



TESIS DOCTORAL

Estudio epidemiológico de las lesiones del pie asociadas a la práctica de la escalada deportiva.

PAULA COBOS MORENO

PROGRAMA DE DOCTORADO:

INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA APLICADA (R009)

Conformidad del director:

Conformidad del co-director:

Beatriz Gómez Martín

Álvaro Astasio Picado

Esta tesis cuenta con la autorización del directo/a y codirector/a de la misma y de la Comisión Académica del programa. Dichas autorizaciones constan en el Servicio de la Escuela Internacional de Doctorando de la Universidad de Extremadura

2022

Dra. BEATRIZ MARTIN GÓMEZ, profesora contratada Doctor del Grado de Podología adscrito al Departamento de Enfermería de la Universidad de Extremadura y Dr. ÁLVARO ASTASIO PICADO, profesor asociado Doctor del Grado de Enfermería, adscrito al departamento de Enfermería, Fisioterapia y Terapia Ocupacional de la Universidad de Castilla-La Mancha.

CERTIFICA:

Que la presente Tesis Doctoral, titulada “Estudio epidemiológico de las lesiones del pie asociadas a la práctica de la escalada deportiva” de la que es autora Paula Cobos Moreno, ha sido realizada bajo su dirección.

Como directores de dicho trabajo hacemos constar que este ha sido realizado con toda garantía técnica y metodológica, y que las conclusiones obtenidas son plenamente válidas, considerando además que reúne las condiciones necesarias para ser presentado como Tesis Doctoral.

Para que así conste y surta los efectos oportunos, expide el presente certificado en Plasencia a de. De 2022

La conformidad del director y co-director se encuentra firmado en el modelo 1, los documentación adjuntos en la tesis doctoral

Fdo. Dra. Beatriz Gómez Martín

Fdo. D. Álvaro Astasio Picado

TESIS DOCTORAL

**Estudio epidemiológico de las lesiones del pie
asociadas a la práctica de la escalada deportiva.**



Paula Cobos Moreno

2022

TESIS DOCTORAL COMO COMPENDIO DE PUBLICACIONES

El presente trabajo de tesis doctoral se presenta como compendio de publicaciones, de acuerdo al artículo 32.6 de la Resolución de 14 de diciembre de 2021, del Rector, por la que se ejecuta el acuerdo adoptado por el Consejo de Gobierno por el que se aprueba la Normativa de Doctorado de la Universidad de Extremadura, (DOE del 28 de diciembre). Dichas publicaciones recogen todos los resultados que han sido obtenidos en los diferentes trabajos de investigación desarrollados con el fin de alcanzar el objetivo fijado para la realización de la tesis.

A continuación, se detallan los artículos integrados en la tesis:

- **Paula Cobos-Moreno**, Álvaro Astasio-Picado, Alfonso Martínez- Nova, Raquel Sánchez- Rodríguez, Elena Escamilla-Martínez, Beatriz Gómez-Martín. The Podoprint® plantar pressure platform: Evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameters. *Journal of Tissue Viability*, 2022 , ,ISSN 0965-206X, <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2022.07.005>.
- **Cobos-Moreno P**, Astasio-Picado Á, Gómez-Martín B. Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(7):4302. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074302>
- **Cobos-Moreno, P.**; Astasio-Picado, Á.; Gómez-Martín, B. Pathophysiological Behaviour of the Climber's Foot versus the General Population: A Prospective Observational Study. *Healthcare*. 2022; **10(5)**: 868. <https://doi.org/10.3390/healthcare10050868>.

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la
electricidad y la energía atómica: la VOLUNTAD*

-Albert Einstein-

A la persona más importante de mi vida:

Manuel

AGRADECIMIENTOS

Si echo la mirada tres años atrás y me dicen que ésta es de las partes mas complicadas de la tesis no me lo creo. Quién me lo iba a decir que después de este tiempo iba a estar escribiendo estas líneas que tan complicadas pero necesarias me parecen.

En 2019 tomé la decisión de seguir mi carrera investigadora en el mundo de la podología, pero tan solo unos meses después un maldito bicho conocido como “coronavirus” pararía mi investigación de golpe, fueron meses de incertidumbre y nervios sin saber que iba a pasar, pero ahí estabais vosotros, Beatriz Gómez Martín y Álvaro Astasio Picado, mis directores, que hubiese hecho yo sin vosotros. Gracias por estar, por vuestro cariño y por ser casa.

A la Dra. Beatriz Gómez Martín por sumarte una vez mas a una de mis investigaciones, por estar a mi lado desde 2018 sin soltarme de la mano, por animarme a seguir, por ser un gran referente para mi, no solo profesionalmente si no también personalmente, y por recordarme cuando se me olvida que todo llega.

Al Dr. Álvaro Astasio Picado el que por el 2017, me metió en el cuerpo el gusanillo de todo esto que tiene que ver con la investigación, el que siempre está al otro lado del teléfono cuando lo necesito, el que me anima en mis momentos de querer tirar la toalla y el que me recuerda el por qué estoy aquí.

Agradecer de manera muy sincera a todos los participantes que habéis hecho posible este estudio, sin vosotros hoy no estaría escribiendo estas líneas.

A los alumnos de segundo de podología de la promoción 2018/2022 que desinteresadamente aceptasteis participar en esta investigación con los ojos cerrados.

A todos los deportistas que forman esa gran familia vinculados a la FEXME (Federación Extremeña de Montaña y Escalada).

A la Clínica de Podología del Centro Universitario de Plasencia por cederme sus instalaciones y la plataforma de presiones, agradecer a su director y trabajadoras toda la ayuda que me habéis prestado en estos años, gracias.

Al los directivos y gerentes "hermanos Cano" del rocódromo Cereza Wall, gracias una vez mas por cederme vuestras instalaciones y hacerme sentir como en casa. Sois muy grandes y llegaréis lejos.

Y por último y no por ello menos importante agradecer a mi familia, a los que estáis a mi lado y a los que marchasteis hace poco, los que se que estáis muy orgullosos de mí, que soy como una revolución que se apunta hasta a un bombardeo. Gracias por creer en mí siempre, aunque en ocasiones no sepáis de lo que hablo, pero vosotros no dejáis de creer en mi.

A mis abuelos que a pesar de su edad siguen a mi lado, ayudándome, animándome a seguir creciendo y dándome sus palabras de ánimo que más necesito en mi día a día.

A mi hermana, que aun en la distancia ella sigue al pie del cañón, ella me dice que aun hay tiempo, pero si supiera que en realidad esto se está terminando, se pondría de los nervios y seguro que empezaría a pensar en el outfit del día de la defensa.

A mis padres, que gracias a ellos soy la persona que soy, nunca han dejado de creer en mi, y aun en los momentos que sabían que no tomaba buenas decisiones ellos seguían a mi lado, para después volverme a levantar. Gracias por el sacrificio que habéis hecho siempre por mí, por dármelo todo y gracias por creer en mi.

A ti Francisco, que me has aguantado hasta los días que ni yo lo hacia, este ha sido un parto duro y largo, pero siempre has estado agarrado de mi mano.

A mi pequeño Manuel, te prometo que te devolveré y recompensaré todas las horas que estuve fuera o delante del ordenador para que este proyecto de mi vida saliese a delante. Pero que no se te olvide que tú has sido el mejor proyecto de mi vida.

Gracias a todos y cada uno de vosotros, ya que esto no hubiera sido lo mismo si no hubierais estado a mi lado, gracias por hacer posible uno de mis sueños.

“Paso a paso se hizo el camino”

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	i
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN.....	11
SUMMARY	14
PRIMERA PARTE	16
INTRODUCCIÓN GENERAL Y OBJETIVOS.....	16
CAPÍTULO 1: Introducción.....	17
1.1. La escalada.....	18
1.1.1. Orígenes de la escalada.....	18
1.1.2. Escalada deportiva	20
1.1.3. Técnica de escalada	21
1.1.4. Nivel de dificultad en la escalada deportiva.....	23
1.1.5. Fisiología de la escalada.....	26
1.1.6. Anatomía del pie	27
1.1.7. Biomecánica en la escalada.....	28
1.1.8. Elementos de protección: pies de gatos.....	29
1.1.8.1. Según su tipología	31
1.1.8.2. Según su sistema de cierre.....	33
1.1.8.4. Pies de gatos para hombres y mujeres:.....	34

1.1.9.	Clasificación de lesiones	34
1.1.9.1.	Factores de riesgo intrínsecos	34
1.1.9.2.	Factores de riesgo extrínsecos	35
1.1.10.	Mecanismo de lesión	39
1.2.	La baropodometría.....	40
1.2.1.	Orígenes de la baropodometría.....	40
1.2.2.	La baropodometría	41
1.2.1.1.	Baropodometría estática	42
1.2.1.2.	Baropodometría dinámica	43
1.2.3.	Uso de la baropodometría	45
1.3.	Biomecánica del primer radio	47
1.3.1.	Cinemática del primer radio.....	48
1.3.2.	Patomecánica del primer radio	49
1.3.2.1.	Primer radio dorsiflexionado	49
1.3.2.2.	Primer radio plantarflexionado.....	50
1.3.2.3.	Primer radio hipermóvil	51
1.3.3.	Exploración del movimiento del primer radio	52
1.4.	Biomecánica de la primera articulación metatarsofalángica	55
1.4.1.	Cinemática de la primera articulación metatarsofalángica.....	56
1.4.2.	Patomecánica de la primera articulación metatarsofalángica	57
1.4.2.1.	Hallux abductus valgus (HAV).....	57
1.4.2.2.	Hallux limitus	57
1.4.3.	Exploración de la primera articulación metatarsofalángica	58
CAPÍTULO 2: Objetivos.....		62

2.1. Objetivo general	63
2.2. Objetivos específicos.....	63
SEGUNDA PARTE.....	64
ESTUDIO DE CAMPO Y RESULTADOS.....	64
CAPÍTULO 3: Primer manuscrito	65
3.1. Introducción	67
3.2. Métodos	70
3.2.1. Diseño y Muestra	70
3.2.2. Equipo y Procedimiento	71
3.2.3. Consideraciones éticas del estudio	73
3.2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadístico.....	73
3.3. Resultados.....	75
3.4. Discusión.....	77
3.5. Limitaciones y Fortalezas.....	80
CAPÍTULO 4: Segundo manuscrito.....	82
4.1. Introducción	84
4.2. Métodos	88
4.2.1. Diseño y Muestra	88
4.2.2. Equipo y Procesamiento	88
4.2.3. Consideraciones éticas del estudio	89
4.2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadístico.....	90
4.3. Resultados.....	90
4.4. Discusión.....	93
4.5. Limitaciones y Fortalezas.....	97

CAPÍTULO 5: Tercer manuscrito	98
5.1. Introducción	100
5.2. Métodos.....	103
5.2.1. Diseño y Muestra.....	103
5.2.2. Cálculo del tamaño de la muestra	104
5.2.3. Equipo y Procedimiento	104
5.2.4. Consideraciones éticas del estudio	107
5.2.5. Procesamiento de datos y análisis estadístico.....	107
5.3. Resultados.....	108
5.3.1. Comparación de las presiones plantares entre el grupo de control y el grupo de escaladores.....	108
5.3.2. Comparación de la movilidad del primer radio entre el grupo de control y el grupo de escaladores.....	111
5.3.3. Comparación de la movilidad de la primera articulación metatarsofalángica entre el grupo de control y el grupo de escaladores...	112
5.4. Discusión.....	112
5.5. Limitaciones y fortalezas.....	115
TERCERA PARTE	117
DISCUSIÓN INTEGRADORA Y SÍNTESIS TEÓRICA.....	117
CAPÍTULO 6: Discusión Integradora y síntesis teórica	118
6.1. Validación de plataforma de presiones Podoprint	119
6.2. Identificar las lesiones crónicas del pie relacionadas con la práctica de la escalada.....	122
6.3. Evaluación del pie del escalador frente a un grupo no escaladores (grupo control).....	125

6.3.1.	Presiones plantares.....	125
6.3.2.	Movilidad del primer radio.....	127
6.2.3.	Movilidad primera articulación metatarsofalángica.....	128
CAPÍTULO 7: Publicaciones derivadas del estudio		129
7.1.	Primero Manuscrito.....	130
7.1.1.	Resumen.....	130
7.1.2.	Informe	131
7.1.3.	Resumen en español.....	133
7.1.4.	Copia del primer manuscrito.....	134
7.2.	Segundo Manuscrito	140
7.2.1.	Resumen.....	140
7.2.2.	Informe	141
7.2.3.	Resumen en español.....	143
7.2.4.	Copia del segundo manuscrito	145
7.3.	Tercer Manuscrito	153
7.3.2.	Informe	154
7.3.3.	Resumen en español.....	156
7.3.4.	Copia del tercer manuscrito.....	158
7.4.	Otras contribuciones derivadas de la tesis doctoral	169
7.4.1.	Póster	169
4.4.2.	Póster.....	170
7.4.3.	Comunicación Ora	171
CAPÍTULO 8: Conclusiones		172
BIBLIOGRAFÍA		175

ANEXO.....	208
ANEXO I: INFORMACIÓN AL PACIENTE.....	209
ANEXO II: CONSENTIMIENTO INFORMAD.....	212
ANEXO III: COMITÉ DE BIÓETICA.....	217
ANEXO IV: HOJA RECOGIDA DE DATO CONTROLES	220
ANEXO V: HOJA RECOGIDA DE DATOS CASOS	224
ANEXO VI: ESCALA DE MANCHESTER.....	228

