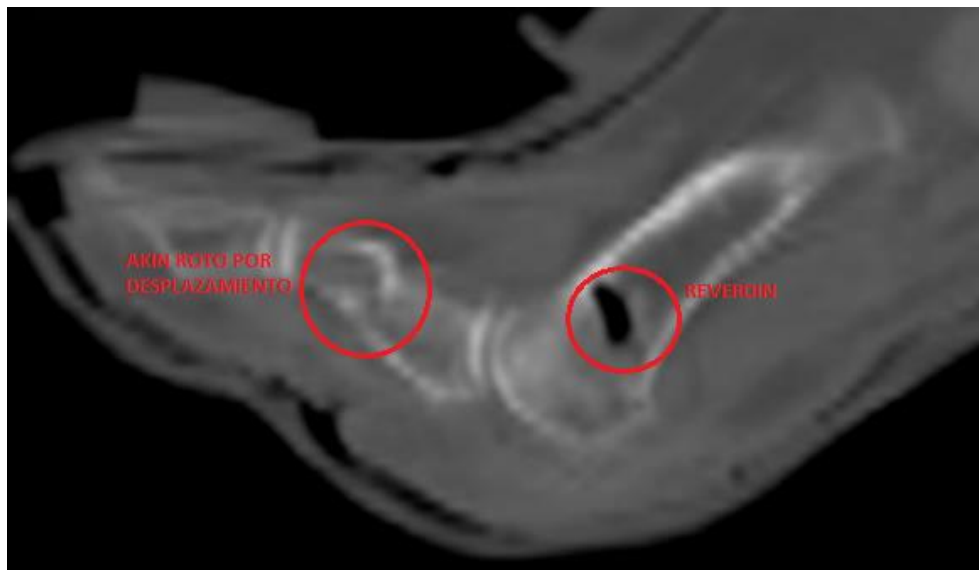


Ilustración 77: Osteotomía de Reverdin incompleta en la que se puede observar como la cortical plantar queda intacta.

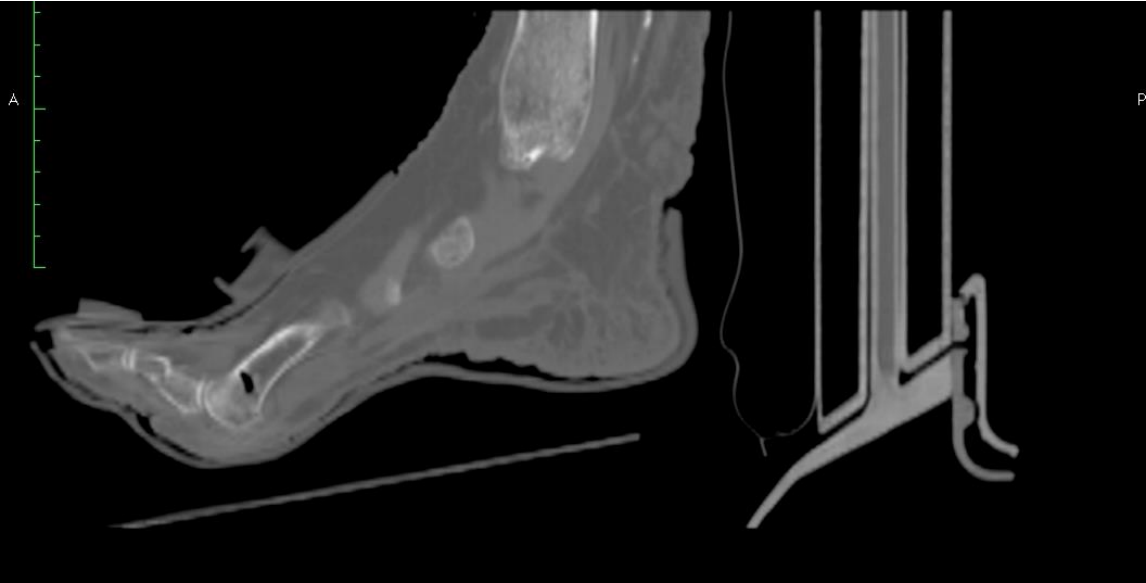


Ilustración 78: Osteotomía de Reverdin incompleta por su cortical plantar.

Durante la ejecución de esta segunda prueba de concepto se percibió que la longitud de la fresa de corte real resultó ser ineficaz ya que no correspondía la medida real de la fresa con la planificada en la imagen en 3D, tal y como se describe en la siguiente muestra:

Tabla 14: Osteotomía de Akin

Osteotomía de Akin de la primera falange proximal

Tope fresa planificada toca cortical pero no termina de cortarla	Tope fresa sigue pasar	Bicortical justo
34,9mm	30,75mm	25,41mm

Como se puede observar en las ilustraciones siguientes, las osteotomías se miden gracias al software *Osirix* para obtener los resultados del pre y del postquirúrgico.



Ilustración 79: medición del Akin al Reverdin por dorsal.



Ilustración 80: medición del Reverdin a la articulación, y de la hendidura de la primera cuña representado en color naranja.



Ilustración 81: medición de la osteotomía capital de la segunda falange en su base.



Ilustración 82: medición de la base proximal del primer metatarsiano hasta la osteotomía de Base.



Ilustración 83: medición de la osteotomía de Base hasta el Reverdin por dorsal.



Ilustración 84: medición de las osteotomías del 5º radio.

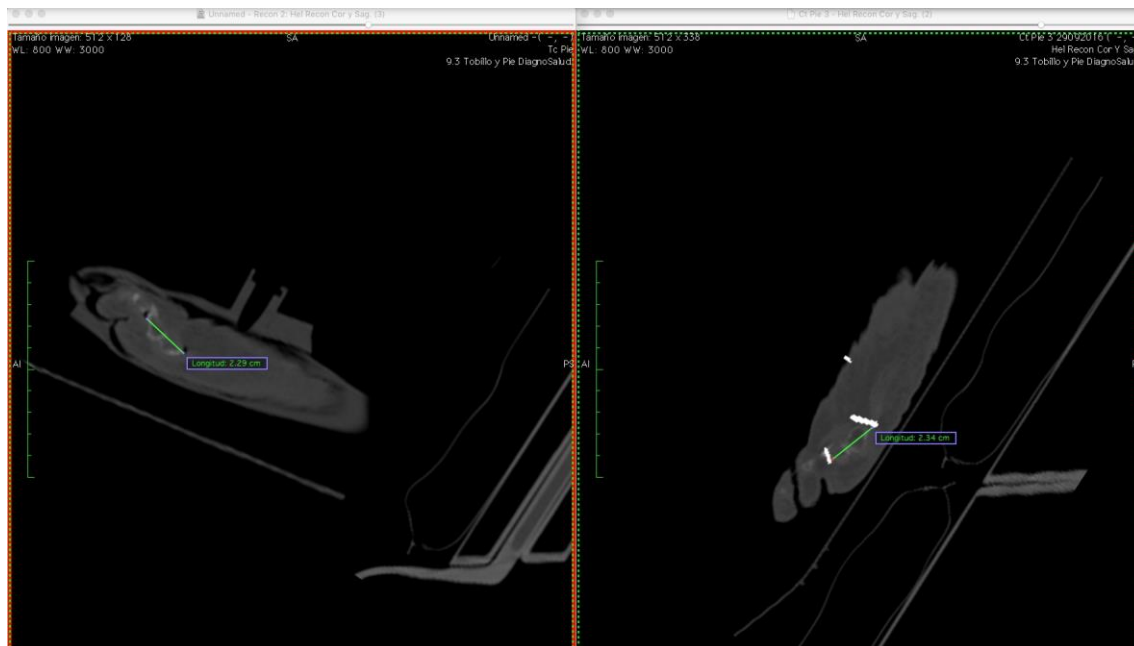


Ilustración 85: medición de la osteotomía de la falange proximal del 5° a la osteotomía capital del 5° metatarsiano.

Tras la realización de este segundo ensayo observamos que el TAC prequirúrgico deberá ser proyectado con el pie anatómico previamente descongelado para que no haya un cambio volumétrico del pie entre las tomografías axiales computarizadas previas y posteriores a las técnicas quirúrgicas. En este segundo ensayo se puede observar que la desviación de cada osteotomía en los TAC pre y postquirúrgicos fue la correcta, con un error de menos de 0,0495mm. como se puede comprobar en la Tabla 15

Tabla 15: Estadísticos descriptivos entre el pre y el postquirúrgico con el guante quirúrgico completo 2.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
PREQX	10	,99	4,01	2,3135	,81675
POSTQX	10	1,00	3,59	2,2640	,73281
DIFERENCIA	10	-,42	,42	,0495	,22321
N válido (según lista)	10				

Advertimos que el protocolo a seguir para proyectar los TAC, deberá ser elaborado escrupulosamente y deberán tener la misma cantidad de cortes para cada uno de los TAC de los pre y los postquirúrgicos.

7.3. Prueba con Guante 3 a medida

El objetivo principal para este tercer ensayo con el guante 3 a medida fue determinar exactamente de la desviación de las agujas *Kirschner* que nos van a servir como fijación de estructuras anatómicas al guante, y la desviación de las osteotomías sobre la pieza anatómica. En la tercera prueba de concepto observamos que el guante quirúrgico completo impreso en 3D y fabricado en Poliamida 12 se ajusta correctamente al pie derecho anatómico y se cierra sin ningún problema.

Concluida la tercera fase del ensayo con el guante a medida, obtenemos una serie de resultados observados entre las diferencias del pre y del postquirúrgico para el guante quirúrgico completo 3 en la Tabla 16:

Tabla 16: estadísticos descriptivos del guante 3

Estadísticos descriptivos ^a					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
PREQX	11	4,48	15,82	9,7298	4,25804
POSTQX	11	3,54	15,82	9,6535	4,31228
DIFERENCIA	11	-2,31	3,45	,0764	1,63401
N válido (según lista)	11				

a. ESPECIMEN = 3,00

Tabla 17: Estadísticos de muestras relacionada para el Guante 3.