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escalas de dificultad en escalada.....	25
Tabla 2 Media y desviación típica	75
Tabla 3. Values p-value for the study means between both sessions.....	76
Tabla 4. Repetibilidad de las variables de estudio en la segunda sesión.	76
Tabla 5. Repetibilidad de las variables del estudio en la segunda sesión.....	77
Tabla 6. Repetibilidad de las variables de estudio entre las dos sesiones.....	77
Tabla 7. Porcentaje del tipo de lesiones en el pie del escalador.	92
Tabla 8. Tabla de contingencia y test de Chi-cuadrado para la asociación entre la presencia de lesión y los años de práctica de la escalada. *Nivel de significación.	93
Tabla 9. Datos descriptivos de los participantes del estudio que muestran características demográficas y antropométricas según el sexo - grupo casos ...	108
Tabla 10. Datos descriptivos de los participantes del estudio que muestran características demográficas y antropométricas según el sexo – grupo control.	108
Tabla 11 Presión máxima media en la población de estudio por grupos de estudio y diferentes pies.....	109
Tabla 12. Presiones máximas en estática y dinámica.....	110
Tabla 13. Porcentaje de aparición de presiones plantares.	110
Tabla 14 Movimiento del primer radio en todos los participantes.....	111
Tabla 15 Movimiento de la primera articulación metatarsofalangica.	112

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Técnicas de pies más utilizadas.....	22
Ilustración 2. Pies de Gatos.	30
Ilustración 3. Baropodometría en estática.....	43
Ilustración 4. Baropodometría en dinámica.	45
Ilustración 5. Medición con el instrumento de medida. Primer radio en posición neutra.....	53
Ilustración 6. Medición con el instrumento de medida. Primer radio en máxima dorsiflexión.	53
Ilustración 7. Medición con el instrumento de medida. Primer radio en máxima flexiónplantar.....	54
Ilustración 8. Medición de la primera articulación metatarsofalngica. Posición neutra.....	59
Ilustración 9. Medición de la primera articulación metatarsofalngica. Posición flexión plantar.....	61
Ilustración 10. Medición de la primear articulación metatarsofalngica. Posición flexióndorsal.	61
Ilustración 11. Imagen tridimensional de la captura plantar.....	72
Ilustración 12. Datos del software de la plataforma de presiones.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Frecuencia de las horas de entrenamiento semanales.....	91
Figura 2. Frecuencia de los años de práctica de la escalada.	91
Figura 3. Frecuencia de las lesiones en el pie del escalador.....	92

ABREVIATURAS

AMTF	Articulación MetaTarso Falángica
ASA	Articulación Subastragalina
CV	Coefficiente de Variación
DS	Desviación Estándar
FEXME	Federación Extremeña de Montaña y Escalada
FD	Flexión Dorsal
FP	Flexión Plantar
F-RSD	French Rating Scale of Difficulty
HAV	Hallux Abductus Valgus
ICC	Coefficiente de Correlación Interclase
IMC	Índice de Masa Corporal
IRCRA	International Rock Climbing Association
PM	Presión Media
PX	Presión Máxima
ROM	Rango de Movimeinto
S	Superficie
YDS	Yosemite Decimal System

RESUMEN

La escalada deportiva es un deporte en auge, donde el número de participantes está en constante aumento. Desde 1985 tuvieron lugar las primeras competiciones en rocódromos. En 2021 se consideró por primera vez la escalada como disciplina olímpica en los Juegos Olímpicos de Tokio. Este aumento de escaladores también produce un aumento de participantes lesionados.

El propósito de este estudio fue determinar el tipo de lesiones en el pie del escalador, la validación de la plataforma de presiones que utilizaremos y como eran las presiones plantares frente a un grupo control.

Mediante la plataforma de presiones Podoprint® se evaluaron las presiones plantares de 53 personas del grupo casos y 52 del grupo control. A su vez también se midió la movilidad del primer radio y de la primera articulación metatarsofalángica. Las anteriores mediciones se realizaron 3 veces por explorador y dos exploradores diferentes.

Los resultados mostraron la gran validez de la plataforma Podoprint®. Los coeficientes de correlación para superficie, presión máxima, presión media entre las dos sesiones es mayor a 0,8. Y el coeficiente de variación (CV) entre la media de los ensayos de la primera y la segunda sesión son menores al 20%.

Casi el 70% de las personas encuestadas tiene algún tipo de alteración o lesión en el pie. De las cuales el 40% son en hombres y el 60% restante son mujeres. Los años de práctica de escalada tienen asociación significativa con la presencia de lesión ($p=0,035$) por lo que a mayor número de años practicando escalada mayor probabilidad de lesión.

En el grupo escaladores las presiones máximas localizadas en la primera cabeza metatarsal, eran $2201,34 \pm 96,31$ g/cm² en estática y $2007,57 \pm 93,50$ g/cm² en dinámica. En el grupo control las presiones máximas localizadas en la segunda cabeza metatarsal en estática y dinámica eran $2445,75 \pm 73,28$ g/cm² y $2326,48 \pm 72,12$ g/cm², respectivamente

El grupo escalador tiene una mayor flexión dorsal que el grupo control, pero el rango total de movimiento en el grupo escaladores es menor que en el grupo control (p-valor es menor a 0,05, Prueba U de Mann-Whitney).

El grupo no escalador tiene menor flexión dorsal y flexión plantar que el grupo control (p-valor es menor a 0,05, Prueba U de Mann-Whitney).

SUMMARY

Sport climbing is a booming sport, where the number of participants is constantly increasing. Around 1985 the first rock climbing competitions took place. In 2021 climbing was considered for the first time as an Olympic discipline at the Olympic Games in Tokyo. This increase in climbers also leads to an increase in injured participants.

The purpose of this study was to determine the type of injuries to the climber's foot, the validation of the pressure platform we will use, and what the plantar pressures were like versus a control group.

The Podoprint® pressure platform was used to evaluate the plantar pressures of 53 people in the case group and 52 in the control group. The mobility of the first radius and the first metatarsophalangeal joint was also measured. The above measurements were performed 3 times per scout and two different scouts.

The results showed the high validity of the Podoprint® platform. The correlation coefficients for surface, peak pressure, mean pressure between the two sessions is greater than 0.8. And the coefficient of variation (CV) between the mean of the first and second session trials are less than 20%.

Almost 70% of the people surveyed have some type of alteration or injury to the foot. Of which 40% are in men and the remaining 60% are women. The years of climbing practice have a significant association with the presence of injury ($p=0.035$), so the greater the number of years practicing climbing, the greater the probability of injury.

In the climbing group, the maximum pressures located in the first metatarsal head were 2201.34 ± 96.31 g/cm² in static and 2007.57 ± 93.50 g/cm² in dynamic. In the control group, the maximum pressures located in the second metatarsal head in static and dynamic were 2445.75 ± 73.28 g/cm² and 2326.48 ± 72.12 g/cm², respectively.

The climber group has greater dorsal flexion than the control group, but the total range of motion in the climber group is less than in the control group (p-value is less than 0.05, Mann-Whitney U-test).

The non-climbing group has less dorsal flexion and plantar flexion than the control group (p-value is less than 0.05, Mann-Whitney U-test).

PRIMERA PARTE

INTRODUCCIÓN GENERAL Y OBJETIVOS

CAPÍTULO 1: Introducción

En esta introducción se tratarán los tres aspectos fundamentales que están recogidos en las publicaciones de esta tesis doctoral: la escalada y como genera lesiones en el pie del escalador, estudiadas a través de la baropodometría y mediación de la movilidad de articulaciones.

1.1. La escalada

1.1.1. Orígenes de la escalada

Los orígenes de la escalada tienen poco que ver con lo que conocemos hoy en día, ya que, los primeros escaladores pueden considerarse los científicos, que durante los siglos XVIII y XIX, descubrieron gran parte de las montañas más importantes del mundo (Canalejo Couceiro, 2010). Sin embargo, será en la década de los 80 cuando nace la escalada deportiva tal y como la conocemos hoy (Antonioli, 1998; Wall et al., 2004).

En aquel entonces, se comenzará a entrenar en rocódromos o “indoors” para poder llevar a cabo itinerarios de mayor dificultad en la naturaleza o “outdoors”. (Wright et al., 2001a). En 1991 se celebró la primera competición internacional de escalada en Frankfurt, Alemania. Aunque dicha competición contó con un número limitado de participantes. Sin embargo, en 2005 en Múnich la participación se incrementó hasta alcanzar unos 500 escaladores de diferentes países (V. R. Schöffl & Kuepper, 2006).

Pero no será hasta 1998 cuando la modalidad como el Boulder fue introducida oficialmente en el ámbito de las competiciones internacionales, según se afirma en la página oficial de la federación internacional de escalada y deportes de montaña (IFSC). Cabe destacar que, desde la primera competición

tanto de Boulder como de escalada deportiva, la participación femenina ha estado presente (S. Grant et al., 1996a).

El objetivo principal de la práctica de este deporte es llegar al punto más alto de una pared de roca o llegar al final de una ruta establecida (Michailov, 2014).

Así pues, se pueden diferenciar distintos tipos de modalidades (Draper et al., 2008; Schffl et al., 2010), la escalada deportiva y la escalada tradicional, en la que el escalador llega al “top” de la vía para luego descender, con el matiz de que en la deportiva se usarán anclajes fijos mientras que en la tradicional el escalador deberá proteger la caída fijando él mismo los anclajes a la roca. Ambas modalidades también pueden practicarse en “top-rope”, donde la cuerda del escalador pasa por la cadena que indica el final de la vía y por el gri-gri del asegurador (Draper et al., 2009).

La escalada de largos consiste en que el escalador liderará más de un largo y al llegar al final de cada uno, un segundo escalador escalará en top-rope, retirando el material dejado por el anterior escalador (Draper et al., 2008).

Por el contrario, el Boulder consiste en escalar una vía sin cuerda, frecuentemente corta, en la que un compañero protegerá la caída ayudado de unas colchonetas (Portela et al., 2013). Por último, la escalada en hielo consiste en la ascensión de paredes heladas y cascadas congeladas (Schffl et al., 2010).

1.1.2. Escalada deportiva

La escalada deportiva se trata de una modalidad dentro de la escalada, en la que se busca la máxima dificultad de movimientos por lo que requiere, por parte del escalador, una intensa preparación previa (Annual Report IFSC, 2019, Seifert L & Schweizer A, 2016).

La practica de la escalada consiste en recorrer una pared de roca o de una estructura artificial (rocódromo). Donde la vía es el recorrido, que en el caso de la escalada deportiva está delimitado por los puntos de seguro anclados en la pared, mientras que en las rocas son las prominencias de estas mismas. Se denominará presas para manos y apoyos para pies (Seifert L & Schweizer A, 2016).

En las estructuras artificiales, la pared suele ser de panel de madera sobre la que destacan en cuanto a color y textura las presas y apoyos, fabricadas normalmente con resinas de poliéster. Según el conocimiento previo de la vía a escalar, se distinguen tres modalidades de escalada: escalada a vista, escalada a flash y escalada ensayada (Draper et al., 2011).

La escalada a vista consiste en escalar una vía sin ningún tipo de información previa, ni en primera persona, ni de terceros, ni visual ni verbal. En la escalada a flash no se tiene información sobre el recorrido en primera persona, pero el escalador sí tiene algún tipo de información previa, visual o verbal, proveniente de terceros. Las vías de mayor dificultad se logran en estilo ensayado, es decir, repitiendo varias veces la misma vía y practicando los movimientos más duros y difíciles hasta lograr superarlos.

La falta de conocimiento previo de la vía y de sus características ha sido descrita como un impedimento del rendimiento deportivo en esta disciplina (Ferrand et al., 2007). La escalada a vista ha sido definida como un laberinto, en el que cualquier error en el procesamiento de la información puede requerir el rehacer un movimiento y buscar una solución diferente con el consecuente gasto de tiempo y energía (Dupuy C & Ripoll H., 1989).

1.1.3. Técnica de escalada

Una escalada eficiente requiere un buen trabajo de pies; tanto las piernas como los pies están diseñados para soportar el peso corporal, los brazos no. Pese a la afirmación anterior resaltando la mayor importancia de los pies sobre los brazos, los estudios se centran más en las lesiones en el miembro superior (Donahoe Topher LC., 2014).

Aprender a colocar los pies de manera óptima reduce la tensión en los antebrazos y coloca al cuerpo en una posición adecuada para alcanzar de manera eficiente el siguiente punto de agarre. Además, fijarse en los pies es importante para evitar posibles lesiones al producirse un resbalón. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a veces el error no se encuentra en la técnica si no en la calidad del pie de gato, ofreciendo así una mala adherencia, complicando así un apoyo eficaz (Sheldon D., 2014).

Con respecto a la técnica de los pies en la escalada hay que decir que en este deporte existen múltiples técnicas que implican el movimiento de los pies como el talón, puntar, empeine, entre otras técnicas (Donahoe Topher LC., 2014; Heise-Flecken D. FG., 2016; Wolfe LM., 2002).

Las técnicas de pie más utilizadas se pueden ver en la **ilustración 1**. (Donahoe Topher LC., 2014.; Heise-Flecken D, 2016).

Para escalar se requiere principalmente contracciones musculares isométricas (en los agarres a las presas y en situaciones de reequilibrio) y concéntricas (tracción durante la trepa, desplazamientos y ascensos) y, en menor medida, contracciones excéntricas (durante las bajadas y acciones dinámicas).



A Smearing (técnica de adherencia) se empuja el pie contra la pared, usando la fricción para brindar soporte. **B** Edging (canteo) se usa el borde interno o externo del pie en el lugar de los dedos para sostener la pared. El borde exterior es menos intuitivo que el borde interno, pero los bordes exteriores ayudan a posicionar su cuerpo para hacer grandes alcances y aguantar sobre una roca empinada. **C** Heel hook or heel-hooking (gancho de talón o taloneo) se utiliza el talón del pie para aguantar en la pared, permitiendo usar su pie como una tercera mano, para agarrar se aferra a las rocas que sobresalen.

Ilustración 1. Técnicas de pies más utilizadas.