Prueba T relacionada

Estadísticos de muestras relacionadas ^a					
		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	PREQX	9,7298	11	4,25804	1,28385

	POSTQX	9,6535	11	4,31228	1,30020
--	--------	--------	----	---------	---------

a. ESPECIMEN = 3,00

Tabla 18: Correlaciones de muestras relacionadas para el Guante 3.

Correlaciones de muestras relacionadas ^a				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	PREQX y POSTQX	11	,927	,000

a. ESPECIMEN = 3,00

Tabla 19: Prueba de muestras relacionadas para el guante 3.

Prueba de muestras relacionadas ^a							
		Diferencias relacionadas					t
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
					Inferior	Superior	
Par 1	PREQX - POSTQX	,07636	1,63401	,49267	- 1,0213 8	1,17411	,155

Tabla 20: Prueba de muestras relacionadas para el Guante 3.

Prueba de muestras relacionadas ^a		
	gl	Sig. (bilateral)

Par 1	PREQX - POSTQX	10	,880

a. ESPECIMEN = 3,00

A continuación, observaremos los datos obtenidos (Tabla 21) después de las pruebas realizadas en el pie anatómico con el guante quirúrgico 3 comparando los rangos con diferencias entre el prequirúrgico y el postquirúrgico, en los cuales podemos puntualizar que los valores diferenciales tienen una diferencia máxima de 4,72, siendo la diferencia entre ellos en algunos casos de 0. Los resultados son:

Tabla 21: diferencias medidas entre el pre y el postquirúrgico del guante 3

PREQUIRURGICO	POSTQUIRURGICO	DIFERENCIA
9,49	9,78	-0,29
11,5	12,8	-1,3
15,7	13,8	1,9
15	15,6	-0,6
6,99	3,54	3,45
6,93	5,56	1,37
4,48	6,79	-2,31
5,21	6,59	-1,38
32,49	35,06	-2,57
31,45	36,17	-4,72
15,82	15,82	0
9,95	9,95	0
5,958	5,958	0

En el siguiente gráfico (Ilustración 86) se reflejan los rangos de diferencia entre el prequirúrgico representado por la línea azul, y el postquirúrgico representado por la línea naranja en el que se puede observar las diferencias entre el prequirúrgico y el postquirúrgico, teniendo una diferencia máxima entre ellas de 4,72 y otras con ninguna diferencia, siendo su valor de 0mm de error.

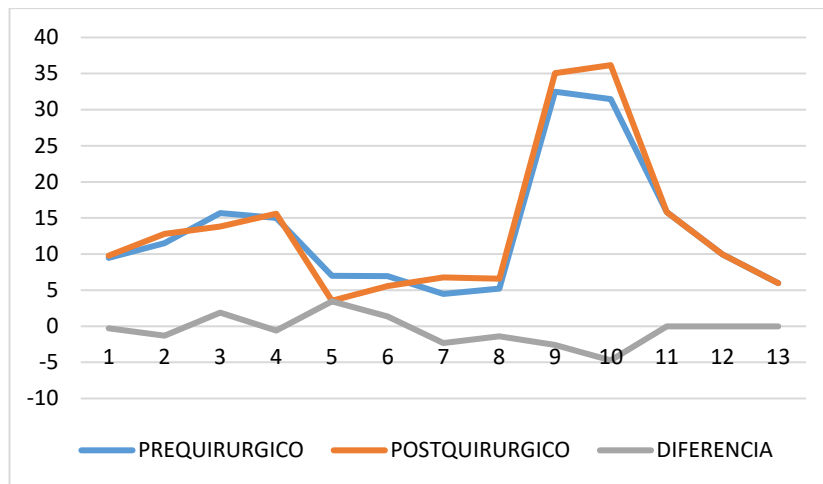


Ilustración 86: gráfico de diferencias entre el pre y el posquirúrgico del guante 3

Gracias al análisis fluoroscópico de los gestos quirúrgicos realizados en las corticales óseas se observa que todos los cortes óseos se ejecutan ligeramente desplazados al diseño previo a la cirugía, y además es posible realizar dos osteotomías a la vez en con la misma guía. (Ilustración 87)



Ilustración 87: visualización fluoroscópica de osteotomías diferentes realizadas en el mismo lugar anatómico

Para comprobar si la destreza y la curva de aprendizaje de los podólogos que operaron influye en la realización de las mismas con el guante quirúrgico procedemos a comparar las diferencias obtenidas entre el pre y postquirúrgico para cada guante personalizado. Realizamos la prueba no paramétrica independiente de la prueba de Kruskal-Wallis:

Tabla 22: Estadísticos descriptivos Guante 3.

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
DIFERENCIA	32	,1512	1,40591	-2,31	5,23
ESPECIMEN	32	2,0000	,84242	1,00	3,00

Tabla 23: Prueba de Kruskal Wallis.

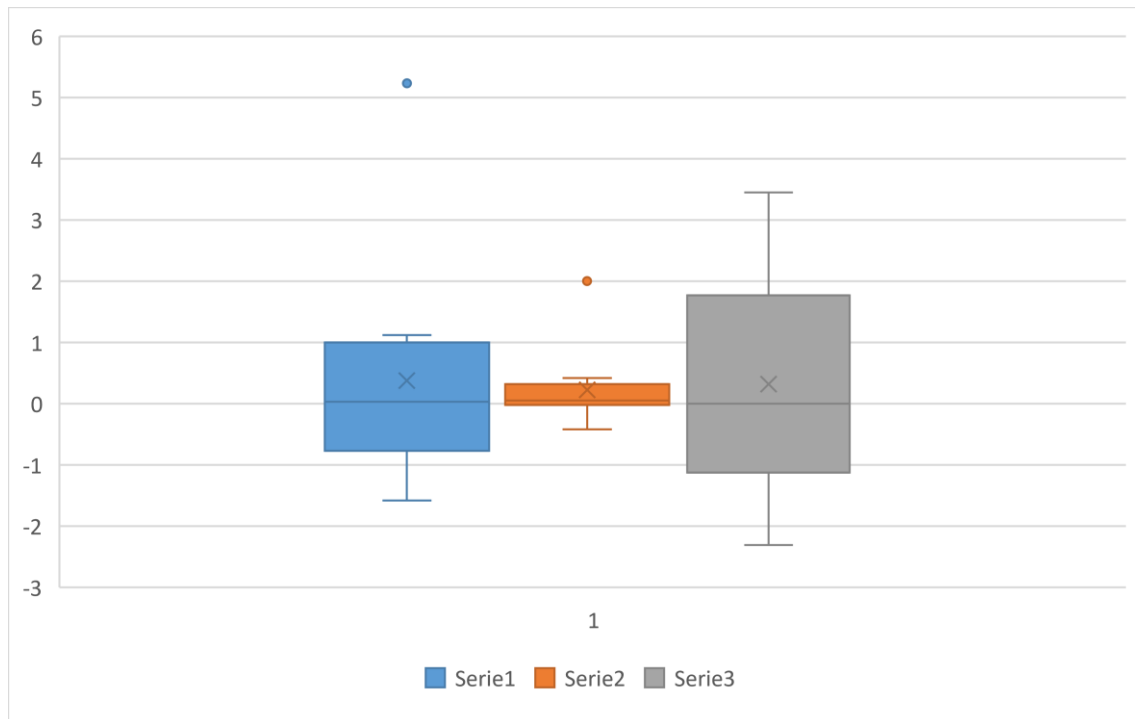
Rangos			
	ESPECIMEN	N	Rango promedio
DIFERENCIA	1,00	11	16,73
	2,00	10	18,50
	3,00	11	14,45
	Total	32	

Tabla 24: Estadísticos de contraste a-b.

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	DIFERENCIA
Chi-cuadrado	,985
gl	2
Sig. asintót.	,611
a. Prueba de Kruskal-Wallis	
b. Variable de agrupación: ESPECIMEN	

Observamos que no influye en la destreza del cirujano, siendo $p\text{-value}=0,611$, es decir que no existen diferencias significativas entre cada uno de los podólogos. Observamos en la gráfica como la diferencia entre pre y post quirúrgico es menor de 2mm siendo el cirujano con experiencia media el que más próximo a 0 se encuentra.

La desviación máxima es obtenida en el espécimen 1 y con el profesional de mucha experiencia, quizás provocado que ya tiene interiorizado una forma de proceder en las osteotomías, que se ve limitada por la ejecución con el guante impreso en 3d.



7.1. Prueba sobre cadáver con guía estándar

Resultados obtenidos después de las pruebas realizadas en las piezas anatómicas:

Tabla 25: Descriptivos de las medidas tomadas en las piezas anatómicas

		medida akin medial 1	medida lateral 1	medida reverdin medial	medida reverdin lateral4	MEDIDA AKIN REVERDIN MEDIAL	MEDIDA AKIN REVERDIN MEDIAL	ángulo entre akin y reverdin
Grado	N	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	Rango	12,91	12,48	21,06	23,35	27,86	27,40	14,99
	Mínimo	6,59	7,82	5,44	4,85	20,85	23,57	6,44
	Máximo	19,50	20,30	26,50	28,20	48,71	50,97	21,44
	Media	12,03	12,59	15,45	15,69	29,50	30,60	14,27
	Desv. Desviación	3,94	3,67	5,74	6,53	7,83	8,09	4,68
	Varianza	15,54	13,46	32,98	42,60	61,32	65,46	21,89

Precisión quirúrgica en cirugía de mínima incisión del pie mediante guías impresas en 3D

Master	N	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	Rango	7,74	17,14	15,50	17,38	16,63	21,23	27,11
	Mínimo	8,26	8,56	9,20	8,12	28,94	21,36	6,43
	Máximo	16,00	25,70	24,70	25,50	45,57	42,59	33,54
	Media	13,25	13,56	17,06	15,68	33,94	31,18	14,84
	Desv. Desviación	2,62	5,00	5,57	6,86	6,40	7,06	9,07
	Varianza	6,88	25,00	31,01	47,10	40,97	49,84	82,33
Patente	N	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	Rango	8,90	9,80	8,60	8,90	9,09	8,51	1,09
	Mínimo	11,40	11,80	13,00	12,70	30,33	30,61	1,99
	Máximo	20,30	21,60	21,60	21,60	39,42	39,12	3,08
	Media	15,10	16,10	17,01	16,90	35,00	34,89	2,73
	Desv. Desviación	2,76	2,83	2,78	3,30	2,62	2,65	0,36
	Varianza	7,61	8,00	7,75	10,91	6,86	7,01	0,13

Tabla 26: Resta de los valores de la plantilla quirúrgica

		diferencia medida akin medial 1	diferencia medida lateral 1	diferencia medida reverdin medial	diferencia medida reverdin lateral4	diferencia MEDIDA AKIN A REVERDIN MEDIAL	diferencia MEDIDA AKIN A REVERDIN MEDIAL	diferencia ángulo entre akin y reverdin
Grado	N	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	Rango	12,91	12,48	21,06	23,35	27,86	27,40	14,99
	Mínimo	-9,41	-8,18	-10,56	-11,15	-11,15	-8,43	3,44
	Máximo	3,50	4,30	10,50	12,20	16,71	18,97	18,44
	Media	-3,97	-3,41	-0,55	-0,31	-2,50	-1,40	11,27
	Desv. Desviación	3,94	3,67	5,74	6,53	7,83	8,09	4,68
	Varianza	15,54	13,46	32,98	42,60	61,32	65,46	21,89
Master	N	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	Rango	7,74	17,14	15,50	17,38	16,63	21,23	27,11
	Mínimo	-7,74	-7,44	-6,80	-7,88	-3,06	-10,64	3,43
	Máximo	0,00	9,70	8,70	9,50	13,57	10,59	30,53
	Media	-2,75	-2,44	1,06	-0,32	1,94	-0,82	11,84
	Desv.	2,62	5,00	5,57	6,86	6,40	7,06	9,07

	Desviación							
	Varianza	6,88	25,00	31,01	47,10	40,97	49,84	82,33
Patente	N	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	Rango	8,90	9,80	8,60	8,90	9,09	8,51	1,09
	Mínimo	-4,60	-4,20	-3,00	-3,30	-1,67	-1,39	-1,01
	Máximo	4,30	5,60	5,60	5,60	7,42	7,12	0,08
	Media	-0,90	0,10	1,01	0,90	3,00	2,89	-0,27
	Desv. Desviación	2,76	2,83	2,78	3,30	2,62	2,65	0,36
	Varianza	7,61	8,00	7,75	10,91	6,86	7,01	0,13

Realizamos la prueba de Kruskal-Wallis para ver si encontramos diferencias estadísticas.

Tabla 27: Prueba de Kruskal-Wallis

Rangos			
	grupos	N	Rango promedio
diferencia medida akin medial 1	Grado	10	11,30
	Master	10	14,65
	Patente	8	18,31
	Total	28	
diferencia medida lateral 1	Grado	10	11,70
	Master	10	12,65
	Patente	8	20,31
	Total	28	
diferencia medida reverdin medial	Grado	10	12,90
	Master	10	15,05
	Patente	8	15,81
	Total	28	
diferencia medida reverdin lateral4	Grado	10	13,90
	Master	10	13,35
	Patente	8	16,69
	Total	28	

diferencia MEDIDA AKIN A REVERDIN MEDIAL	Grado	10	9,10
	Master	10	15,90
	Patente	8	19,50
	Total	28	
diferencia MEDIDA AKIN A REVERDIN MEDIAL	Grado	10	11,55
	Master	10	13,20
	Patente	8	19,81
	Total	28	
diferencia ángulo entre akin y reverdin	Grado	10	19,50
	Master	10	17,50
	Patente	8	4,50
	Total	28	

Tabla 28: Estadísticos de prueba.

	Diferencia medida Akin medial 1	Diferencia medida Akin lateral 1	diferencia medida Reverdin medial	diferencia medida Reverdin lateral 4	diferencia medida de Akin a Reverdin medial	diferencia medida de Akin a Reverdin medial	Diferencia ángulo entre Akin y Reverdin
H de Kruskal-Wallis	3,236	5,662	,627	,815	7,557	4,874	16,847
gl	2	2	2	2	2	2	2
Sig. asintótica	,198	,059	,731	,665	,023	,087	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: GRUPO

En el diagrama de cajas Simple que indicamos a continuación para la diferencia medida del *Akin* medial 1 (Ilustración 88), distinguimos que la mediana encargada de indicar el valor central del conjunto ordenado de observaciones del grupo Patente es el más simétrico con respecto a la amplitud intercuartil que el de los grupos de grado y master. Percibimos que la dispersión del valor, que es igual a la longitud del intervalo, es mayor en el grupo de Grado, alejando su mediana del Q3 y acercándose ligeramente al Q1. Sin embargo, aunque observamos que en el grupo de Master la dispersión es menor, la mediana se encuentra asimétrica encontrándose muy cercana al Q3, y alejada del Q1.

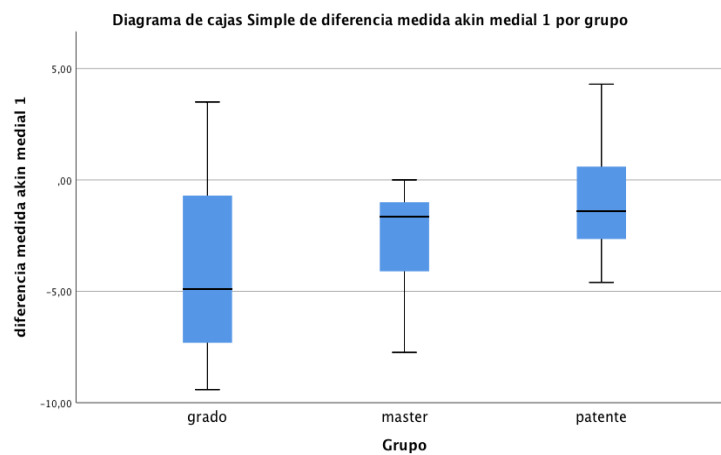


Ilustración 88: Diagrama de cajas simple de diferencia medida entre *Akin* medial 1 por grupo.

En el diagrama de cajas Simple que indicamos a continuación para la diferencia medida del *Akin* lateral 1 (Ilustración 89), distinguimos que la mediana del grupo de Patente es el más simétrico con respecto a la mínima amplitud intercuartil encontrándose en el valor ,00. Percibimos que la dispersión del valor, que es igual a la longitud del intervalo, es mayor en el grupo de Grado, alejando su mediana del Q3 y acercándose al Q1. Observamos que en el grupo de Master la dispersión intercuartil es similar a la del grupo de Grado, y la mediana se encuentra simétrica con respecto a sus cuartiles, pero por debajo del valor ,00.

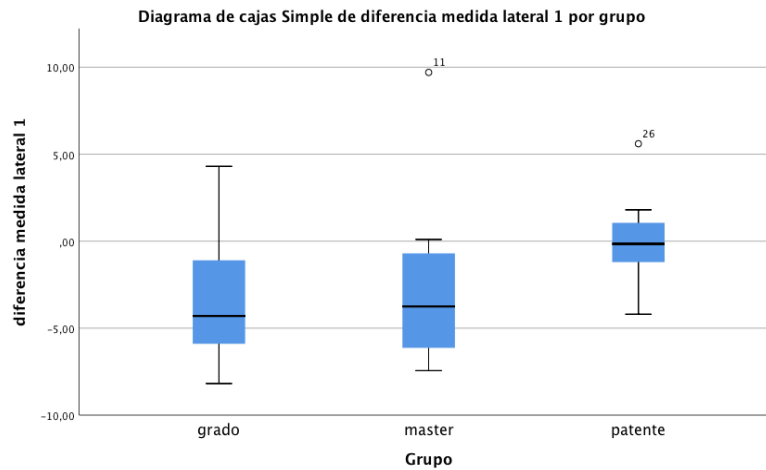


Ilustración 89: Diagrama de cajas simple de diferencia medida lateral 1 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples que indicamos a continuación para la diferencia medida del *Reverdin* medial (Ilustración 90), distinguimos que la mediana del grupo de Patente es el más simétrico con respecto a la amplitud intercuartil que el de los grupos de grado y master, teniendo un valor cercano a ,00 siendo su dispersión mínima. Percibimos que la dispersión del valor es ligeramente mayor en el grupo de Master con respecto al de Grado, y observamos que en el grupo de Grado la mediana se encuentra más asimétrica que en el resto de grupos.

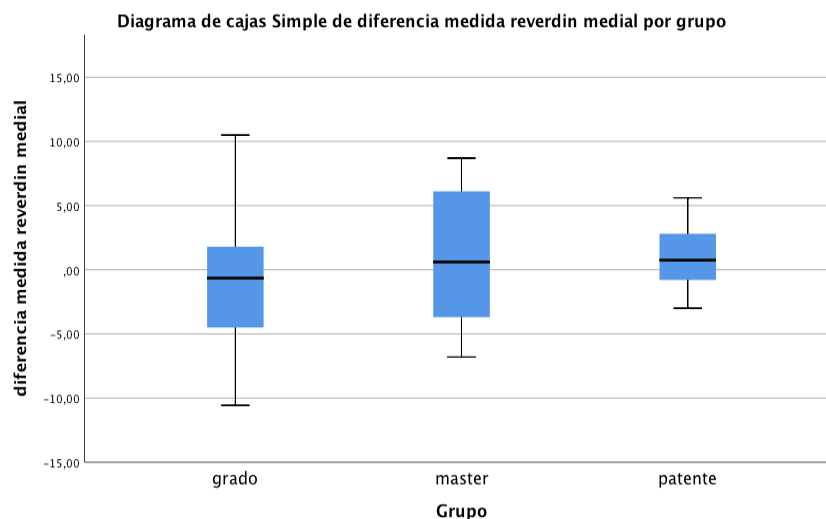


Ilustración 90: Diagrama de cajas simple de diferencia medida Reverdin medial por grupo.