Fuente: (Heise-Flecken D, 2016)

En 1994 se analizaron los grupos de músculos más implicados durante la escalada: flexores del codo, flexores de muñeca, flexores de los dedos, flexores de cadera, extensores de rodilla y flexores plantares de tobillo (Muro et al., 1994). Es necesario diferenciar entre estos dos grupos (Miranda JM, 2002):

- **Musculatura ejecutora:** Principalmente la musculatura de las piernas, en especial el cuádriceps, el psoas ilíaco y sóleo.

- **Musculatura de sostén:** Principalmente participarían los flexores del antebrazo, es decir, tanto el flexor común superficial como el flexor común profundo son los músculos que nos permiten “agarrarnos de las presas”.

1.1.4. Nivel de dificultad en la escalada deportiva

La dificultad de una vía en escalada viene determinada por las características de: la pared, las presas y apoyos (forma, tamaño, adherencia y profundidad), distribución y separación de las presas y apoyos, inclinación de la pared (neutra, positiva o negativa) y otros factores de la pared como puede ser el tipo de roca (Draper et al., 2016).

Siendo importante hay que destacar también los propios límites del escalador como son: físico-técnicos, perceptivos y psicológicos, haciendo que la percepción de la dificultad sea relativa a cada sujeto (Draper et al., 2016).

El grado de dificultad de una vía se establece de forma subjetiva. Se utilizan escalas de dificultad que varían según paíse (Draper et al., 2016s).

En la **tabla 1** aparecen las escalas más utilizadas, en España se utiliza la escala Francesa (French Rating Scale of Difficulty: F-RSD), también se indica la escalada americana (Yosemite Decimal System: YDS) y la nueva escala IRCRA, recientemente propuesta por la International Rock Climbing Research Association (IRCRA) con el objetivo de unificar y facilitar el tratamiento de datos (Draper et al., 2016).

A partir del sexto grado, la escala F-RSD consta de un número y una letra entre “a” y “c”, además de un signo “+” como nivel intermedio entre el cambio de letra.

Cuando el escalador recorre la vía desde el principio hasta el final por sus propios medios, sin ayuda y sin paradas asistidas, utilizando dispositivos mecánicos como los mosquetones, cintas exprés, se considerará que ha alcanzado el grado de una vía. A este proceso se le denomina encadenar la vía.

No todos los escaladores que consiguen encadenar una vía tienen que seguir el mismo sistema o secuencia de movimientos, sino que pueden utilizar distintas soluciones para resolver los problemas.

No existe un modelo de coordinación motora ideal a la que todos los escaladores aspiran (Seifert L et al., 2013), sino que cada uno utiliza la combinación de movimientos que mejor se ajustan a sus condiciones físicas, fisiológicas, psicológicas y perceptivas.

Es un deporte complejo en el que el rendimiento depende de diversos factores. En los últimos años, los estudios científicos en escalada deportiva se han centrado en aspectos antropométricos (Laffaye et al., 2016), fisiológicos (Fryer et al., 2016) o biomecánicos (Morenas Martín et al., 2013). En cambio, los estudios perceptivos (Seifert et al., 2015) o psicológicos (Sanchez et al., 2010) han sido escasos.

Grupo de Nivel		F-RSD	YDS	IRCPA Reporting Scale
Grado inferior (nivel 1) masculino y femenino		1	5.1	1
		2	5.2	2
		2+	5.3	3
		3-	5.4	4
		3	5.5	5
		3+	5.6	6
		4	5.7	7
		4+	5.8	8
		5	5.9	9
Intermedio (nivel 2) masculino	Intermedio (nivel 2) femenino	5+	5.10 a	10
		6 a	5.10b	11
		6a+	5.10c	12
		6 b	5.10d	13
		6b+	5.11*	14
Avanzado (nivel 3) masculino	Avanzado (nivel 3) femenino	6c	5.11.b	15
		6c+	5.11c	16
		7 a	5.11d	17
		7 a+	5.12 a	18
		7b	5.12b	19
		7b+	5.12c	20
Elite (nivel 4) masculino	Elite (nivel 3) femenino	7c	5.12d	21
		7c+	5.13 a	22
		8 a	5.13b	23
		8a+	5.13c	24
		8b	5.13d	25
Elite superior (nivel 5) masculino	Elite superior (nivel 5) femenino	8b+	5.14 a	26
		8c	5.14b	27
		8c+	5.14c	28
		9 a	5.14d	29
		9 a+	5.15 a	30
		9b	5.15b	31
		9b+	5.15c	32
9c	5.15d	33		

F-RSD: French Rating Scale of Difficulty; YDS: Yosemite Decimal System; IRCRA: International Rock Climbing Research Association.

Tabla 1. Escalas de dificultad en escalada.

Fuente: (Draper et al., 2016)

1.1.5. Fisiología de la escalada

Los sistemas metabólicos que contribuyen en mayor medida durante el desarrollo de la escalada son el aeróbico y el anaeróbico aláctico (Bertuzzi et al., 2007). Sin embargo, la contribución de los sistemas metabólicos dependerá del tipo de escalada (de Geus et al., 2006). Por lo que, la contribución del sistema oxidativo es primordial, puesto que colabora en la resíntesis de fosfágenos que ocurre durante los periodos de parada y recuperación que ocurren durante el desarrollo de la actividad” (López, 2014).

Siendo destacable como la escalada no entra en la clasificación tradicional de deporte aeróbico o anaeróbico, sino que tiene la contribución de ambos sistemas metabólicos. En cuanto al tipo de contracciones, la escalada es caracterizada por la contracción isométrica intermitente de los músculos flexores del antebrazo (CM et al., 1997; Giles et al., 2006).

Los escaladores de élite están considerados por tener altos niveles de fuerza en proporción a la masa corporal (Wall CB, 2004). El foco de esta fuerza se centra en la fuerza de dedos. Así, demostraron que una de las características que diferencia a los escaladores de élite de un amateur es principalmente la fuerza de dedos. Cabe mencionar, que en su estudio no encontraron diferencias significativas entre escaladores de bajo nivel y no escaladores en lo que respecta a parámetros como la fuerza de los flexores de los dedos y músculos del manguito de los rotadores y flexibilidad de cadera (Grant et al., 1996).

Esto puede significar que puede que la “escalada recreacional” no provoque un estímulo suficiente como para crear adaptaciones fisiológicas (Wall CB, 2004).

Por lo tanto, dada la naturaleza multidimensional de la escalada, factores como el rendimiento resultan difíciles de cuantificar. Así pues, agentes como la masa corporal (Wall CB, 2004), la técnica (Mermier, 1997), el género (Small & Schutz, 1985), la longitud de las extremidades o la flexibilidad pueden influenciar los resultados en el ámbito del rendimiento (Grant et al., 2001).

La escalada eficiente consiste en el ahorro de energía por cada movimiento, viéndose afectada por los factores anteriormente mencionados. Esto implicará un retraso en la aparición de la fatiga (Grant et al., 2001).

1.1.6. Anatomía del pie

El pie está formado por el navicular, el calcáneo, el astrágalo, el cuboide y los cuneiformes (I, II y III). El calcáneo está unido al astrágalo mediante el ligamento astragalocalcáneo. Éste está en tensión durante la inversión del tobillo, por lo que es un ligamento susceptible que lesionarse en modalidades como en bloque, por ejemplo, tras una caída (Tortora & Nielsen, 2009)..

El ligamento del tobillo es una articulación en bisagra formado por la unión de la parte porción distal de la tibia y su maléolo medio y el astrágalo. El ligamento tibiofemoral, es del que depende la estabilidad que une la tibia con el fémur en una posición estable (Morenas Martín et al., 2013).

A pesar de todo, la articulación del tobillo recibe la mayoría de su soporte de los ligamentos colaterales del tobillo. Estos son el ligamento peroneoastragalino anterior, el ligamento calcaneoperoneal, el ligamento peroneoastragalino posterior. La porción medial de la articulación está

soportada por los ligamentos deltoideos del tobillo, el cual está compuesto por 4 ligamentos distintos: el tibionavicular, el tibioastragalino anterior, el calcaneotibial y el tibial posterior (Tortora & Nielsen, 2009).

Los pies de gatos suelen ser mas pequeños que el numero del escalador buscando un mayor rendimiento en el gesto deportivo de la escalada, debido al uso de talla reducida de los pies de gatos el tendón de Aquiles, cuya inserción se encuentra en el calcáneo soporta una gran tensión a lo largo de la escalada(Vigouroux et al., 2006).

Las articulaciones de las falanges de los dedos de los pies son considerablemente dañadas, debido a la flexión que soportan durante toda la escalada, manteniendo una postura en garra. Como consecuencia de este hecho también puede resultar afectada la aponeurosis plantar o fascia plantar. Esta es una estructura de tejido conjuntivo que surca la planta del pie desde el calcáneo hasta la cabeza de los metatarsianos (Quaine et al., 2003).

Por lo que la prolongada postura forzada del pie puede acarrear consigo alteraciones en esta estructura, como la fascitis plantar (MacLeod, 2015) .

1.1.7. Biomecánica en la escalada

Las fuerzas verticales y horizontales del escalador cambian cuando el escalador comienza a moverse y pierde el contacto de una de sus manos con la pared (Quaine & Martin, 1999), teniendo que redistribuir su peso corporal en los tres restantes apoyos para evitar la pérdida de equilibrio y por ende una subsecuente caída(Quaine et al., 1997).

La distribución de la fuerza aumentará en el lado contralateral a la articulación en movimiento, mientras que se reducirá en el agarre (Noé et al., 2001).

Los escaladores han de aumentar la fuerza vertical ejercida en los agarres para poder moverse a lo largo de la pared. Además, la distribución de la fuerza en cada agarre (tanto de pies como de manos) variará dependiendo de la inclinación de la pared (Quaine et al., 1997).

Cuando se escala una pared vertical la fuerza aplicada en los pies es mayor, en paredes desplomadas la fuerza aplicada a los agarres de manos adquiere un rango de mayor importancia. Esta es una afirmación estrictamente relacionada con el ámbito de lesiones, puesto que, al hacer más fuerza en los agarres de manos, la presión sobre estructuras como las poleas aumentará (Schweizer, 2001).

Cuanto mayor es la dificultad de la vía menor será el tamaño de los agarres y si se añade el factor de la inclinación de la pared, el uso de este tipo de agarre aumentará proporcionalmente, confirmando que, a mayor aumento de las fuerzas, aumentará también la posibilidad de padecer alguna lesión (Quaine et al., 1997; Vigouroux et al., 2006).

1.1.8. Elementos de protección: pies de gatos

La mayoría de escalada en roca y escalada alpina se realizaba con botas de montaña, eran de cuero y eliminaban cualquier sensibilidad, además de hacer mucha fuerza en los dedos del pie para impulsarse (V. Schöffl & Küpper, 2013).

Los zapatos que se utilizan en la actualidad en la escalada en rocódromo son los pies de gato (*Ilustración 2*).



Ilustración 2. Pies de Gatos.

Muchas de las lesiones que aparecen en los pies del escalador se debe al resultado de usar zapatos de escalada de forma poco natural o de tamaño demasiado pequeño. El pie de gato pequeños mantiene el pie en una posición inestable y supina, y la delgadez del zapato le produce sensibilidad al pie. Los zapatos de escalada se ajustan como una segunda piel, para obtener este ajuste, los escaladores aceptan el dolor durante y después de la escalada (Peters P., 2001; V. Schöffl & Küpper, 2013).

Muchos escaladores utilizan un calzado mal ajustado y excesivamente apretado durante la actividad. Existen estudios que afirman que los escaladores utilizan calzado mal ajustado y apretado, incluso llegando a usar 4 tallas por debajo de la propia talle de pie del escalador (McHenry et al., 2015).

Se debe destacar que, existen múltiples modelos de pies de gato, clasificados en función de su asimetría, pero en la actualidad no existe un pie de gato que proporcione el máximo confort y siente bien a todos los escaladores (Peters P., 2001; V. Schöffl & Küpper, 2013).

Según la modalidad de escalada que practiques y el material sobre el que escales puede ser más conveniente el uso de unas garras u otras. Estos son los tipos de garras de gato más usuales:

1.1.8.1. *Según su tipología* (forma, rigidez y suela). Nos indicará para qué tipo de escalada y escalador sirve cada uno.

I. Según su forma:

- SIMÉTRICOS: Su horma es recta, similar a la del calzado convencional. Son más cómodos, así que están destinados a la escalada clásica de vías multi-largo, o a rutas de baja y media graduación de deportiva
- ASIMÉTRICOS: La suela y horma tienen, prácticamente, la forma exagerada del pie, con una puntera que “envía” el peso a la zona del dedo gordo. De esta manera, al concentrar el apoyo en un solo punto, se consigue que funcionen especialmente bien en presas mínimas, agujeros e irregularidades de la roca, etc.

Como es fácil de imaginar, son más incómodos que los de horma simétrica, pero fundamentales para afrontar retos de grado superior.

II. Según su rigidez:

- DUROS: Tienen una cierta rigidez, mayor o menor según los modelos, pero mantienen una buena flexibilidad. las suelas más

rígidas dan mayor apoyo y favorecen el canteo y el apoyo en regletas a costa de pérdida de sensibilidad y algo de adherencia. Son versátiles, y funcionan especialmente bien para escalada en placa y vertical. La rigidez nos ayuda a sostenernos y realizaremos los canteos con más facilidad.

- BLANDOS: Permiten una mayor sensibilidad. Nacieron para el búlder, pero también se usan para deportiva de grado alto, extraplomos.

III. Según la curvatura de la suela:

- PLANA: son los más empleados, independientemente de que sean duros, blandos, simétricos, asimétricos, etc. Sobre todo, si hablamos de iniciación y grado medio-alto. Permite aprovechar mejor las pequeñas presas, agujeros.
- CURVATURA HACIA ABAJO: Nacieron para el búlder y el grado muy alto. Son más incómodos, pero en vías de bloque, muy rápidas, en las que en breves minutos podemos descalzarnos, esto no importaba. En un principio la mayoría eran de suela blanda; ahora hay de todo tipo. Forman un gancho hacia abajo que puede ser bastante importante. Esto permite a los escaladores que los emplean apurar al máximo las posibilidades de tracción sobre mínimos agujeros, etc, al llevar toda la fuerza y peso del cuerpo a los dedos del pie en vertical, de forma similar a una bailarina de ballet. Pero, sobre todo, son fundamentales en extraplomos, por su forma de gancho.

1.1.8.2. *Según su sistema de cierre* (cualquier gato de las clasificaciones del apartado anterior puede tener un cierre de uno u otro tipo, con sus ventajas e inconvenientes).

- CIERRE DE VELCRO: permiten con un simple gesto de la mano a quienes emplean estos pies de gato “liberar” de forma rápida sus pies en reuniones, en los tiempos entre pegues a pie de vía, etc. En gatos muy técnicos y ajustados, es un alivio.
- CIERRE DE CORDONES: Ajustan mejor, sobre todo, para aquellas personas que tengan los pies algo raros. No suponen ningún problema para quienes no fuerzan al máximo la talla, y no se ven obligados a soltárselos tan a menudo. Si hay que estar soltándolos y poniéndolos constantemente, pueden ser poco prácticos.

1.1.8.3. *Según el material de construcción* (También cualquier pie de gato de las clasificaciones indicadas en tipología puede ser de piel o material sintético)

- PIEL: cede más que los materiales sintéticos, lo que puede ser un inconveniente si perdemos ajuste, pero también puede ser una ventaja, porque en muchos casos supone que el gato se adaptará con el tiempo mejor a nuestro pie.
- MATERIALES SINTÉTICOS: Ceden menos, lo cual es perfecto si al comprarlos nos ajustan muy bien, pero sufren un efecto secundario: la mayoría de los productos sintéticos provocan una sudoración

mayor que los naturales...además de un olor que puede llegar a ser algo fuerte según las personas.

1.1.8.4. *Pies de gatos para hombres y mujeres:* Puesto que tienen que ajustar como un guante y, en general, los pies de las mujeres son mas estrechos en el tobillo, con un arco algo elevado, y algo mas anchos en la zona de los dedos en proporción, la mayoría de los modelos tienen versión para hombre y versión para mujer.

1.1.9. Clasificación de lesiones

Existe poca referencia bibliográfica que hable acerca de las lesiones del pie por la practica de la escalada. Existen publicaciones recientes que describe alteraciones relacionadas con el uso del pie de gato. Las lesiones traumáticas son las más comunes (McHenry et al., 2015).

En lo que concierne al origen de las lesiones hay que tener en cuenta, por una parte, los factores de riesgo intrínsecos propios de cada individuo y por otro lado a los factores extrínsecos.

1.1.9.1. *Factores de riesgo intrínsecos*

I. SEXO: Existe una diferencia significativa en el índice de lesiones entre hombres y mujeres, especialmente en el ámbito de la competición. Esto puede ser debido a que, en su investigación, los sujetos masculinos escalaban dificultades mayores que los femeninos. Este hecho es aún hoy en día existente, puesto que el máximo grado en escalada deportiva (9b+) solo ha sido escalado

por deportistas masculinos. Curiosamente, las investigaciones hechas hasta la fecha han obtenido resultados contradictorios en cuanto a esta materia se refiere, ya que autores como (Hasler et al., 2012; V. Schöffl & Küpper, 2013a) afirmaban que no había diferencia, mientras que (Wright et al., 2001) o el de (Pieber et al., 2012) encontraron diferencias significativas entre ambos géneros.

II. EDAD: Al igual que con el género, los efectos de la edad han mostrado resultados distintos en diferentes estudios. Algunos de investigadores apuntan a que no es la longevidad lo que afecta al riesgo de las lesiones, sino los años de práctica que se lleven. Es decir, cuanto más tiempo se lleve escalando, mayor será la posibilidad de sufrir una lesión (Woollings et al., 2015).

III. ÍNDICE DE MASA CORPORAL (IMC): cuanto mayor sea el IMC, el cuerpo caerá más pesadamente, por lo que será más fácil sufrir una lesión (Schad, 2000). Aunque investigaciones como la llevada a cabo por (Josephsen et al., 2007) no encontraron ninguna diferencia significativa entre el IMC y la prevalencia de las lesiones. Sin embargo, es necesario hacer hincapié en el hecho de que este estudio solo se centró en la modalidad del bloque, dejando las modalidades restantes al margen.

1.1.9.2. Factores de riesgo extrínsecos

I. MODALIDAD DE ESCALADA: El grado de incidencia varía según la modalidad de escalada practicada ((Josephsen et al., 2007; Schad, 2000; Schffl et al., 2010). En proporción el número de lesiones

ocurridas en cada modalidad es mayor en la escalada en bloque que en la escalada de primero o en “top rope”. Es interesante mencionar que, dependiendo de la modalidad, la ubicación de las lesiones varía. Así, una mayor incidencia en lesiones del tren inferior se da en la escalada en bloque (Josephsen et al., 2007) mientras que en la escalada tradicional y la escalada de primero las lesiones se localizan principalmente en las articulaciones del tren superior (Paige et al., 1998).

Probablemente este hecho sea debido a que en la modalidad de bloque no hay posibilidad de dinamizar una caída como la hay en la escalada de primero. Por lo tanto, en este tipo de escalada toda

- II. TIEMPO ESCALANDO: el tiempo utilizado para completar una vía larga o la cantidad de horas que se han utilizado para entrenar en total en una semana. Así pues, también se hace alusión a la cantidad de entrenamientos realizados por semana, el hecho de realizar entrenamientos más de dos veces a la semana incrementa el riesgo de lesión significativamente (Lion et al., 2016).

Según estos autores, la causa de ello es debido a que no hay suficiente tiempo para la adaptación de los tendones entre sesión y sesión, lo cual provoca que los microtraumas inducidos por el entrenamiento se agraven, aumentando significativamente el riesgo de lesión. Por lo cual, se podrían considerar este tipo de lesiones como lesiones por sobreuso (Rohrbough et al., 2000a).

- III. INTENSIDAD DE LA ESCALADA: a medida que la dificultad se incrementa el tamaño del agarre tanto para pies como para manos

se reducirá, trayendo como consecuencia un aumento en el uso del agarre en arqueo. “El riesgo de lesión parece especialmente elevado en niveles altos de dificultad” Existe una relación entre el nivel de dificultad y el aumento en el riesgo de lesión. Por lo tanto, se podría concluir este punto diciendo que el nivel de dificultad está relacionado con el riesgo de lesión (Paige et al., 1998).

- IV. MATERIAL UTILIZADO: El desarrollo de la seguridad en materiales como la cuerda, el arnés, instrumentos de asegurar y anclajes han hecho de la escalada un deporte más seguro relevando al pasado afirmaciones como “el escalador nunca se cae”, motivadas por el inminente riesgo mortal que las caídas implicaban (Schad, 2000).

Por estas razones, el estado del material está estrictamente relacionado con el índice de accidentes en la escalada, puesto que un material en un estado defectuoso es propenso a fallar al detener una caída, provocando posibles lesiones de gravedad o incluso la muerte del escalador (Schffl et al., 2010).

Las lesiones se pueden clasificar en agudas o crónicas. Las lesiones agudas mas comunes son: Contusión, fractura de calcáneo, fractura de astrágalo, fractura de tobillo, esguince de tobillo con lesión de ligamento lateral, etc(V. Schöffl & Küpper, 2013).

Mientras que las lesiones crónicas más comunes son: las hiperqueratosis, helomas, dedos en garra, lesiones en la inserción del tendón de Aquiles, fasciopatías.

Además de, la existencia de dolor en las uñas de los pies, así como hematomas subungueales, uñas distróficas, onicólisis ungueales, hallux valgus, hallux rigidus, infecciones ungueales, ampollas, etc (Cobos-Moreno et al., 2022; V. Schöffl & Küpper, 2013a).

Otro de los efectos a largo plazo del uso de pies de gato puede ser el desarrollo del hallux valgus, encantándose esta alteración en el 53% de los escaladores de alto nivel. La existencia de compresiones mediales a laterales en la zona de antepié provocada por los pies de gato sea responsable de la presión de nervios más profundos, los vasos y estructuras de los tejidos blandos que provocan hormigueo y entumecimiento en hasta el 65% de los escaladores deportivos (Jones et al., 2008; Peters P., 2001; Stelzle et al., 2000).

Afectación del tendón de Aquiles derivado del taloneo provocando así lesiones en esta estructura debido a los múltiples gestos consecutivos. El uso de la región anatómica del empeine durante el impulso implica un trabajo mayor en las articulaciones de las falanges de los dedos de los pies son considerablemente dañadas, puesto que se mantienen en una posición en garra, es decir, flexionando los dedos de los pies, a lo largo de toda la escalada (V. Schöffl et al., 2016).

También puede resultar afectada la aponeurosis plantar o fascia plantar. Esta es una estructura de tejido conjuntivo que surca la planta del pie desde el calcáneo hasta la cabeza de los metatarsianos. Por lo que la prolongada postura forzada del pie puede acarrear alteraciones como la fascitis plantar (Heise-Flecken D. FG., 2016).

1.1.10. Mecanismo de lesión

Tras el estudio de los diferentes tipos de lesiones, es necesario saber cual es el mecanismo mas común de la producción de las lesiones. En la articulación de la rodilla existen lesiones, pero las más frecuentes se dan en el pie, para saber esto es necesario entender los gestos principales en el gesto deportivo de la escalada, como son el taloneo y la posición de rana (Hosaini et al., 2013; V. Schöffl & Küpper, 2013a; V. R. Schöffl & Kuepper, 2006).

En el taloneo el talón es posicionado en el apoyo y se ejerce fuerza en él para levantarse sobre este mediante la flexión de los isquiotibiales. Es durante este gesto donde se ejerce una rotación externa de la rodilla, ejerciendo una gran tensión en las estructuras posteriores y laterales de ésta. Se podría decir que la fuerza ejercida en las estructuras previamente mencionadas, sumado a la angulación a la que es sometida la rodilla, es lo que causa este tipo de lesiones durante el gesto del taloneo (Schöffl et al., 2016).

Mientras que en la posición de la rana las rodillas estarán completamente flexionadas y con una orientación lateral. Siendo las lesiones más comunes en este tipo de posición son los desgarros de menisco, por otro lado, las caídas pueden estar relacionadas tanto con lesiones en articulaciones del tren superior como del tren inferior. Las lesiones de las articulaciones del tren inferior se refieren varían según la modalidad de escalada. Así, en escalada deportiva las lesiones suelen ocurrir porque el escalador golpea la pared tras caer, haciéndolo con las rodillas en extensión (Peters P., 2001).

En la modalidad de bloque, por el contrario, el escalador caerá al suelo, en este caso, las lesiones estarán producidas debido a que el pie se encontrará en una posición de supinación forzada, provocada por el reducido tamaño del pie de gato, y por ello, ante la repentina posibilidad de una caída, las lesiones como esguinces de tobillo aumentan (Peters P., 2001).

1.2. La baropodometría

1.2.1. Orígenes de la baropodometría

El termino de baropodometria procede del griego: baros (peso), podos (pies) y metron (medida). También puede ser conocido como análisis de presiones, fotopodobarometría o podometría, pero siendo el más utilizado baropodometria (Yabar LF et al., 2006).

La baropodometria es el estudio de la distribución de las presiones plantares, a través de una plataforma de registro electrónico. Dentro del análisis podal, la mas utilizada es la baropodometría electrónica, que es la que nos da los registros. En los últimos 20 años este sistema ha experimentado grandes avances, gracias a un proceso de investigación continua y al desarrollo de mejores programas y plataformas de presiones realizadas principalmente en Italia y en otros países de Europa (Hurtado A, 2006).

Los sistemas nos permiten cuantificar la distribución de presiones de la huella plantar de modo más exacto, brindando resultados objetivos, repetitivos, precisos y cuantificables, además de obtener y almacenar la información para su posterior análisis (Yabar LF et al., 2006). Es un procedimiento no invasivo,

repetible y cuantificable, permitiendo estudiar la estática y la marcha de las personas(Hurtado A, 2006).

No será hasta 1965 cuando se inician los primeros estudios en España, los cuales han ido evolucionando hasta la actualidad(Viladot-Pericé A & Viladot-Voegli A., 1990).

1.2.2. La baropodometría

Este análisis nos permite el análisis del paso mediante aparatos como los baropodómetros, permite conocer las presiones que se ejercen en cada uno de los puntos de la superficie plantar, tanto en forma estática como dinámica.

Permite visualizar en tiempo real, durante el desarrollo del paso, tanto la superficie de carga como la línea que se forma desde el centro de gravedad o de empuje corporal (Hurtado A, 2006).

El sistema baropodométrico electrónico no intenta sustituir a la exploración clínica ni a otras exploraciones podológicas o radiológicas, sino que es un método complementario eficaz que, puede ayudarnos a un mejor conocimiento de las afecciones del pie (Yabar LF et al., 2006).

Diversos autores han confirmado mediante trabajos realizados con baropodómetros electrónicos, que todos los metatarsianos soportan cargas y que éstas recaen principalmente en los centrales (Bankoff et al., 2006; Martínez-Nova, Sánchez-Rodríguez, et al., 2007).

En la práctica clínica, ha sido de gran utilidad en los pacientes diabéticos con alteraciones sensitivas, ya que se pueden localizar las zonas de mayor presión y realizar la descarga adecuada para evitar lesiones (Camp A et al., 2006b).