En el diagrama de cajas Simples que indicamos a continuación para la medición del *Reverdin* lateral 4 (Ilustración 91), distinguimos que la mediana del grupo de Patente es simétrica con respecto a la amplitud intercuartil que el de los grupos de grado y master, y su dispersión es menor que en el resto de grupos. Percibimos que la dispersión del valor es mayor en el grupo de Master, alejando su mediana del cuartil tercero y acercándose mucho al cuartil primero.

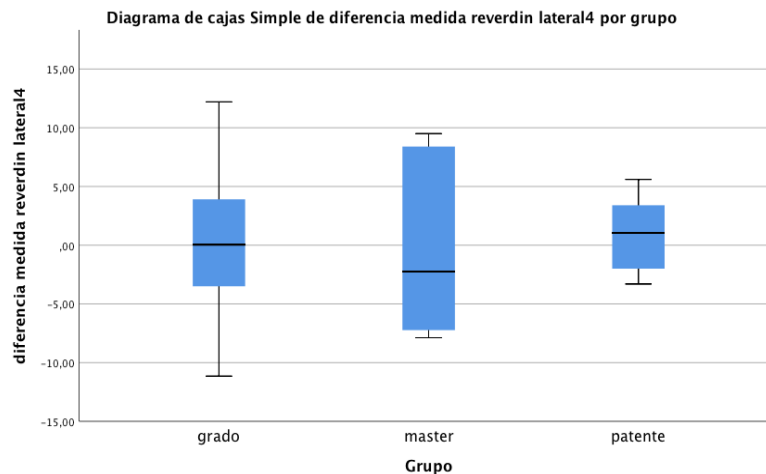


Ilustración 91: Diagrama de cajas simple de diferencia medida Reverdin lateral 4 por grupo.

En el diagrama de cajas Simples que indicamos a continuación para la medida de *Akin* a *Reverdin* (Ilustración 92), distinguimos que la mediana del grupo Patente es cercana al valor ,00 y su dispersión intercuartil es mínima. Percibimos que la dispersión del valor es mayor en el grupo de Master, alejando su mediana del cuartil tercero (Q3) y acercándose mucho al cuartil primero (Q1). Sin embargo, aunque observamos que en el grupo de Grado la dispersión es menor con respecto al grupo de Master, la mediana se encuentra más simétrica, aunque su mediana se encuentre alejada del valor correcto.

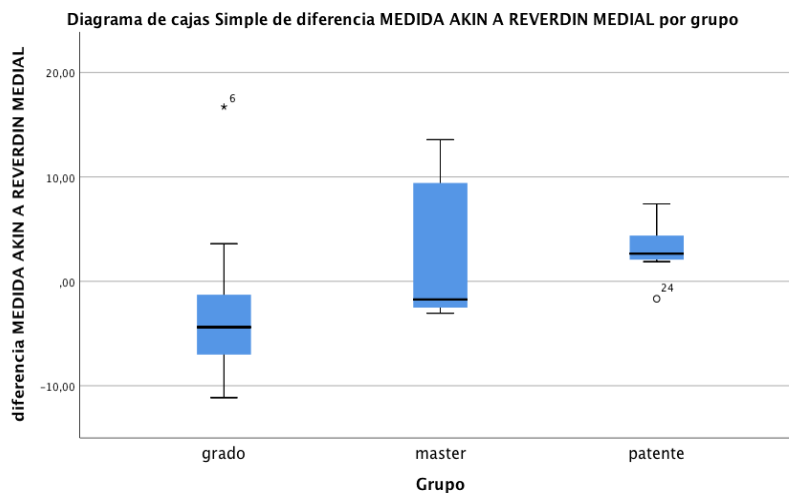


Ilustración 92: Diagrama de cajas simple de diferencia medida de Akin a Reverdin por grupo.

En el diagrama de cajas Simples que indicamos a continuación para la medida entre *Akin* y *Reverdin* lateral (Ilustración 93), distinguimos que la mediana del grupo Patente es el más cercano al valor óptimo y su amplitud intercuartil es mínimo. Percibimos que la dispersión del valor es mayor en el grupo de Master, alejando su mediana del cuartil tercero (Q3) y cerca del cuartil primero (Q1) encontrándose su mediana por debajo del valor ,00. Sin embargo, aunque observamos que en el grupo de Grado la dispersión es menor, la mediana se encuentra alejada del valor correcto.

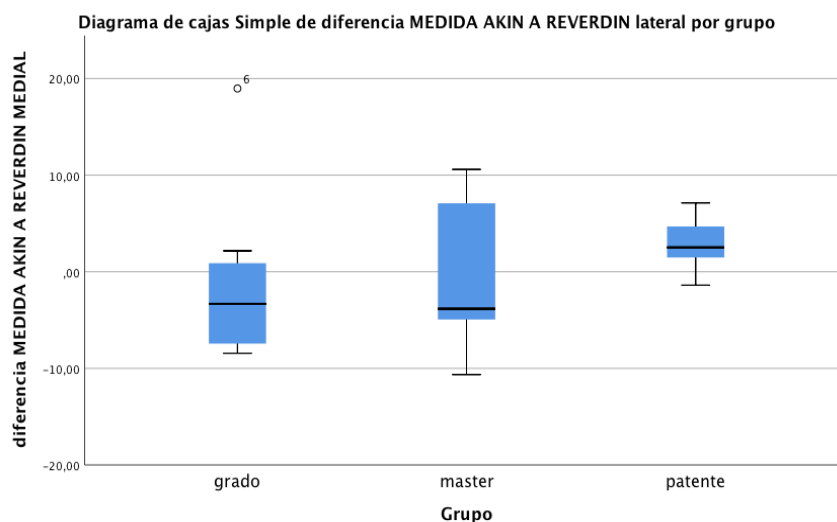


Ilustración 93: Diagrama de cajas simple de diferencia medida entre Akin y Reverdin lateral por grupo.

En el diagrama de cajas Simple para la diferencia del ángulo entre el *Akin* y el *Reverdin* (Ilustración 94), distinguimos que la mediana del grupo Patente es completamente simétrica a la amplitud intercuartil que el de los grupos de grado y master colocándose en el valor correcto, además observamos que la dispersión intercuartil del valor no se representa en el diagrama. Percibimos que la dispersión del valor es ligeramente mayor en el grupo de Grado, alejando su mediana del cuartil primero. Observamos que en el grupo de Master la dispersión es menor con respecto al grupo de Grado, y la mediana se encuentra asimétrica encontrándose muy cercana al Q1, y alejada del Q3.

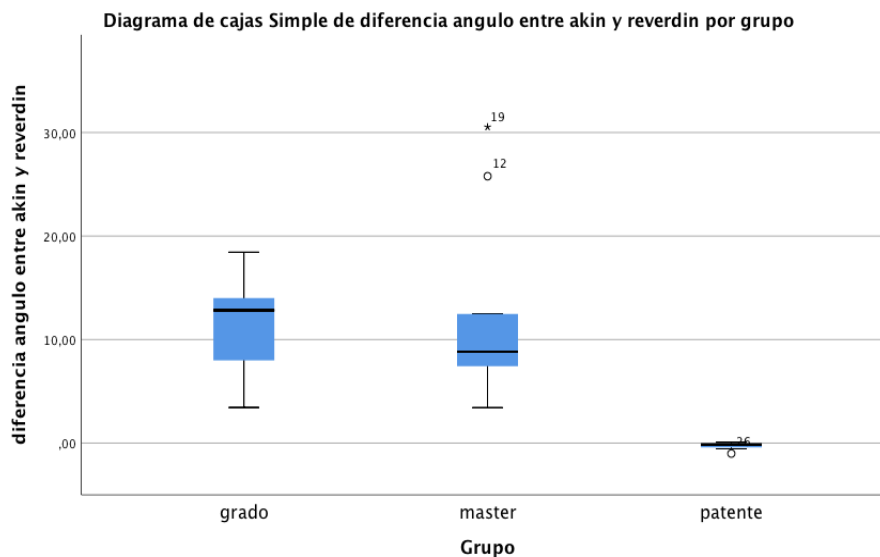


Ilustración 94: Diagrama de cajas simple de diferencia en ángulo entre Akin y Reverdin por grupo.

8. DISCUSIÓN

La validación y fabricación de un guante quirúrgico impreso en 3D para cirugía podológica de mínima incisión del pie exige un estudio completo de los resultados obtenidos en las prácticas quirúrgicas realizadas sobre las piezas anatómicas, y de las complicaciones existentes durante el desarrollo del estudio para su análisis final. En este estudio tratamos de desarrollar y validar un elemento que ayude y facilite al especialista podológico con destreza quirúrgica o no, a la elaboración de las técnicas quirúrgicas de mínima incisión del pie para que las osteotomías practicadas sean las correctas. Las diferentes osteotomías realizadas en el primer radio (*Reverdín*, *Akin* y Osteotomía de Base) fueron diseñadas en el guante quirúrgico, y son técnicas desarrolladas y descritas en la literatura científica actual.

Para este estudio se ha realizado por parte de podólogos con gran experiencia en cirugía podológica, técnicas quirúrgicas de mínima incisión sin guante guía a 1 pie anatómico, además se han practicado sobre 33 pies anatómicos las mismas técnicas por parte de personal podológico con o sin experiencia quirúrgica con guante guía. El hecho de que hayamos elegido este método es para demostrar que el guante quirúrgico ayuda al especialista a realizar las osteotomías en el lugar correcto tenga o no experiencia en el campo quirúrgico del pie.

Desde los años 60 diversos autores llevan estudiando y elaborando instrumental y aparatología específica para la cirugía percutánea como motores concretos y fresas de corte especiales para realizar osteotomías sin dañar tejido blando. La cirugía percutánea para la patología de antepié del *hallux valgus* se convierte en una técnica dificultosa, ya que necesitas alargar el tiempo quirúrgico y existe un riesgo de provocar daños nerviosos y de tejido blando durante el abordaje quirúrgico (81–83). Consideramos que el avance dentro de la cirugía percutánea es de suma importancia y que debe seguir creciendo.