En términos generales, se puede decir que la baropodometría permite determinar cualquier alteración en la distribución de las presiones plantares en el antepié, que se puede traducir clínicamente como metatarsalgias, ya que permite evaluar el déficit funcional del pie y obtener información precisa en relación a sus sollicitaciones mecánicas. Esta posibilidad de conocer la distribución de las presiones sobre la superficie plantar permite también equilibrar terapéuticamente la carga transmitida al pie (Villani C., 2000).

También es de utilidad para la adaptación de ortesis plantares para una adecuada redistribución de la carga (Comín CM, 1999; Domingo LJ., 1998).

Gracias a esta técnica diagnóstica, algunas técnicas quirúrgicas como las empleadas para el tratamiento del hallux abductus valgus han sido modificadas al comprobar la pérdida de apoyo de la falange distal del hallux (Uroz D., 2008), al igual que se han podido comprobar aspectos importantes sobre los resultados quirúrgicos en las fracturas de calcáneo (Lafuente R et al., 2005).

1.2.1.1. Baropodometría estática

El baropodómetro registra la imagen de la huella plantar, define la distribución de cargas entre el antepié y el retropié, del mismo modo que entre el pie izquierdo y derecho de cada individuo analizado. La localización del baricentro (centro de presiones proyectado al interior del polígono de apoyo), así como los puntos máximos de presión para cada extremidad, Permite al mismo

tiempo establecer una escala de estos valores a través de un esquema colorimétrico (Domingo LJ., 1998), véase *ilustración 3*.

Existen estudios que encuentran una importante diferencia a favor de un aumento de carga sobre el pie derecho o izquierdo (Montañola A., 2014; Pasarín A et al., 2005). En cuanto al reparto de presiones en el propio pie, Morton (Morton D., 1948) describe que la presión entre antepié y retropié es equivalente.

Smith muestra la existencia de variabilidad en los valores de distribución de presiones, puesto que éstos se alteran con la posición del pie, y con el balanceo existente en bipedestación estática (Smith JW., 1984).



Ilustración 3. Baropodometría en estática.

1.2.1.2. Baropodometría dinámica

Mide la distribución de las presiones plantares durante la deambulación, valorando distintos aspectos del paso. Permite registrar el análisis morfológico y la línea de progresión del paso (datos cualitativos). Desde una perspectiva cuantitativa, permite obtener información de las presiones ejercidas en diversos

puntos anatómicos de la superficie plantar, y del área de apoyo de cada pie durante la dinámica de la marcha (Oliveira GS et al., 1998), véase *ilustración 4*.

La marcha está compuesta por un ciclo dividido en periodo de apoyo y periodo de oscilación. El periodo de oscilación corresponde al 40% del ciclo, mientras que el periodo de apoyo le corresponde el 60% restante (Koenig et al., 2011).

Los sistemas de análisis baropodométricos permiten analizar aspectos del periodo de apoyo. El periodo de apoyo es el tiempo de apoyo como aquel en que el pie está en contacto con el suelo. Éste comprende desde el momento del contacto de talón hasta el momento en que el mismo pie despega del suelo (Henry J & Hernando M., 2013).

Este a su vez se divide en: a. Fase de apoyo de talón o choque de talón. b. Fase de apoyo medio del pie. c. Fase de apoyo completo del pie. d. Fase de despegue del pie. También se puede clasificar el periodo de apoyo podal en tres fases (Henry J & Hernando M., 2013):

- Recepción de carga: desde que el talón contacta con el suelo hasta que existe apoyo plantar.
- Apoyo medio: desde que inicia el apoyo plantar hasta que inicia la elevación del talón.
- Despegue: desde la fase anterior hasta la elevación de los dedos. En cuanto a la velocidad de la marcha empleada para realizar nuestro estudio, hemos utilizado la marcha espontánea del sujeto, empleada en numerosos artículos (Camp A et al., 2006a; van Uden & Besser, 2004; Zijlstra, 2004).



Ilustración 4. Baropodometría en dinámica.

1.2.3. Uso de la baropodometría

Es necesario recordar que la baropodometría no sustituye a la valoración clínica del paciente, si no que es una técnica complementaria mas para las exploraciones, ayudando a precisar el diagnóstico y permite hacer un seguimiento adecuado. Una aportación importante de la baropodometría es el estudio de las presiones plantares, tanto dinámicas como estáticas, en individuos normales, lo que conduce a la comprensión de la biomecánica del pie normal y su aplicación posterior en procesos patológicos (Hurtado A, 2006).

Diversos autores han confirmado mediante trabajos realizados con baropodómetros electrónicos, que todos los metatarsianos soportan cargas y que éstas recaen principalmente en los centrales (Martínez MA, 1998).

En la práctica clínica este método ha sido de gran utilidad en el tratamiento y control del pie reumático, ya que permite contar con un registro baropodométrico de la evolución de este padecimiento para detectar oportunamente las zonas anormales de hiperpresión, brindarles un tratamiento

específico y evitarles complicaciones por hiperpresión (Rosenbaum et al., 2006), también en los pacientes diabéticos con alteraciones sensitivas es de gran ayuda, ya que se pueden localizar las zonas de mayor presión y realizar la descarga adecuada para evitar lesiones (Frirstch C & Hasbelck M., 2004).

En términos generales, se puede decir que con esta técnica se permite determinar cualquier alteración en la distribución de las presiones plantares en el antepié, que se traducen clínicamente como metatarsalgias, ya que permite evaluar el déficit funcional del pie y obtener información precisa con relación a sus sollicitaciones mecánicas.

La posibilidad de conocer la distribución de las presiones sobre la superficie plantar da oportunidad de equilibrar la carga transmitida al pie (Bus et al., 2004; Hurtado A, 2006).

Otro del uso de esta herramienta es valorar la eficacia de los tratamientos quirúrgicos al permitir comparar objetivamente entre un estado preoperatorio y después del procedimiento, lo que ha dado oportunidad a mejorar las técnicas, no sólo en cirugía de pie y tobillo, sino también en cirugía de rodilla y columna (Comín CM, 1999; Kinner et al., 2002; Martínez MA, 1998).

La medicina deportiva ha encontrado en esta tecnología una herramienta útil para evaluar el desarrollo de los atletas en diferentes disciplinas y mejorar su desempeño, así como la prevención de lesiones. Se utiliza como un complemento en los programas de rehabilitación donde se evalúa la eficacia del tratamiento y permite la modificación de este para obtener un mejor resultado (Hawrylak et al., 2021).

1.3. Biomecánica del primer radio

El primer radio es una unidad funcional formada por el cuneiforme medial y el primer metatarsiano. El primer radio rota sobre un eje que discurre desde la parte medial del dorso del pie, sobre la base del tercer metatarsiano, hasta el tubérculo del escafoides con una inclinación aproximada de con respecto a los planos sagital y frontal(C. H. Johnson & Christensen, 1999; Munuera PV., 2009) .

El primer radio presenta movimientos conjuntos produciéndose inversión junto con la dorsiflexión y eversión junto con la plantarflexión, y siendo aproximadamente iguales la cantidad de dorsiflexión-plantarflexión y la de inversión-eversión(Munuera PV., 2009) .

La importancia de este segmento radica en el funcionalismo que desarrolla en las fases de la marcha de apoyo completo y propulsión, así como por la localización de la articulación metatarsocuneana, la cual se encuentra en la intersección del arco transversal y el arco longitudinal medial del pie(Roukis & Landsman, 2003) .

Con respecto al movimiento del primer radio en carga y descarga existe controversia respecto a los patrones de movimiento, autores como Glasoe et al (W. M. Glasoe et al., 2010) en carga los movimientos serían de dorsiflexión-eversión, plantarflexión- inversión, mientras que para Hicks (Hicks JH, 1953) y Kelso et (Kelso et al., 1982) los movimientos realizados en descarga serian de dorsiflexión-inversión, plantarflexión-eversión.

Glasoe en 2008 cuantificó la orientación del eje del primer radio durante la marcha, estando esto inversamente relacionado con la altura del arco, concluyéndose que el eje del primer radio aumentaba su orientación vertical en pies con arcos bajos, lo que implicaría que el primer radio tenga más movimiento en el plano transversal si el eje es más vertical, lo cual podría favorecer el desarrollo de metatarsus primus varus y por tanto de HAV (Hallux Abductus Valgus, W. Glasoe et al., 2008).

1.3.1. Cinemática del primer radio

El primer radio tiene un componente fundamental en la estabilidad y la integridad estructural del pie. Las estructuras responsables de su estabilidad son los ligamentos plantares, la musculatura extrínseca que se inserta en él, la fascia plantar y los sesamoideos. Estos mejoran su funcionalidad en carga, aumentan la ventaja mecánica de los músculos asociados y ayudan a la propulsión del pie durante el ciclo de la marcha actuando la diferente musculatura del pie y pierna, en función de la fase en la que nos encontremos (Rush et al., 2000; Shibuya et al., 2017; Wong et al., 2014);

En el contacto de talón, el músculo tibial anterior será el que evite la caída del antepié al suelo, haciendo que el primer metatarsiano se encuentra dorsiflexionado, producida a su vez por el momento de flexión plantar que se genera en la articulación del tobillo en este periodo (Munuera PV., 2009).

Durante la fase de apoyo, el retropie está pronando. La eversión del retropie será compensada por la articulación mediotarsiana mediante la supinación alrededor de su eje longitudinal. Cuando esto ocurre, no se produce ningún movimiento en el primer radio (Távora Vidalón et al., 2021).

En la fase propulsiva, el talón se levanta cada vez más y el retropie está supinando. La primera cabeza metatarsiana presiona firmemente sobre los sesamoideos debido a la plantarflexión del primer radio.(Shibuya et al., 2017)

Este movimiento se debe a su vez, a la contracción del músculo peroneo lateral largo, el cual trabaja sinérgicamente con el tibial posterior generando una fuerza compresiva que favorece la estabilidad necesaria para comenzar el periodo propulsivo(C. H. Johnson & Christensen, 1999; Roukis & Landsman, 2003).

Existirá una hiper movilidad e inestabilidad del primer radio debido a cualquier anomalía que impida la flexión plantar del primer radio(Bierman et al., 2001).

1.3.2. Patomecánica del primer radio

1.3.2.1. Primer radio dorsiflexionado

El primer radio dorsiflexionado corresponde a la deformidad que en 1938 Lambrinudi describió con el nombre de metatarsus primus elevatus, haciendo referencia a una deformidad en la que la primera cabeza metatarsiana está elevada respecto al resto de metatarsianos(Lambrinudi C., 1938) .

Partiendo de la base de que los movimientos de dorsiflexionado y plantarflexión del primer radio deben ser similares, se dice que existe un primer radio dorsiflexionado cuando el movimiento de dorsiflexión es mayor que el de

plantarflexión iniciando el movimiento desde la posición neutra del primer radio(K. L. Johnson et al., 2005).

Existen tres tipos de primer radio dorsiflexión:

- Flexible, cuando es capaz de plantarflexionarse y colocarse por debajo del resto de cabezas metatarsales;
- Semiflexible, cuando el primer radio dorsiflexionado solo es capaz de plantarflexionarse hasta el nivel de las demás cabezas metatarsales;
- Rígido, cuando la plantarflexión que tiene no es suficiente ni siquiera para alcanzar el plano de las cabezas del resto de metatarsianos(Munuera PV., 2009)

Aunque la mayoría del movimiento es en dorsiflexión, la capacidad de plantarflexión está muy limitada. En el adquirido, el rango de movimiento (ROM) está limitado, y el primer radio permanece fijo en una posición elevada. La posición dorsiflexionada es mayor cuando es congénito que cuando es adquirido(Roukis & Landsman, 2003) .

1.3.2.2. Primer radio plantarflexionado

Se puede definir como aquella alteración del movimiento en la que la cabeza del primer metatarsiano tiene más recorrido de plantarflexión que de dorsiflexión desde su posición neutra(Munuera PV., 2009) . Michaud categoriza el primer radio plantarflexionado en tres tipos:

- Flexible, el más común, cuando el primer radio plantarflexionado puede dorsiflexionarse y llegar a sobrepasar el plano del resto de cabezas metatarsales;
- Semiflexible, cuando solo es capaz de dorsiflexionarse hasta colocarse en el mismo plano que el resto de las cabezas metatarsales;
- Rígido, cuando la dorsiflexión que tiene no es suficiente para alcanzar siquiera el plano de las cabezas del resto de metatarsianos(Michaud T, 1996).

Se cree que las deformidades del congénito son deformidades estructurales que se desarrollan en fases iniciales de la vida, mientras que, las adquiridas se piensa que suceden mayormente debido a un aumento del tono muscular del peroneo lateral largo, o debilidad del tibial anterior, durante las actividades en carga que, con el tiempo, causa deformidad posicional plantarflexionada adquirida del metatarsiano respecto al plano común de los metatarsianos menores(Kirby KA., 1997) .

1.3.2.3. Primer radio hipermóvil

Se podría definir como un estado de inestabilidad cuando el antepié se encuentra cargando el peso del cuerpo. Cuantificar la movilidad del primer radio no es nada fácil, aunque algunos autores proponen un umbral de movimiento a partir del cual este se considera hipermóvil. Serán 8mm el valor que se considere como límite, cuando haya mas de 8 mm se podría considerar que existe hipermovilidad (Munuera PV., 2009; Tavera-Vidalón et al., 2018).

Clínicamente se puede apreciar un primer radio hipermóvil cuando al explorar manualmente el movimiento del primer radio percibimos que tiene un recorrido mayor de lo habitual, tanto de plantarflexión como de dorsiflexión (Kelikian H., 1965; Munuera PV., 2009).

1.3.3. Exploración del movimiento del primer radio

Existen varias técnicas o dispositivos para medir la movilidad del primer radio. La más utilizada y sencilla es la descrita por Root et al. (Root ML et al., 1991): el examinador mantiene estabilizadas entre su dedo pulgar e índice las 2ª, 3ª, 4ª y 5ª cabezas metatarsales.