Gracias al gran desarrollo tecnológico de los últimos años como por ejemplo la impresión 3D, hemos podido realizar este estudio y fabricar un guante quirúrgico diseñado específicamente para cada paciente y para cada patología del antepié, que en cada caso es única. Con ello hemos querido restar dificultad quirúrgica y acortar el tiempo de especialización que requieren los cirujanos del pie. Se ha pretendido con este

estudio que el cirujano y personal intraoperatorio tengan menos contacto continuado con la radiación fluoroscópica al que se ven sometidos durante las intervenciones en quirófano.

8.1. Técnica quirúrgica de mínima incisión para la deformidad *hallux valgus*

Las técnicas quirúrgicas percutáneas del pie de las que nos hemos regido para la realización de este estudio, tienen sus comienzos durante los años 80, donde los autores Partel, Robert, Strauss, y White se especializan en intentar solventar la mayoría de las anomalías osteoarticulares del pie mediante técnicas refinadas y de menor daño posible a las partes blandas. El Doctor Isham (14) durante los años 90 se convierte en el creador y diseñador de la técnica que esgrimimos en la actualidad los practicantes de cirugía de mínima incisión para aderezar la deformidad del *hallux valgus* y de la cual se apoya este estudio con las osteotomías *Reverdin*, *Akin* y Base del primer metatarsiano. Ocurre también durante esta década que los doctores Mariano de Prado y Ripoll divulgan dichas técnicas en España. A su vez, los doctores Magnan y Montari publican en Italia los resultados de una técnica quirúrgica similar, organizando cursos prácticos para su difusión (15). El Doctor Mariano de Prado se convierte en el primer cirujano ortopédico español en acreditar esta nueva técnica percutánea e introducirla en nuestro país, coincidiendo con la oposición de otros especialistas españoles del campo quirúrgico del pie (89). No existe un gran número de estudios acerca de técnicas quirúrgicas de mínima incisión en la literatura científica, además en los artículos científicos se pueden contemplar las dificultades que generan este tipo de prácticas quirúrgicas y las contraindicaciones implícitas en las prácticas percutáneas.

8.2. Complicaciones en la técnica quirúrgica de mínima incisión del pie para *hallux valgus*

Las complicaciones intraoperatorias y postoperatorias en este tipo de metodología quirúrgica son múltiples, siendo la más característica la poca visualización de estructuras anatómicas que tiene el especialista a la hora de realizar las técnicas, lo que puede llevarle a complicaciones tales como daños nerviosos, rotura de tejidos blandos, osteotomías mal diseñadas que pueden llevar a una hipercorrección o hipocorrección, etc. Existen estudios en la bibliografía científica que acreditan dichas complicaciones y ponen en tela de juicio la dificultad de la práctica quirúrgica percutánea, en la que solo

los grandes expertos en estas técnicas de mínima incisión tendrán buenos resultados, acotando a un gran número de especialistas en cirugía del pie que puedan realizar las técnicas sin grandes complicaciones. Supone una gran curva de aprendizaje en la que los especialistas tardarán años en poder realizar las técnicas sin dificultades.

Los estudios que atestiguan dichas dificultades son varios en la literatura científica. Un estudio prospectivo multicéntrico publicado en el año 2009 por el Doctor Bauer *et al.* (93) trata con 189 pacientes intervenidos con la técnica percutánea para el *hallux valgus* obteniendo unos resultados similares a otras prácticas quirúrgicas de mínima incisión y prácticas quirúrgicas abiertas con un año de seguimiento. En los resultados del estudio se observa que no existe un aumento de rigidez en el postquirúrgico en comparación a otras técnicas, pero hay que puntualizar que el estudio acepta una complicación de imprecisión a la hora de realizar la osteotomía Reverdin- Isham. Esta imprecisión dificulta acertar el nivel de corrección del DMAA, pudiendo llegar a hipocorregir y/o hipercorregir, además de provocar una incongruencia articular. Es en el año 2010 cuando publican los resultados obtenidos afirmando las conclusiones, y poniendo en sobre aviso que existe una curva larga de aprendizaje y encomendando ceñir su práctica al *hallux valgus* leve y moderado (94).

Esta técnica quirúrgica que abraza las osteotomías *Reverdin* y *Akin*, es la que hemos utilizado en piezas anatómicas para la elaboración de esta tesis doctoral. El estudio aborda la problemática que encuentra el especialista a la hora de realizar la cirugía del *hallux valgus* con técnicas percutáneas, en las que como bien indican diversos autores tales como Bauer *et al.* (93), la curva de aprendizaje es muy larga y los podólogos cirujanos necesitan mucha práctica en cadáver para poder ejecutar una buena cirugía correctiva mediante técnicas percutáneas. Es por ello que para este estudio se ha patentado y puesto en práctica por podólogos con y sin destreza quirúrgica, una guía impresa en 3D para realizar las osteotomías *Reverdin* y *Akin*.

En cuanto a la doble osteotomía percutánea es una habilidad que se encuentra actualmente en perfeccionamiento. Analizando la literatura científica, encontramos un único artículo publicado, el del Dr. Lavigne (16), aunque cabe puntualizar que Isham (14) ya hace objeción de ello en el año 1991. En las revisiones bibliográficas de la literatura científica realizadas por Maffulli *et al.*(108), y Trnka (79) se han recolectado las publicaciones hasta la actualidad creando una lectura juiciosa. Roukis (109) recalca

una escasez de estudios de alta evidencia científica fundamentándose en la categorización que hace el *Journal of Bone and Joint Surgery* del año 2003. Trnka (79) opina que aun siendo frecuentes las conferencias sobre cirugías de mínima incisión en congresos, en la bibliografía científica no hay suficientes. Además, refiere que las contraindicaciones que adoptan este tipo de técnicas son menores en la bibliografía científica de las que se expone el cirujano en la práctica quirúrgica diaria, estando relacionado a que los estudios publicados se realizan en centros expertos con técnicas percutáneas o de mínima incisión. Cabe destacar el estudio realizado y publicado por los doctores Kadakia, Smerek y Myerson (84), en el que comienzan un estudio prospectivo evaluando un procedimiento quirúrgico similar al de Bösch. Luctuosamente, el estudio no llega a su fin debido a los inadmisibles incidentes y numerosas complicaciones, tales como la irreductibilidad de la deformidad, el desplazamiento de la aguja *Kirschner* y la fijación con deslizamiento hacia dorsal de la cabeza del primer metatarsiano.

Tener una gran experiencia en el campo quirúrgico, realizar una correcta valoración radiográfica y una minuciosa exploración clínica, realizar un protocolo quirúrgico adecuado y seguir un buen post-operatorio colaborando mutuamente con el paciente, no nos libra de complicaciones. Según estudios publicados en la bibliografía científica se trata de un procedimiento quirúrgico habitual en nuestros tiempos, el porcentaje de complicaciones está comprendido entre el 10% y el 55% (112). La recidiva, la sobrecorrección, la pseudoartrosis, necrosis, infecciones, lesiones nerviosas, transferencia de cargas, etc. son algunos de los muchos inconvenientes post-quirúrgicos que arrastran las técnicas de mínima incisión. Bien es cierto que, para prevenir futuras complicaciones, un correcto procedimiento y un exhaustivo estudio prequirúrgico juega un importante papel. Los cuestionarios al paciente deben ser esclarecidos y aclarados por parte del especialista. La reparación completa post-quirúrgica puede alongarse en el tiempo y ser muy doloroso, por lo que es de suma importancia que el paciente adquiera unas expectativas realistas. Las tomas radiográficas deben ser valoradas prequirúrgicamente ya que la presencia de una subluxación articular hace que el riesgo de una recidiva de la deformidad aumente (113).

Cabe destacar en este apartado de complicaciones vinculantes a la cirugía mínimamente invasiva y que invita a practicar diferentes prácticas quirúrgicas, precisan de un control fluoroscópico durante todo el tiempo que dura la cirugía ya que el cirujano debe

comprobar en cada momento donde colocar su instrumental para realizar el gesto quirúrgico. Es sumamente necesario un alto conocimiento anatómico y una excelente orientación de gestos quirúrgicos por parte del especialista cirujano, lo que complica la práctica de las técnicas de mínima incisión.

8.3. Nuevas tecnologías y avances quirúrgicos: guías quirúrgicas impresas en 3D

Siendo muchas las complicaciones que los cirujanos expertos en mínima incisión se encuentran a la hora de realizar las intervenciones, la cirugía ortopédica actual tiende a practicarlas cada vez más, ya que también tienen múltiples beneficios que reducen las complicaciones de la cirugía abierta tradicional, y mejoran acortando el proceso de recuperación posquirúrgica. Para obtener un resultado óptimo y satisfactorio mediante esta técnica se necesita instrumental específico básico, motorizado y de control radiológico, así como una técnica quirúrgica refinada, y un personal calificado y experimentado como hemos explicado anteriormente (114).

La innovación tecnológica se vuelve esencial para progresar dentro del campo quirúrgico del pie, y los instrumentos quirúrgicos deben mejorarse para obtener mejores resultados para ser más confiables, reproducibles y seguros (115). El diagnóstico por imagen es concluyente a la hora de realizar cualquier tratamiento quirúrgico.

En el año 2008, el Doctor Velasco (117) publica un estudio sobre cirugía guiada por ordenador. El diagnóstico mediante imagen radiográfica permite valorar las estructuras anatómicas y se obtienen datos diagnósticos por imagen que mejora notoriamente la proyección del tratamiento con una vista tridimensional que legitima una correcta inserción controlada de los implantes gracias a la cirugía guiada. Los datos que ofrece la tomografía computarizada (TC) no pueden ser manipulados dinámicamente por el especialista, pero hay que recalcar que las técnicas tridimensionales emergentes mediante tomas de imagen asistidas informáticamente han revolucionado este campo ya que consiente al especialista estudiar un modelo anatómico virtual, con localizaciones alternativas de los gestos quirúrgicos y de este modo poder constituir un protocolo quirúrgico más propicio e individualizado al paciente (118–120). Se puede constatar entonces que, una vez estudiado de forma completa e individual al paciente y se haya elegido el tratamiento óptimo, se podría realizar un guante quirúrgico expresamente diseñado y elaborado al paciente. De este modo, los otros sistemas acuerdan en

configurar un guante guiado y rígido para ser colocado en el lugar anatómico correspondiente (121).

Las técnicas quirúrgicas de mínima incisión aplicadas al pie, han evolucionado notablemente en el mundo quirúrgico desde que las originarias publicaciones por parte del Dr. Isham (122) ofreciesen la gran evolución en cuanto a procedimientos quirúrgicos para las patologías podológicas tales como el *hallux valgus*. Las técnicas mínimamente invasivas gozan de gran reconocimiento científico gracias a su efectividad, comparable a los procedimientos quirúrgicos abiertos tradicionales. Las técnicas de mínima incisión pueden aplicarse sin inconvenientes a pacientes con compromiso médico y a los que se recuperan adecuadamente a las técnicas abiertas clásicas (123).

Somos conscientes de la relevancia científica que tienen los avances en la cirugía y la importancia de tener notables resultados. En el año 2002 (124,125), surge una nueva modalidad de cirugía mínimamente guiada asistida por ordenador en el campo odontológico. En esta novedosa cirugía guiada asistida por ordenador, la posición e inclinación de los gestos quirúrgicos vienen de los datos obtenidos en la tomografía computarizada y de la planificación con el software informático. La planificación rehabilitadora en el campo quirúrgico se realizará entonces con la guía quirúrgica fabricada con un proceso de protocolo rápido.

En la actualidad es fácilmente asequible la obtención de una reconstrucción tridimensional de cualquier estructura gracias a las imágenes DICOM obtenidas del TAC o Resonancia Magnética, y reconstruirlas con un software específico, el cual nos ofrece una imagen en la que podremos manipular sin problemas desde el ordenador. Actualmente existe tecnología afín en otras áreas sanitarias como en la odontología (6). Los implantes dentales están planificados y guiados por ordenador antes de colocarlos, evitando de este modo no perjudicar estructuras específicas adyacentes al acto quirúrgico. En épocas anteriores las planificaciones pre-quirúrgicas se realizaban con simples radiografías y con su goniometría oportuna para cuantificar el área y longitud de la osteotomía. La proyección tridimensional que nos ofrecen los *software* tales como *Maya*, *3D Max Studio* o *Mimics* (software de segmentación medica en 3D) (127), nos ofrece poder realizar una planificación virtual para enviar la guía quirúrgica a fabricación a través de un prototipado rápido (7).

El guante quirúrgico se convierte en un elemento matemático que brinda una gran ayuda al cirujano para realizar la cirugía mínimamente invasiva del pie. Queda demostrado en un estudio que realiza Hetherington *et al.* (128) con otras guías quirúrgicas. Encontramos también en la literatura científica otros estudios como el de Otani, Teter *et al.* (129–131) que en la década de los 90 obtuvieron resultados demostrables donde las líneas de corte en la artroplastia de rodilla son exactas.

Aunque constan varios artículos bibliográficos que estudian el guiado quirúrgico, no son suficientes y no existe una extensa información en la literatura científica sobre el uso de guías quirúrgicas, y mucha menos información sobre osteotomías realizadas en el pie con guías quirúrgicas. El guante quirúrgico debe ser considerado indispensable para las cirugías percutáneas del pie y para resolver las deformidades osteoarticulares tales como el *hallux valgus*, con el principal objetivo de restaurar la fisionomía funcional del pie en la máxima brevedad de tiempo posible y evitando errores debidos a una mala praxis en las osteotomías. Finalizando este apartado, se puede concluir que debido al requisito de poseer plena habilidad y tener un alto conocimiento de las técnicas y de la anatomía podológica, se pretende necesariamente el uso de una guía quirúrgica para ayudar a los especialistas, además de concederles seguridad tanto en la ubicación y orientación de las osteotomías. Además, hay que recalcar que gracias al uso del guante quirúrgico reduciríamos al mínimo los controles fluoroscópicos intraoperatorios (5).

8.4. Guante quirúrgico impreso en 3D

La obtención de una imagen radiológica mediante un TAC del pie patológico con *hallux valgus* se convierte en el primer paso a seguir para la creación del guante. La imagen que nos proporciona el TAC es trasladada al ordenador transformándolo en un archivo DICOM y cargándolo en la aplicación *Osirix*. Una vez incluida la imagen en la aplicación lo exportamos a un archivo *.stl para poder utilizarla en el programa *Autodesk Maya* versión 14, el cual nos dará una imagen tridimensional del pie.

Una vez obtenida la imagen en 3D, se procede a diseñar la técnica quirúrgica a realizar, que en este caso y sobre todos los pies anatómicos utilizados en el estudio son:

- Osteotomía de *Reverdin*
- Osteotomía de *Akin*

- Osteotomía de Base del primer metatarsiano

Cuando tenemos la cirugía diseñada sobre la imagen virtual procedemos a crear el prototipado del guante quirúrgico con las guías necesarias. Las guías quirúrgicas se diseñan única y exclusivamente para las osteotomías que se proyectan sobre el pie a tratar. El guante impreso en 3D es un guante de resina poliamida¹² que soporta las altas temperaturas de la autoclave sin problema, de estructura rígida y que consta de dos partes, la dorsal y la plantar, que ancladas mantendrán la posición del pie con la que se obtuvo la imagen diagnóstica. Para poder realizar las incisiones se deberá tener un control completo sobre los ejes X, Y, Z, y así poder controlar tanto la longitud como la dirección de las osteotomías. A continuación, detallaremos y compararemos los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

9. CONCLUSIONES OBTENIDAS

- I. Se ha diseñado y validado el primer guante quirúrgico impreso en 3D para cirugía mínimamente invasiva del antepié.
- II. Se han comparado todos los resultados radiográficos prequirúrgicos y postquirúrgicos de las osteotomías realizadas con la guía quirúrgica completa en esqueléticos y pies anatómicos, y con la guía quirúrgica estándar en pies anatómicos, obteniendo resultados donde se observan que todas las mediciones son menores a 3mm.
- III. Se comprueba que el podólogo sin destreza quirúrgica puede realizar las osteotomías del antepié sin fallo intraoperatorio y en la localización anatómica exacta, al igual que el podólogo con destreza quirúrgica.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Edward, J Dawe, C Davis J. (vi) Anatomy and biomechanics of the foot and ankle. Ed Elsevier Foot Ankle. 2011.
2. Hardy RH, Clapham J. Observations on Hallux Valgus based on a control series. J Bone Jt Surg. 1951;33(B):376–91.
3. Albornoz J, Machuca M. Cirugía percutánea de Hallux Valgus: experiencia en 56 casos en la Policlínica Méndez Gimón. Rev Venez Cir Ortop Traumatol. 45(1).
4. Nieto García E. Cirugía mínimamente invasiva del pie. Editorial. Barcelona; 2017. 297 p.
5. de Prado M. Complications in minimally invasive foot surgery. Fuß Sprunggelenk. (11):83–94.
6. Petterson A, Kero T, Gillot L, Cannas B, Fäldt J, Söderberg R. Accuracy of CAD/CAM-guided surgical template implant surgery on human cadavers: Part I. Elsevier. 2010;103(6).
7. Deshmukh T, Kuthe A, Vaibhav B. Preplanning and simulation of surgery using rapid modelling. J Med Eng Technol Inf UK. 2010;34(4):291–4.
8. Plantón Rico J. Revisión sistemática de pautas analgésicas para el postoperatorio en cirugías de pie y tobillo. Rev Española Podol.
9. Craig Young C, Niedfeldt M, Morris G, Kevin J. Clinical Examination of the Foot and Ankle. Elsevier Saunders. 2005.
10. Sarrafian SK. Anatomy of the foot and ankle. [Internet]. Second Edi. Anatomy of the foot and ankle. Elsevier Inc.; 2011. 238-249 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-56053-708-3.50077-5>
11. Maestro M, Ferre B. Anatomie Functionelle du pied et de la cheville de l'adulte. Elsevier Masson. 13(234):10.
12. Polo M, Ferrero O, Fiks M, Zelman S. La osteotomía de Weil en el tratamiento

- de los trastornos del antepié. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol.* 2003;2:93–100.
13. de Prado M. Cirugía percutánea del pie: técnicas quirúrgicas, indicaciones, bases anatómicas. Elsevier. 2003.
 14. Isham S. The reverdin-isham procedure for the correction of hallux abducto valgus. A distal metatarsal osteotomy procedure. *Clin Pod Med Surg.* 1991;8(1):81–94.
 15. Magnan B, Pezzè L, Rossi N, Bartolozzi P. Percutaneous distal metatarsal osteotomy for correction of hallux valgus. *Bone Jt Surg Am.* 2005;86(6):1191–9.
 16. de Lavigne C, Rasmont Q, Hoang B. Percutaneous double metatarsal osteotomy for correction of severe hallux valgus deformity. *Acta Orthop Belg.* 2011;77(4):516–21.
 17. Chaparro G, Amaya J, Rubiés G. Osteotomía doble de primer metatarsiano, mini-invasiva, para el tratamiento del hallux valgus. *ABTPé.* 2010;4(2):67–75.
 18. 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.
 19. Teixeira R. Biomecánica del Primer Radio. Deformidad en flexión plantar. Caso clínico. *Rev Int Ciencias Podol.* 2008;3(1):53–6.
 20. Michael Shereff J, Fadi Bejjani J, Frederick Kummer J. Kinematics of the First Metatarsophalangeal Joint. *J bone Jt Surg.* 1985;68–A(3).
 21. Maestro M, Besse J, Leemrijse T. Biomecánica del gran artejo o hallux. Elsevier Masson. 2008;1–8.
 22. Cornwall M, Fishco W, McPoil T, Rae Lane C, O'Donnell D, Hunt L. Reliability and Validity of Clinically Assessing First-Ray Mobility of the Foot. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2004;94(5):470–6.
 23. Kravitz S, Laporta G, Lawton L. Progressive staging classification of hallux limitus and hallux rigidus. *Low Extrem.* 1994;1:56–66.