Con los dedos pulgar e índice de la otra mano sujeta la cabeza del primer metatarsiano. Se coloca el primer radio en posición neutra (*ilustración 5*) y se observa a qué nivel se encuentran las uñas de los dedos índices del examinador. Seguidamente se realizan los movimientos de flexión dorsal (*ilustración 6*) y flexión plantar máximos (*ilustración 7*), teniendo cuidado de no movilizar la articulación subastragalina (ASA) y mediotarsianas.

De nuevo, se observa a qué nivel se encuentran las uñas de los dedos índices del examinador y se mide la diferencia en milímetros (esta medición generalmente la hace un segundo examinador). Sin embargo, un estudio realizado en 2006 por Shirk et al. (Shirk et al., 2006) revela la baja fiabilidad de este método para determinar la posición y movilidad del primer radio, en especial a la hora de tomar decisiones terapéuticas.



Ilustración 5. Medición con el instrumento de medida. Primer radio en posición neutra.

Por otro lado, en 2008 dos autores (Kim et al., 2008) crean un dispositivo para medir la movilidad del primer radio de una forma similar a la de Root et al. pero, de una manera más fiable. El dispositivo EMC (Eulji Medical Center) consiste en dos pequeñas reglas de plástico: una calibrada y otra que sirve como marcador. El examinador sujeta la regla calibrada con la mano que fija las cabezas metatarsales de 2º a 5º. Con la mano que sujeta la 1ª cabeza metatarsal mantiene la regla que servirá de marcador. Seguidamente se realiza la movilización del primer radio y el examinador podrá cuantificar directamente el rango de movimiento.



Ilustración 6. Medición con el instrumento de medida. Primer radio en máxima dorsiflexión.

Otro método para medir la movilidad del primer radio fue descrito por Fritz et al. en 1995; consiste en utilizar un bloque de madera. Si colocamos este bajo la 2ª a 5ª cabezas metatarsales y dejamos libre la 1ª cabeza, esta tendrá que realizar un movimiento en flexión plantar para apoyar en el suelo, por lo que estaremos midiendo dicha movilidad. Si el bloque de madera lo colocamos bajo la 1ª cabeza metatarsal y dejamos libre el resto, estaremos moviendo el primer radio en flexión dorsal por lo que podremos también medir dicha movilidad. Para ello hemos de hacer 3 radiografías laterales.

Una primera sin el bloque de madera, la cual usaremos como referencia. Una segunda con el bloque de madera bajo las 2ª a 5ª cabezas metatarsales para valorar la flexión plantar. Y una tercera con el bloque de madera bajo la 1ª cabeza metatarsal para medir la flexión dorsal. Se comparan las 2ª y 3ª radiografías con la 1ª de control y se mide el rango de movimiento del primer radio. Sin embargo, un inconveniente importante de este método es la necesidad de radiar en repetidas ocasiones al paciente (Fritz & Prieskorn, 1995).



Ilustración 7. Medición con el instrumento de medida. Primer radio en máxima flexión plantar.

En 2020 se patentó un nuevo instrumento de medida del primer radio, el cual presenta características similares en cuanto a su forma y tamaño a las creadas por los distintos autores que hemos encontrado en la literatura. Este, a diferencia de los anteriores si se coloca en la zona dorsal del antepié, colocando la rama mas corta sobre la cabeza del primer metatarsiano, y la rama mas larga sobre el resto de cabeza de los metatarsianos. Una vez conseguida la posición neutra de las cabezas se procede a medir los movimientos de flexión dorsal y flexión plantar del primer radio (Munuera-Martínez et al., 2020).

1.4. Biomecánica de la primera articulación metatarsofalángica

La articulación metatarsofalángica (AMTF) del primer dedo es condilar biaxial y está formada por la primera cabeza metatarsiana y la base de la falange proximal del primer dedo (Cornwall & McPoil, 2002; Maestro et al., 2008; Munuera PV., 2009).

Esta articulación está reforzada con los ligamentos colaterales, la placa plantar, la fascia plantar y los dos sesamoideos. Los sesamoideos se sitúan proximalmente a la articulación, debajo de la cabeza metatarsal. Envueltos dentro del flexor corto del primer dedo, distribuyen el peso y proporcionan la palanca esencial para aumentar el torque de la musculatura intrínseca (W. M. Glasoe et al., 2010).

Presenta dos ejes distintos de movimiento, uno alrededor del eje vertical que producen los movimientos de abducción y aducción del primer dedo, que son en la mayoría de las ocasiones movimientos pasivos y uno alrededor del eje

transverso, que se encuentra cerca del cuello anatómico del metatarsiano, se producen los movimientos de flexión y extensión.

El movimiento más importante de los que tienen lugar en la 1ª AMTF es el que se produce en el plano sagital, en especial el movimiento de extensión, ya que permite que el periodo propulsivo pueda llevarse a cabo en condiciones óptimas, siendo imprescindible para la función normal del pie durante la marcha (Munuera PV., 2009).

1.4.1. Cinemática de la primera articulación metatarsofalángica

Las AMTF constituyen una de las zonas rotacionales que permiten el avance continuo del cuerpo hacia delante sobre el pie de apoyo. Durante el contacto de talón, la zona rotacional inicial es la superficie plantar del talón. Esto permite que el centro de gravedad se traslade desde detrás del pie apoyado hasta justo sobre él. Cuando el talón comienza a elevarse, se vuelve a cambiar a las articulaciones metatarsofalángicas, que funcionan como punto de giro para conseguir una adecuada longitud del paso y una correcta fase propulsiva (Maestro et al., 2008; Munuera PV., 2009).

Durante la marcha, se estima que se necesita un mínimo de 60° - 65° de extensión metatarsofalángica para que la fase de propulsión se desarrolle con normalidad y cuando esa movilidad está limitada se produce patología. En descarga, la extensión pasiva normal de la 1ª AMTF está entre los 70° y 90° (Bojsen-Møller & Lamoreux, 1979; Buell et al., 1988; Root ML et al., 1991).

1.4.2. Patomecánica de la primera articulación metatarsofalángica

1.4.2.1. *Hallux abductus valgus (HAV)*

Descrita por Heuter en 1871 como una contractura en abducción, en la que el dedo gordo, desviado lateralmente, se aleja del plano medio del cuerpo. El HAV se caracteriza por la subluxación de la 1ª AMTF con desviación lateral del primer dedo, plantarflexión y eversión (Heuter C., 1983).

Acompañado de una desviación medial del primer metatarsiano con dorsiflexión e inversión y frecuentemente asociado a una prominencia medial y dorsal de la cabeza del primer metatarsiano denominada juanete (Munuera PV., 2009).

1.4.2.2. *Hallux limitus*

Se caracteriza por proliferación ósea y degenerativa, por la presencia de dolor y por una disminución progresiva del rango de movimiento de dorsiflexión de la 1ª AMTF. Si la movilidad se ve limitada solamente cuando el pie está en carga se le denomina Hallux Limitus Funcional, y si la limitación del movimiento está presente tanto en carga como en descarga se le denomina Hallux Limitus Estructural (Durrant & Chockalingam, 2009; Padilla Urrea et al., 2011).

También se puede tener en cuenta los grados de movilidad que tiene la articulación siendo en estática menor de 20º Hallux Limitus Estructural y menor de 65º en dinámica, rango mínimo para una correcta propulsión, Hallux Limitus Funcional (Geng et al., 2015; King & Toolan, 2004).

1.4.3. Exploración de la primera articulación metatarsofalángica

La exploración de esta articulación se puede llevar a cabo tanto en carga como en descarga.

Para la exploración en descarga, El paciente se situará en decúbito supino o sedestación en la camilla, y con el pie en posición relajada, ya que cualquier intento de colocar el tobillo en posición neutra (*ilustración 8*), podría provocar que el paciente intentara contribuir a mantener dicha posición, mediante la contracción del tibial anterior, lo cual provocaría una dorsiflexión del primer radio y podría influir en los resultados, ya que con el primer radio dorsiflexionado el primer dedo pierde capacidad de extensión (Benhamú S, 2011; Lafuente G., 2006; Munuera et al., 2006).

Para esta medición empleamos un goniómetro de dos ramas. Se trata de un instrumento de medida formado por dos ramas móviles que valoran el movimiento en torno a un centro de giro, punto de unión entre las dos ramas. Se coloca el centro del goniómetro en el centro de la cabeza del primer metatarsiano, la rama proximal se coloca paralela a la bisección del primer metatarsiano fijándola al pie con una mano, y la rama distal o móvil se coloca paralela a la bisección de la falange proximal manteniéndola fijándola al dedo con la otra mano.

Desde la posición relajada se lleva el dedo junto con la rama distal del goniómetro hacia la máxima extensión (*ilustración 9*), permitiendo que el primer radio se plantaflexione para que el movimiento de extensión se produzca en su totalidad (Lafuente G., 2006; Novel Martí V & Ogalla Rodríguez JM., 1993; Viudas, 2011).



Ilustración 8. Medición de la primera articulación metatarsofalángica. Posición neutra.

A continuación, desde la posición relajada se lleva el dedo junto con la rama distal del goniómetro hacia la máxima flexión dorsal (*ilustración 10*), permitiendo que el primer radio se doriflexione para que el movimiento de flexión se produzca en su totalidad (Lafuente G., 2006; Novel Martí V & Ogalla Rodríguez JM., 1993; Viudas, 2011).

Para la exploración en carga se colocará al paciente sobre el banco de marchas y utilizando al igual que en el caso anterior, un goniómetro de dos ramas. Las ramas del goniómetro se colocarán de la siguiente manera: situaremos la rama distal o móvil junto a la bisectriz de la falange proximal y la rama proximal en la bisectriz del primer metatarsiano.

La fuerza que se ejerce para llevar la articulación metatarsofalángica en dorsiflexión será aplicada a nivel de la falange proximal (Munteanu & Bassed, 2006).

Existen dos maneras de realizarlas. Una de ellas se realiza con el paciente en estática y la otra es en bipedestación simulando la marcha con el pie a medir por delante del otro.

Otras formas de valorar la 1ª AMTF en carga es que en lugar de tomar como referencia la bisectriz del primer metatarsiano, establece como puntos referencia la bisectriz de la falange proximal y la superficie de apoyo (el suelo).

Dicho autor afirma que de este modo evitamos que se produzcan deslizamientos de la piel durante la medición, impidiendo que los resultados obtenidos sean erróneos (Lafuente G., 2006).

Por otro lado, Roukis (Roukis et al., 1996) y Vallotton (2010) (Vallotton et al., 2010) diseñaron un goniómetro específico para valorar el rango articular de la primera articulación metatarsofalángica en cadena cinética cerrada, este instrumento reproduce mediciones repetidas desde la posición cero cuantas veces se desee de forma rápida.

La medición de la primera articulación metatarsofalángica es independiente de la inclinación del primer radio y evita la realización de marcas en la piel con la consiguiente posibilidad de error debido al movimiento de las partes blandas durante la medición.

Por otro lado, Goniómetro de O' Brien. diseñó un goniómetro que anclado al calzado permitía valorar la primera articulación metatarsofalángica en dinámica. Se aplicará fuerza a nivel de la falange proximal del hallux para evitar compensaciones y mediciones erróneas como consecuencia de la hiperextensión de algunas falanges distales.

Deslizaremos el miembro inferior a valorar hacia adelante para simular con mayor exactitud “el paso” durante la marcha (Smith et al., 2004).



Ilustración 9. Medición de la primera articulación metatarsofalángica. Posición flexión plantar.



Ilustración 10. Medición de la primera articulación metatarsofalángica. Posición flexión dorsal.

CAPÍTULO 2: Objetivos

Los objetivos de este estudio de investigación se han dividido en objetivo principal y objetivos secundarios.

2.1. Objetivo general

1. Determinación de la prevalencia de lesiones en el pie relacionadas con la practica de la escalada deportiva en rocódromo en la provincia de Cáceres (Extremadura).

2.2. Objetivos específicos

1. Determinación de la fiabilidad y repetibilidad de la plataforma de presiones Podoprint®, utilizada para obtener y analizar las variables del estudio.
2. Identificar las lesiones crónicas del pie relacionadas con la práctica de la escalada deportiva en rocódromo.
3. Análisis de las diferencias morfo-funcionales, si existen, del pie del escalador frente a un grupo no escaladores (grupo control),

SEGUNDA PARTE

ESTUDIO DE CAMPO Y RESULTADOS

CAPÍTULO 3: Primer manuscrito

Este manuscrito está publicado en: Paula Cobos-Moreno, Álvaro Astasio-Picado, Alfonso Martínez- Nova, Raquel Sánchez- Rodríguez, Elena Escamilla-Martínez, Beatriz Gómez-Martín. The Podoprint® plantar pressure platform: Evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameters. Journal of Tissue Viability, 2022 , ,ISSN 0965-206X, <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2022.07.005>.

PODOPRINT®: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE NORMALIDAD Y EVALUACIÓN DE FIABILIDAD.

3.1. Introducción

El estudio de las presiones plantares es un procedimiento cada vez más popular tanto en el ámbito clínico como en el de la investigación (M. P. D. Castro et al., 2014; Xu et al., 2015).

La técnica utilizada, la baropodometría, consiste en medir y analizar las fuerzas de reacción que el suelo ejerce sobre el pie sometido a cargas. Las mediciones se realizan a través de sensores de presión que registran la distribución de las cargas y presiones sobre los pies en las diferentes zonas establecidas para su estudio (M. Castro et al., 2013).

La definición de las presiones plantares es útil para permitir la identificación de las zonas del pie sometidas a mayor presión, para determinar la intensidad y la duración de dicha presión, y para determinar la distribución de las cargas en condiciones estáticas y dinámicas (Neto et al., 2015).

Ejemplos del uso de estos sistemas en la práctica clínica son para distinguir la marcha patológica de la normal (Giacomozzi et al., 2009), para clasificar los tipos de pies (Sánchez-Rodríguez et al., 2012), para evaluar el éxito de las cirugías correctivas (Xu et al., 2015), o para diseñar ortesis de pie (Yeo & Bonanno, 2014).