24. Perez H, Reber L, Christensen J. The Effect of Frontal Plane Position on First Ray Motion: Forefoot Locking Mechanism. *Foot Ankle Int.* 2008;29(1):71–6.
25. Glasoe W, Yach H, Saltzman C. Anatomy and Biomechanics of the First Ray. *Physical Therapy.* Vol. 79. 1999. 854-859 p.
26. Root M, Orien W, Weed J, Hughest R. Exploración Biomecánica del Pie. Ed Ortocen. 1991;1.
27. Prats B, Verges C. Deformidades del primer radio en el plano sagital. *El Peu.* 1998;72:418–20.
28. Kristen K, Berger K, Berger C, Kampla W, Anzböck W, Weitzel S. The First Metatarsal Bone Under Loading Conditions: A Finite Element Analysis. *Foot Ankle Clin.* 2005;10:1–14.
29. Hutton W, Dhanendran M. The Mechanics of normal and Hallux Valgus Feet a Quantitative Study. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;157:7–12.
30. Largey A, Ely B, Bonnel F. Les os sésamoïdes de l'hallux: du mythe a la fonction. *Med Chir Pied.* 2008;24:28–38.
31. Bähler A. The biomechanics of the foot. *Clin Prosthetics Orthot.* 10(1):8–14.
32. Huson A. Functional anatomy of the foot In: Jhass MH, editor. Disorders of foot and ankle. WB Saunders. 1991;409–31.
33. Nawoczenski D, Baumhauer J, Umberger B. Relationship between clinical measurements and motion of the first metatarsophalangeal joint during gait. *J Bone Jt Surg.* 1999;81–A(3).
34. Bojsen Moller F. Anatomy of the Forefoot, Normal and Pathologic. *Clin Orthop.* 1978.
35. Mehlman C, Araghi A, Roy DR. Hyphenated history : the Hueter-Volkmann law. *Am J Orthop.* 1997;26(11):798–800.
36. Dayton P, Feilmeier M, Kauwe M, Hirschi J. Relationship of Frontal Plane Rotation of First Metatarsal to Proximal Articular Set Angle and Hallux

- Alignment in Patients Undergoing Tarsometatarsal Arthrodesis for Hallux Abducto Valgus: A Case Series and Critical Review of the Literature. *J Foot Ankle Surg.* 2013;52(3):348–54.
37. Coughlin M. *Mann's Surgery of the Foot and Ankle.* 9th Ed Elsevier Saunder. 2014.
 38. Gamba C, Guerrero S, Castro G, Kalb Heckel J, Hernández Perdomo E, Reyes C, et al. *Actualización en Patología de Pie y Tobillo.* Scctot. 2011.
 39. Tejera Valdés A, Quiñonez Rodríguez M, Delgado Martínez E, Arias López Y. Factores de riesgo asociados al hallux valgus. *Medeciego.* 2011;17(2).
 40. Valero J, Munuera P, Palomo I. *El I Radio.* Biomecánica y Ortopodología. 2009;155–86.
 41. Castillo López J, Palomo Toucedo I, Munuera Martínez P, Domínguez Maldonado G, Algaba Guisado C, Pérez Rendón J. El Hallux Abductus Valgus en la bailaora de flamenco. *Rev del Cent Investig Flamenco Telethusa.* 2011;4(4):19–24.
 42. Tejera Valdés A, Quiñonez Rodríguez M, Delgado Martínez E, Arias López Y, Supervieda González E. Algunas consideraciones sobre el hallux valgus. *Medeciego.* 2011;17(2).
 43. Santamaría-Fumas A, Muriano-Royo J, Ruiz-Nasarre A, Adamuz-Medina V, Vega-Ocaña V, Bial-Vellvè X, et al. Resultados de la técnica de Regnauld para el tratamiento del hallux valgus y el hallux rigidus en 147 casos a los 3 años. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2009;53(6):371–80.
 44. Tejera Valdés A, Hernández Rodríguez A, Quiñonez Rodríguez M, García Martín D, Lemus Rodríguez C, Mañana Castellano J. Correlación entre el estadio diagnóstico del hallux valgus y la evolución de los pacientes intervenidos quirúrgicamente. *Medeciego.* 2015;21(4).
 45. Mann R, Coughlin M. *Surgery of the Foot and Ankle.* Mosby. 2007.

46. King D, Toolan B. Transfer metatarsalgia post hallux valgus surgery: Foot Ankle Clin. 2014.
47. Maceira E, Monteagudo M. Transfer metatarsalgia post hallux valgus surgery. Foot Ankle Clin. 2014.
48. Fleites Lafont LM, Marrero Riverón LO, Lara Valdivia JE, Fortún Planes P, Martínez González M, Jiménez Hernández M, et al. Tratamiento quirúrgico del hallux valgus por la técnica de Lelièvre modificada: Surgical treatment. Rev Cuba Ortop y Traumatol. 2009;23(1):0–0.
49. Kilmartin TE, Wallace WA. The Significance of Pes Planus in Juvenile Hallux Valgus. Foot Ankle Int. 1992;13(2):53–6.
50. Viladot Voegeli A. 20 lecciones sobre patología del pie. 2009.
51. Brage M, Holmes J, Sangeorzan B. The influence of x-ray orientation on the first metatarsocuneiform joint angle. Foot Ankle int. 1994.
52. Hardy R, Clapham J. Observations on hallux valgus; based on a controlled series. J Bone Jt Surg Br. 1951;33–B(3):376–91.
53. Mancuso J, Abramow S, Landsman M, Waldman M, Carioscia M. The zero-plus first metatarsal and its relationship to bunion deformity. Foot Ankle Surg. 2003.
54. Sorto L, Balding M, Weil L, Smith S. Hallux abductus interphalangeus. Etiology, x-ray evaluation and treatment. Am Pod Med Assoc. 1992;82(2):85–97.
55. DiGiovanni C, Kuo R, Tejwani N. Isolated gastrocnemius tightness. Bone Jt Surg Am. 2002;84–A(6):962–1374.
56. Barouk L, Barouk P, Toullec E. Brièveté des muscles gastrocnémiens et pathologie de l'avant-pied La libération proximale chirurgicale. Med Chir Pied. 2005;21:143–52.
57. Vandeputte G, Steenwerckx A, Mulier T, Peeraer L, Dereymaeker G. Forefoot reconstruction in rheumatoid arthritis patients: Keller- Lelievre-Hoffmann versus arthrodesis MTP1-Hoffmann. Foot Ankle Int. 1999;20(7):438–43.

58. Lozano Azulas A. Tratamiento quirúrgico del hallux valgus. Rev Esp Cir Ortop Traumatol. 2004;48(2):87–91.
59. Asunción Márquez J, Poggio Cano D, Melo Grollmus R. Osteotomía distal oblicua modificada en el tratamiento del hallux rigidus. Rev del Pie y Tobillo. 2013;27(1):26–31.
60. Becerro R, Vallejo DB. Podología QEN. Comisión de Formación.
61. Wagner Hitschfeld E, Wagner Hitschfeld P. Hallux valgus en el adulto: conceptos actuales y revisión del tema. Rev Chil Ortop y Traumatol. 2016;57(3):89–94.
62. Alcalde J, Ruiz P, Acosta F, Landa JJ, Jaurrieta E. Proyecto para la elaboración de un protocolo de evaluación preoperatoria en cirugía programada. Cir Esp. 2001;69(6):584–90.
63. Alcalde-Escribano J, Ruiz-López P, Acosta F, Landa I, Lorenzo S, Villeta-Plaza R, et al. Estudio Delphi para el desarrollo de pautas de indicación de pruebas preoperatorias. Consenso de anestesiólogos y cirujanos. Rev Calid Asist. 2002;17(1):34–42.
64. Kappel-Bargas A, Woolf R, Cornwall M, McPoll T. The windlass mechanism during normal walking and passive first metatarsalphalangeal joint extension. Clin Biomech. 1998;13(3):190–4.
65. Wright D, Rennels D. A study of the Elastic Properties of Plantar Fascia. J bone Jt Surg. 1964;45–A(3).
66. Klau K, Sigvard Hansen T, Alain Masquelet C. Clinical, Quantitative Assessment of First Tarsometatarsal Mobility in the Sagittal Plane and Its Relation to Hallux Valgus Deformity. Foot Ankle int. 1994;15(9).
67. Collado Vázquez S. La marcha: historia de los procedimientos de análisis. Rev la Fac Ciencias la Salud. 2004;2.

68. Cámara J. Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales. Unilibre Cali. 2011.
69. Villa Moreno A, Gutiérrez Gutiérrez E, Pérez Moreno J. Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametrías, electromiografía y dinamometría. Ing Biomédica. 2008;2(3).
70. Montoya Terrón H. Evaluación radiométrica del pie. Medigraphic Artemisa. 2006;2(4).
71. Lee KM, Ahn S, Chung CY, Sung KH, Park MS. Reliability and relationship of radiographic measurements in hallux valgus foot and ankle. Clin Orthop Relat Res. 2012;470(9):2613–21.
72. Burns PR, Mecham B. Biodynamics of hallux abductovalgus etiology and preoperative evaluation. Clin Podiatr Med Surg. 2014;31(2):197–212.
73. Santonja Medina F. Medicina menor y procedimientos en medicina de familia. In Blanco. 2006. 1105-1115 p.
74. Laffenêtre O, Fourteau C, Darcel V, Chauveaux D. Hallux Valgus: definición, fisiopatología, exploración física y radiográfica, principios del tratamiento. EMC. 2012;27–E(65).
75. Muñoz Mahamud E, Méndez A, Poggio Cano D, Márquez J. Estudio clínico y radiológico de Hallux Valgus Interflángico. Rev del pie y tobillo. 2012;26(2).
76. Myerson M. The diagnosis and treatment of injury to the tarsometatarsal joint complex. J Bone Jt Surg Br. 1999.
77. Viladot A. Surgical treatment of the child's flatfoot. Clin Orthop Relat Res. 1992;(283):34–8.
78. Giannini S, Girolami M, Ceccarelli F. The surgical treatment of infantile flat foot. A new expanding endo-orthotic implant. Ital J Orthop Traumatol. 1985;11(3):315–22.

79. Trnka HJ, Krenn S, Schuh R. Minimally invasive hallux valgus surgery: A critical review of the evidence. *Int Orthop*. 2013;37(9):1731–5.
80. Magnan B, Bondi M, Mezzari S, Bonetti I, Samaila E. Minimally Invasive Surgery of the Forefoot: Current Concept Review. *Int J Clin Med*. 2013;4(6–A):11–9.
81. Lui TH. First Metatarsophalangeal Joint Arthroscopy in Patients With Hallux Valgus. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg*. 2008;24(10):1122–9.
82. Lui TH, Chan KB, Chow HT, Ma CM, Chan PK, Ngai WK. Arthroscopy-Assisted Correction of Hallux Valgus Deformity. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg*. 2008;24(8):875–80.
83. Lui TH, Chan KB, Chan LK. Endoscopic distal soft-tissue release in the treatment of hallux valgus: A cadaveric study. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg*. 2010;26(8):1111–6.
84. 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.
85. Myerson M. *Reconstructive foot and ankle surgery: management of complications*. Elsevier Saunders. 2011.
86. Gicquel T, Fraisse B, Marleix S, Chapuis M, Violas P. Percutaneous hallux valgus surgery in children: Short-term outcomes of 33 cases. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99(4):433–9.
87. Cano-Martínez JA, Picazo-Marín F, Bento-Gerard J, Nicolás-Serrano G. Tratamiento del Hallux valgus moderado con sistema mini TightRope® técnica modificada. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2011;55(5):358–68.
88. Laffenêtre O, Cermolacce C, Coillard J. Traitement chirurgical de l'Hallux valgus par Technique percutanée. *Soc Fr Orthop Traumatol*. 2005.
89. de Prado M, Ripoll PL, Vaquero J, Golanó P. Tratamiento quirúrgico percutáneo del hallux valgus mediante osteotomías múltiples. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*.

2003;47(6):406–16.

90. Isham S, Núñez Orlando E. Hallux valgus moderado. Técnica de Reverdin-Isham. In: Cirugía mínimamente invasiva del pie. 2017. p. 157–65.
91. Villas Tomé C. Cirugía percutánea del pie. Técnicas quirúrgicas. Indicaciones. Bases anatómicas. Rev Esp Cir Ortop Traumatol. 2004;48(1):65–6.
92. 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.
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. 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.
95. Bauer T. Percutaneous forefoot surgery. Orthop Traumatol Surg Res. 2014;100(1):191–204.
96. Brogan K, Voller T, Gee C, Borbely T, Palmer S. hird-generation minimally invasive correction of hallux valgus: technique and early outcomes. Int Orthop. 2014;19(2):2115–21.
97. Vernois J, Redfern D. Die perkutane Chevronosteotomie: Die Kombination von klassischer stabiler Fixation und perkutaner Osteotomietechnik. Fuß Sprunggelenk. 2013;11(2):70–5.
98. Redfern D, Perera A. Minimally invasive osteotomies. Foot Ankle Clin. 2014;19(2):181–9.
99. Kramer J. Die Kramer-Osteotomie zur Behandlung des Hallux valgus und des Digitus quintus varus. Oper Orthop Traumatol. 1990;2(1):29–38.

100. Merino Pérez J, Ibor Ureña I, Rodríguez Palomo J, Fernández Rioja L, Martín Larrañaga N, Vicinay Olabarria J. Resultados a largo plazo de la osteotomía percutánea del metatarso distal (técnica de Bösch modificada) para la corrección del hallux valgus. *Rev esp cir ortop traumatol.* 2010;54(3):174–8.
101. Iannò B, Familiari F, De Gori M, Galasso O, Ranuccio F, Gasparini G. Midterm results and complications after minimally invasive distal metatarsal osteotomy for treatment of hallux valgus. *Foot ankle Int.* 2013;34(7):969–77.
102. Portaluri M. Hallux valgus correction by the method of Bösch: a clinical evaluation. *Foot Ankle Clin.* 2000;5(3):499–511.
103. Radwan Y, Mansour A. 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.
104. Roth A, Kohlmaier W, Tschauer C. Surgery of hallux valgus. Distal metatarsal osteotomy subcutaneous “Bösch” versus open “Kramer” procedures. *Foot Ankle Surg.* 1996;2(2):109–17.
105. Giannini S, Ceccarelli F, Bevoni R, Vannini F. Hallux Valgus Surgery: The Minimally Invasive Bunion Correction (SERI). *Tech Foot Ankle Surg.* 2003;2(1):11–20.
106. Scala A, Vendettuoli D. Modified Minimal Incision Subcapital Osteotomy for Hallux Valgus Correction. *Foot Ankle Spec.* 2013;6(1):65–72.
107. Maffulli N, Longo U, Oliva F, Denaro V, Coppola C. Bosch osteotomy and scarf osteotomy for hallux valgus correction. *Orthop Clin North Am.* 2009;40(4):515–24.
108. Maffulli N, Longo U, Marinozzi A, Denaro V. Hallux valgus: effectiveness and safety of minimally invasive surgery. A systematic review. *Br Med Bull.* 2011;97:149–67.
109. Wright J, Swiontkowski M, Heckman J. Introducing levels of evidence to the journal. *J Bone Jt Surg Am.* 2003;85A(1):1–3.

110. Sanchis Amat R. Tratamiento quirúrgico del hallux valgus severo mediante cirugía percutánea. Estudio estadístico de los resultados clínicos, radiológicos y funcionales del tratamiento mediante la colocación de un implante intermetatarsiano. Trab Investig Univ Barcelona Dir Enric Cáceres Palou. 2011.
111. Holmes G, Hsu A. Correction of intermetatarsal angle in hallux valgus using small suture button device. Foot Ankle int. 2013;34(4):543–9.
112. Caminear D, Addis-Thomas E, Brynizcka A, Saxena A. Revision Hallux Valgus Surgery. Foot Ankle Surg. 2013;17–35.
113. Richardson E, Donley B. Trastornos del dedo gordo del pie. Campbell Cirugía Ortopédica. 2003. 3915-4015 p.
114. de Prado M. Minimally invasive foot surgery: to paradigm shift. Minimally invasive surgery of the foot and ankle. Springer. 2011;3–11.
115. Louwerens JW, Valderrabano V, Winson I. Minimal invasive surgery (MIS) in foot and ankle surgery. Foot Ankle Surg. 2011;17(2):51.
116. Jacobs R. Preoperative radiologic planning of implant surgery in compromised patients. Periodontol 2000. 2003;33:12–25.
117. Velasco Ortega E, García Méndez A, Segura Egea J, Medel R, España A. La cirugía guiada y carga inmediata en implantología oral. Consideraciones diagnósticas y quirúrgicas. Rev Esp Odontoestomatológica Implant. 2008;16(4):211–8.
118. Brief J, Edinger D, Hassfeld S, Eggers G. Accuracy of image-guided implantology. Clin Oral Implants Res. 2005;16(4):495–501.
119. Sießegger M, Schneider BT, Mischkowski RA, Lazar F, Krug B, Klesper B, et al. Use of an image-guided navigation system in dental implant surgery in anatomically complex operation sites. J Cranio-Maxillofacial Surg. 2001;29(5):276–81.

120. Widmann G, Widmann R, Widmann E, Jaschke W, Bale R. Use of a surgical navigation system for CT-guided template production. *Int J Oral Maxillofac Implant.* 2007;22:72–8.
121. Lal K, White G, Morea D, Wright R. Use of stereo lithographic templates for surgical and prosthodontic implant planning and placement. *Prosthodont.* 2006;15:51–8.
122. Isham S. The Reverdin-Isham procedure for the correction of hallux abducto valgus. A distal metatarsal osteotomy procedure. *Clin Pod Med Surg.* 1991;8(1):81–94.
123. Roukis T. Percutaneous and minimum incision metatarsal osteotomies. A systematic review. *Foot Ankle Surg.* 48(3):380–7.
124. Van Steenberghe D, Naert I, Andersson M, Brajnovic I, Van Cleynenbreugel J, Suetens P. custom template and definite prosthesis allowing immediate implant loading in the maxilla: A clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implant.* 2002;17:663–7.
125. Jung R, Schneider D, Ganeles J, Wismeijer D, Zwahlen M, Hammerle C, et al. Computer technology applications in surgical Implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implant.* 2009;24:92–109.
126. Pinzur MS. High Tech Solutions. *Foot Ankle Int.* 2018;107110071879761.
127. Zeng Y, Zhang G, Lei T, Wu X, Tan Y. Clinical application of mimics software in three dimensional CT images for treatment of zygomatic complex fracture. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2012;30(2):123–7.
128. Hetherington V, Kawalec-Carroll J, Melillo-Kroleski J, Jones T, Melillo M, McFarland N. Evaluation of surgical experience and the use of an osteotomy guide on the apical angle of an Austin osteotomy. *Foot.* 2016;18(3):159–64.
129. Otani T, Whiteside L, White S. Cutting errors in preparation of femoral components in total knee arthroplasty. *J Arthroplast.* 1993;8(5):503–10.

130. Teter K, Bregman D, Colwell C. Accuracy of intramedullary versus extramedullary tibial alignment cutting systems in total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res. 1995;106–10.
131. Teter K, Bregman D, Colwell C. The efficacy of intramedullary femoral alignment in total knee replacement. Clin Orthop Relat Res. 1995;117–21.
132. Weil L. Scarf osteotomy for correction of hallux valgus. Historical perspective, surgical technique, and results. Clin Pod Med Surg. 2000;5(3):559–80.
133. Monteagudo de la Rosa M. Cartas al director. Rev Ortop Traumatol. 2004;48:315–6.