En la investigación, su uso se orienta al análisis cuantitativo del pie en condiciones estáticas o dinámicas(Izquierdo-Renau et al., 2017a; Pérez-Soriano et al., 2011).

En este último caso específicamente, permite estudiar la marcha cinéticamente, y puede complementarse con métodos cinemáticos para aumentar el análisis(Xu et al., 2017).

Durante el desarrollo de la marcha, permite visualizar en tiempo real tanto la zona de carga como la línea que se forma a partir del centro de gravedad o del empuje del cuerpo(Comín CM, 1999; Domingo LJ., 1998).

La técnica permite un análisis no invasivo del paciente, y devuelve resultados rápidos con altos niveles de precisión, fiabilidad y repetibilidad(M. Castro et al., 2013; Gurney et al., 2008; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007). Sin embargo, hay que tener en cuenta que se trata de un método caro, ya que el precio de los sensores de la plataforma es elevado, son muy sensibles al uso (lo que implica costes de mantenimiento añadidos) y se requiere un software específico para el procesamiento de los datos(Kenny et al., 2012).

Actualmente, existen varios sistemas de medición de la presión plantar en el mercado: basados en plataformas (Novel Emed®, TekScan MatScan®, Medicapteurs S-Plate®, RS-Scan Footscan® y Poprint®) (M. P. D. Castro et al., 2014; Izquierdo-Renau et al., 2017a; Xu et al., 2017; Zammit et al., 2010) y basados en el calzado (Novel Pedar®, Tekscan F-Scan®, RS-Scan Insole®, WalkinSense® e IBV Biofoot®) (Maetzler et al., 2010; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007; Ramanathan et al., 2010; Sánchez-Rodríguez et al., 2012).

La mayoría han demostrado ser herramientas fiables para cuantificar las presiones plantares dinámicas (M. P. D. Castro et al., 2014; Comín CM, 1999; Ramanathan et al., 2010; Xu et al., 2017).

La correlación interclases (CCI) y los coeficientes de variación (CV) son criterios que han sido utilizados por muchos investigadores para evaluar si la fiabilidad y la repetibilidad de sistemas como WalkinSense®, Pedar®, Emed®, Footscan® o S-plate® son aceptables (M. P. D. Castro et al., 2014; Comín CM, 1999; Ramanathan et al., 2010; Xu et al., 2017) Es importante evaluar la validez, fiabilidad y eficacia de los sistemas de presión (Gurney et al., 2008).

El sistema Podoprint®, aunque se utiliza comúnmente en la práctica clínica y ha habido publicaciones científicas en las que se ha registrado su uso, hasta ahora no ha habido evidencia científica del rendimiento, la fiabilidad y la repetibilidad del sistema (Ramanathan et al., 2010).

La única publicación científica reciente en este sentido (y que informó de la excelente fiabilidad de la plataforma Podoprint®) fue la de un estudio realizado en pacientes con discrepancias en la longitud de las piernas (Zammit et al., 2010).

No existe ninguna publicación anterior que aborde la repetibilidad del sistema de la plataforma Podoprint® de forma exhaustiva y en pacientes sanos, ni se han identificado rangos de valores de presión plantar normales en pies no patológicos. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la fiabilidad y la repetibilidad de la plataforma de presión Podoprint®, y posteriormente proceder a identificar los valores normales de presión plantar en individuos sanos.

3.2. Métodos

3.2.1. Diseño y Muestra

Se propuso un estudio descriptivo, transversal y prospectivo para evaluar las presiones plantares de la planta del pie divididas en zonas de estudio, así como para valorar la fiabilidad y repetibilidad de la plataforma de presiones utilizada.

La muestra del estudio estaba compuesta por cincuenta y dos individuos sanos (n= 52), 10 hombres y 42 mujeres elegidos al azar. Los criterios de inclusión fueron: ser estudiantes de Podología de la Universidad de Extremadura (UEX), tener jornadas de prácticas de igual duración, y vestir ropa y calzado clínico similar (como marca el uniforme clínico establecido por el protocolo de la propia clínica) y que tuvieran una pisada normal, es decir, valores normales de FPI (foot posture index), cuyo valor normal debe estar entre 0-5).

Teniendo en cuenta estos aspectos se igualan las condiciones externas que pueden afectar de alguna manera a los resultados del estudio. Los criterios de exclusión fueron aquellos individuos que refirieran haber tenido dolor de pies en los últimos seis meses, que hubieran sido operados de pies y/o piernas, que sufrieran alguna alteración morfofuncional en el pie o la pierna, o que tuvieran alteraciones de la marcha.

Todos los participantes participaron voluntariamente. Se le realizó un examen clínico previo al estudio para poder aplicar los criterios de inclusión y exclusión. También se registraron sus datos antropométricos, como la edad, el sexo, la altura y el peso.

3.2.2. Equipo y Procedimiento

El estudio de presión plantar se realizó con la plataforma de presión Podoprint® (Grupo Namrol, Barcelona, España). Este sistema consiste en una plataforma portátil (dimensiones 570×570 mm y 9 mm de grosor, peso 3,8 kg) cuyos 1600 sensores permiten al usuario realizar estudios estáticos y dinámicos completos.

Sus sensores de alta sensibilidad son capaces de capturar 200 imágenes por segundo y transmitir las al ordenador conectado a través de una red Wi-Fi. Las imágenes se extraen del software de la plataforma Podoprint®, y en ellas se puede observar la huella plantar de cada sujeto de estudio.

Esta huella contiene variantes de color confirmadas a la presión registrada, siendo los colores calientes (rojo, naranja y amarillo) los registros de presiones más altas y los colores fríos (azul y verde) los registros de zonas con menor presión registrada. Además, las presiones registradas se pueden observar cuantitativamente a medida que el explorador mueve el cursor del ordenador por las diferentes zonas de estudio.

El software también permite evaluar otros parámetros como; centro de gravedad del sujeto, tiempo de apoyo, distribución de la carga del pie, línea de progresión de la marcha, superficie de apoyo, etc. (*Ilustración 11*). Estas imágenes son procesadas por el software propio del fabricante para Windows®.

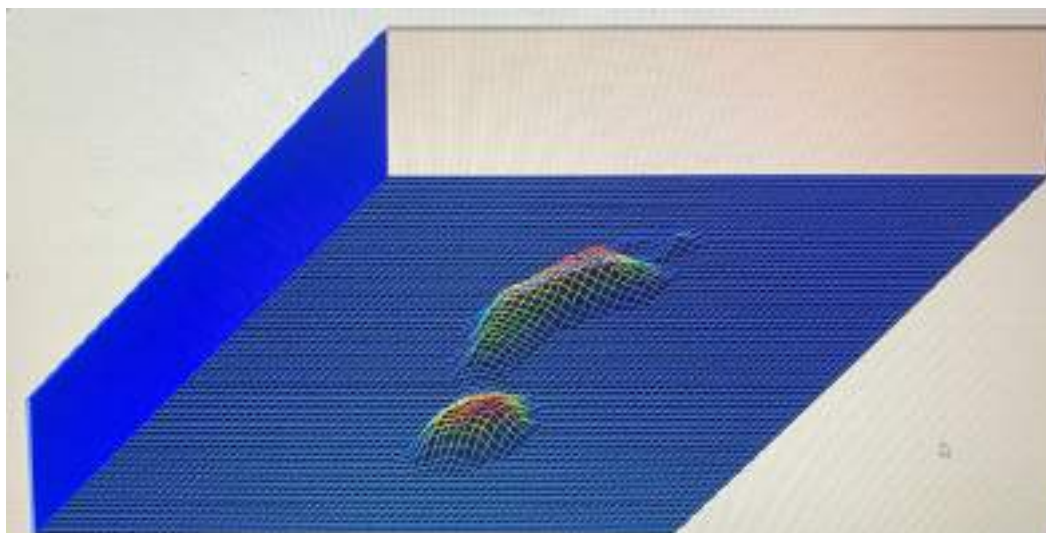


Ilustración 11. Imagen tridimensional de la captura plantar.

La plataforma se instaló en el centro de un pasillo de 20 metros de largo, lo que permitió a los individuos caminar con su propia cadencia de pasos, a un ritmo constante, y sin problemas de espacio que pudieran perjudicar el registro de datos o distorsionar la marcha del sujeto.

A todos los participantes se les indicó que caminaran por el pasillo con la mayor naturalidad posible y que evitaran dar pasos en falso. Ensayaron durante 10 minutos antes de poner en marcha el software para la recogida de datos (Hughes et al., 1991; Ramanathan et al., 2010).

Para evitar los sesgos de muestreo derivados del uso de calzado, todos los participantes realizaron la prueba descalzos. Al principio de cada sesión de muestreo, se calibró el equipo de acuerdo con las directrices del fabricante. La captura de la presión plantar se inició cuando el paciente caminó de forma natural, registrando ocho pasos al azar en cada sesión (4 pasos con el pie derecho y 4 pasos con el pie izquierdo), un número suficiente para proporcionar fiabilidad a las presiones plantares (M. P. D. Castro et al., 2014; Hughes et al., 1991; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007; Xu et al., 2017)¹

De cada conjunto de cuatro pasos registrados a través del sistema de pasos múltiples, se tomó la imagen más clara y precisa para su análisis y para obtener los datos necesarios para el estudio.

Para cada participante, se registraron los datos de dos sesiones separadas por 7 días, lo que garantizó que las características de la marcha de los participantes se mantuvieran en el tiempo¹⁸. Las dos sesiones se realizaron a la misma hora del día. Se tomaron tres conjuntos de datos en cada sesión para calcular la media aritmética y minimizar los sesgos intra-exploradores (M. Castro et al., 2013; van der Leeden et al., 2004). Todos los registros fueron recogidos por el mismo observador. Un registro se consideró válido y fiable sólo si había al menos dos huellas completas para cada pie.

3.2.3. Consideraciones éticas del estudio

Este estudio contó con la aprobación del Comité de Bioética de la Universidad de Extremadura (España), y fue planificado y realizado siguiendo los principios éticos de la Declaración de Helsinki²⁹. Todos los participantes firmaron una declaración de consentimiento informado antes de participar en el estudio.

3.2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadístico

Tras registrar y almacenar las presiones plantares de cada sujeto y las imágenes generadas de las correspondientes huellas plantares, estos datos se estudiaron con el software Podoprint® (*Ilustración 12*).

Para analizar la distribución de la presión plantar, el software divide el pie en tres zonas: apoyo del talón, apoyo del mediopié y apoyo del antepié (Huang et al., 2017). Se generaron tres variables de estudio para cada paso registrado: superficie de apoyo, presión máxima y presión media. Las presiones se expresan en g/cm², unidades que impone el fabricante en su forma de registrar los datos (Hafer et al., 2013; Jeans et al., 2017).

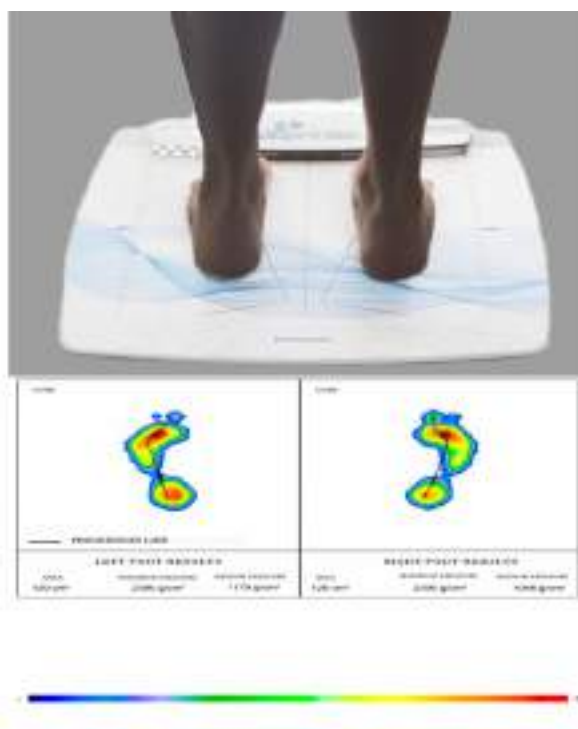


Ilustración 12. Datos del software de la plataforma de presiones.

Tras comprobar la normalidad de los datos de las variables de estudio (gráficos de normalidad y test de Kolmogorov-Smirnov), se realizaron análisis estadísticos con el paquete de software SPSS versión 21.0 para Windows®.

Se calcularon la media y las desviaciones estándar de las variables para su análisis descriptivo. Para evaluar la fiabilidad, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y la correlación entre las dos sesiones.

El nivel de significación considerado para la fiabilidad y la repetibilidad se tomó como $r > 0,831$. Para mantener la independencia de las variables, sólo se eligió el pie izquierdo de cada participante para el estudio de los datos (Jeans et al., 2017).

Para evaluar las diferencias sistemáticas entre los registros se utilizó la prueba t paramétrica pareada para medidas repetidas en dos momentos.

3.3. Resultados

Participaron en el estudio 52 voluntarios sanos (10 hombres y 42 mujeres) de 20 a 33 años. Su edad media fue de $23,48 \pm 2,9$ años, su peso medio fue de $64,85 \pm 11,61$ kg y su altura media de $166,70 \pm 8,97$ cm (*Tabla 2*).

	Primera sesión (MEDIA DESVIACIÓN)			Segunda sesión (MEDIA DESVIACIÓN)		
	S	PM	PX	S	PM	PX
TALÓN	27,5 ± 5,48	757,67 ± 165,69	1367,39 ± 396,93	27,47 ± 6,05	765,62 ± 161,18	1377,95 ± 382,43
MEDIOPIE	77,95 ± 12,37	749,24 ± 122,35	1520,37 ± 385,60	77,80 ± 13,09	756,62 ± 118,40	1528,19 ± 400,23
ANTEPIE	57,34 ± 9,16	1112,19 ± 151,79	2486,09 ± 527,85	56,16 ± 9,97	1116,84 ± 148,42	2487,19 ± 553,48

(S= superficie; PM = presión media; PX = presión máxima)

Tabla 2 Media y desviación típica

Los valores medios de superficie, presión media y presión máxima de los tres registros realizados en cada sesión (dos sesiones separadas en el tiempo por 7 días) se recogen en la *Tabla 3*. El tiempo medio de contacto de los pasos fue de $0,72 \pm 0,07$ segundos.

La mayor presión máxima se produjo bajo el antepié, con una media de $2487,19 \pm 527,80$ g/cm². Es importante señalar que la zona del talón fue la que soportó la menor presión máxima del pie en su conjunto.

También se puede observar en la tabla que no hubo diferencias significativas entre las dos sesiones (valor $p > 0,05$) en las medias de las presiones plantares medias y máximas ni en las superficies.

En cuanto a la repetibilidad dentro de la sesión, los valores de ICC (r) en los tres ensayos repetidos dentro de la misma sesión fueron superiores a 0,823 (*Tablas 4 y 5*). Los ICC (r) más elevados correspondieron a la presión máxima, y los más bajos a las áreas de superficie de apoyo del pie.

VARIABLE	PRIMERA SESION		SEGUNDA SESION		P VALUE
	MEDIA	DESVIACIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN	
PM TALÓN (g/cm ²)	757,68	165,69	765,62	161,82	0,233
PM MEDIOPIE (g/cm ²)	749,24	122,35	756,62	118,40	0,394
PM ANTEPIE (g/cm ²)	1112,19	151,79	1116,84	148,42	0,870
PX TALÓN (g/cm ²)	1367,40	396,93	1377,95	382,43	0,187
PX MEDIOPIE (g/cm ²)	1520,39	385,60	1528,19	400,23	0,955
PX ANTEPIE (g/cm ²)	2486,09	527,85	2487,19	553,48	0,379
SUPERFICIE TALÓN (cm ²)	27,50	5,48	27,47	6,05	0,915
SUPERFICIE MEDIOPIE (cm ²)	77,95	12,3	77,80	13,07	0,109
SUPERFICIE ANTEPIE (cm ²)	57,34	9,1	56,16	11,97	0,380

PM = PRESIÓN MEDIA; PX = PRESIÓN MÁXIMA

Tabla 3. Values p-value for the study means between both sessions.

VARIABLE	MEDIA	DESVIACIÓN	ICC (95% CI)
PM TALÓN (g/cm ²)	757,68	165,69	0,90 (0,858-0,942)
PM MEDIOPIE (g/cm ²)	749,24	122,35	0,911 (0,864-0,945)
PM ANTEPIE (g/cm ²)	1112,19	151,79	0,8541 (0,770-0,911)
PX TALÓN (g/cm ²)	1367,40	396,93	0,962 (0,941-0,976)
PX MEDIOPIE (g/cm ²)	1520,39	385,60	0,956 (0,932-0,973)
PX ANTEPIE (g/cm ²)	2486,09	527,85	0,975 (0,961-0,985)
SUPERFICIE TALÓN (cm ²)	27,50	5,48	0,880 (0,818-0,925)
SUPERFICIE MEDIOPIE (cm ²)	77,95	12,3	0,873 (0,799-0,923)
SUPERFICIE ANTEPIE (cm ²)	57,34	9,1	0,918 (0,872-0,949)

PM = presión media; PX = presión máxima; ICC = coeficiente correlación interclase; 95% CI= 95% intervalo de confianza

Tabla 4. Repetibilidad de las variables de estudio en la segunda sesión.

VARIABLE	MEDIA	DESVIACIÓN	ICC (95% CI)
PM TALÓN (g/cm ²)	765,62	161,82	0,921 (0,878-0,951)
PM MEDIOPIE (g/cm ²)	756,62	118,40	0,902 (0,851-0,940)
PM ANTEPIE g/cm ²)	1116,84	148,42	0,88 (0,830-0,930)
PX TALÓN g/cm ²)	1377,95	382,43	0,952 (0,942-0,976)
PX MEDIOPIE g/cm ²)	1528,19	400,23	0,943 (0,939-0,955)
PX ANTEPIE g/cm ²)	2487,19	553,48	0,857 (0,769-0,901)
SUPERFICIE TALÓN (cm ²)	27,47	6,05	0,813 (0,725-0,881)
SUPERFICIE MEDIOPIE (cm ²)	77,80	13,07	0,948 (0,919-0,968)
SUPERFICIE ANTEPIE (cm ²)	56,16	11,97	0,898 (0,840-0,936)

PM = presión media; PX = presión máxima; ICC = coeficiente correlación interclase; 95% CI= 95% intervalo de confianza

Tabla 5. Repetibilidad de las variables del estudio en la segunda sesión.

En cuanto a la repetibilidad entre sesiones, los valores de CCI y CV fueron superiores a 0,85 (rango 0,86-0,96) e inferiores al 20% (rango 12-16%), respectivamente (*Tabla 6*).

	MEDIA	DESVIACIÓN	ICC (95% CI)	CV (%)
PM TALÓN (g/cm ²)	761,65	162,38	0,961 (0,942-0,981)	16
PM MEDIOPIE (g/cm ²)	752,93	118,42	0,932 (0,889-0,962)	14
PM ANTEPIE (g/cm ²)	1114,52	144,96	0,865 (0,776-0,921)	12
PX TALÓN (g/cm ²)	1372,67	388,90	0,951 (0,942-0,982)	15
PX MEDIOPIE (g/cm ²)	1524,28	386,68	0,936 (0,892-0,963)	14
PX ANTEPIE (g/cm ²)	2486,64	537,82	0,966 (0,952-0,977)	15
SUPERFICIE TALÓN (cm ²)	27,48	5,61	0,894 (0,823-0,918)	15
SUPERFICIE MEDIOPIE (cm ²)	77,87	12,51	0,879(0,879-0,929)	16
SUPERFICIE ANTEPIE (cm ²)	57,21	9,00	0,952 (0,918-0,972)	13

PM = presión media; PX = presión máxima; ICC = coeficiente correlación interclase; 95% CI= 95% intervalo de confianza; CV= Coeficiente de Variación.

Tabla 6. Repetibilidad de las variables de estudio entre las dos sesiones.

3.4. Discusión

Recientemente se han realizado algunos estudios de investigación relacionados con el pie que han utilizado la plataforma Podoprint® (Pereiro-Buceta et al., 2021; Sánchez-Sáez et al., 2019a). Aunque señalan la importancia de la fiabilidad y reproducibilidad de los aparatos utilizados en este campo de

investigación, no justificaron estadísticamente la fiabilidad y reproducibilidad específicas de esta plataforma. Algunos incluso evitaron calibrar el aparato antes de registrar los datos(Xu et al., 2017).

Hay muchas plataformas en el mercado que se utilizan para evaluar cuestiones similares. La plataforma utilizada, sin embargo, es una herramienta muy utilizada en las clínicas podológicas que aún no cuenta con validación científica publicada en revistas internacionales con altos índices de calidad (aunque sí cuenta con avales científicos en revistas no indexadas). Es por ello que los autores han decidido poder transmitir, a través de una publicación de gran relevancia, la viabilidad y repetibilidad de esta herramienta a la comunidad científica.

En el presente estudio, no sólo se ha demostrado la fiabilidad y repetibilidad del sistema Podoprint®, sino que también se han identificado los valores normales de la presión plantar del pie en una población sana para las tres zonas estudiadas: 2487,19 g/cm² (243,19 kPa) por debajo de la zona del antepié, 1528,19 g/cm² (149,2 kPa) por debajo de la zona del mediopié y 1377,95 g/cm² (135,9 kPa) por debajo de la zona del talón. Como estadística descriptiva, el CCI se utiliza ampliamente para cuantificar la repetibilidad de las mediciones.

Según algunas contribuciones científicas(JR Landis & GG Koch, 1977; Watkins MP & Portney L, 2009) , se puede considerar que los valores de CCI entre 0,40 y 0,60 indican una fiabilidad moderada, y entre 0,80 y 1,00 una fiabilidad óptima. Para otros autores^{16,35}, un CCI debe ser al menos de 0,75 para ser tomado como indicativo de fiabilidad, y la probabilidad de obtener mediciones válidas aumenta siempre que las evaluaciones clínicas impliquen un CCI superior a 0,9036. Los resultados presentados en este estudio muestran una

fiabilidad y una repetibilidad superiores a 0,8 en todos los análisis. Todos los CCI fueron superiores a 0,81 e inferiores a 0,93.

Los autores de estudios sobre las presiones plantares afirman que las mediciones pueden verse afectadas por cambios fisiológicos en la actividad muscular, la postura y la velocidad de la marcha(Izquierdo-Renau et al., 2017a; Pérez-Soriano et al., 2011; Sánchez-Rodríguez et al., 2012).

Por lo tanto, una sola prueba no es suficiente para obtener los parámetros dinámicos del pie de una muestra. El promedio de varias pruebas reduce la variabilidad de los patrones de la marcha(Sánchez-Gómez et al., 2020).

Otros autores han sugerido que tres registros son suficientes para obtener un resultado consistente(van der Leeden et al., 2004). En el presente estudio, el protocolo marcado y luego aplicado consistió en tres registros, cada uno de los cuales comprendía cuatro pruebas de cada pie (esto fue posible gracias a la opción "multipasos" proporcionada por el fabricante del sistema Podoprint®).

Publicaciones recientes sobre la fiabilidad de los sistemas de análisis computarizado de la marcha para las mediciones realizadas en días diferentes encontraron valores de CCI entre sesiones superiores a 0,89 para las medias del área de apoyo total10, 251, siendo el mayor CV el 13%(Gurney et al., 2008).

En el presente estudio, la repetibilidad entre sesiones fue extremadamente alta. Para todas las variables dinámicas medidas, los CCI fueron siempre superiores a 0,88 y el mayor CV fue del 16%, similar a los resultados mencionados de estudios anteriores. No hubo diferencias en las medias entre la primera y la segunda sesión, con todos los valores $p > 0,05$. Todas las variables evaluadas fueron muy homogéneas.

La presión máxima (Px) es el parámetro de presión plantar más fiable (Maetzler et al., 2010; Xu et al., 2017). En el presente estudio, la mayor presión se produjo bajo la región del antepié y la menor bajo el talón. Estos resultados coinciden con la mayoría de los autores en que el antepié presenta las mayores presiones plantares (Maetzler et al., 2010; Neto et al., 2015; Sánchez-Rodríguez et al., 2012; Xu et al., 2017).

Este patrón parece ser la distribución normal de la presión bajo las diferentes zonas del pie en individuos sanos (Izquierdo-Renau et al., 2017b; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007). Es importante señalar que los pies con presiones plantares por encima o por debajo de los valores normales son indicativos de posibles lesiones (Hughes et al., 1993; Nagel et al., 2008).

Los resultados del tiempo de contacto difieren de los reportados en la literatura que, aunque antiguos, dan valores de 0,6 segundos (Michaud T, 1996) o 0,81 segundos (Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007). En el presente trabajo se encontró un tiempo de contacto medio de 0,72 segundos. Esta diferencia puede deberse a que el aparato utilizado estaba fijado al suelo, mientras que en los estudios mencionados consistía en plantillas móviles instrumentadas que se introducían en el calzado del participante.

3.5. Limitaciones y Fortalezas

Este estudio presenta algunas limitaciones. La muestra del estudio era de pequeño tamaño, por lo que habrá que ser cautos en cualquier comparación de sus resultados con estudios posteriores de muestras más grandes. Además, todos los participantes eran adultos jóvenes sanos, por lo que los resultados no pueden

extrapolarse a otro tipo de población con edades o condiciones clínicas diferentes. No se controló la velocidad de la marcha de cada sujeto, para no sesgar los resultados al modificar sus propios patrones de marcha establecidos. Sin embargo, esto puede considerarse una limitación del estudio, ya que se consideró que cada paciente tenía una velocidad de marcha diferente.

No obstante, hay que destacar como fortaleza del estudio la fiabilidad y repetibilidad del sistema Podoprint®, así como la identificación de presiones plantares que se corresponden con parámetros de normalidad, y que por tanto pueden servir como referentes para establecer valores patológicos a través de futuras líneas de investigación.

*CAPÍTULO 4: Segundo
manuscrito*

Este manuscrito está publicado en: Cobos-Moreno P, Astasio-Picado Á, Gómez-Martín B. *Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing.* **International Journal of Environmental Research and Public Health.** 2022; 19(7):4302. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074302>

Estudio epidemiológico de las lesiones del pie en la práctica de la escalada deportiva.

4.1. Introducción

Los orígenes de la escalada tienen poco que ver con el deporte. Precisamente, los primeros escaladores pueden considerarse los científicos que, durante los siglos XVIII y XIX, descubrieron gran parte de las montañas más importantes del mundo (Canalejo Couceiro, 2010).

La escalada es un deporte multidisciplinar, en el que el objetivo principal es alcanzar el punto más alto de una pared rocosa o llegar al final de una ruta establecida (Michailov, 2014).

Se pueden diferenciar diferentes tipos de modalidades (Schffl et al., 2010; Wall et al., 2004): la escalada deportiva y la escalada tradicional, en la que el escalador alcanza la "cima" de la ruta y luego desciende, con el matiz de que en la escalada deportiva se utilizarán anclajes fijos mientras que en la tradicional el escalador debe proteger la caída fijando él mismo los anclajes a la roca (Canalejo Couceiro, 2010; Michailov, 2014; Schffl et al., 2010).

La escalada deportiva tal y como la conocemos hoy en día surgió en las décadas de los 80 (Antonioli, 1998; Wall CB, 2004). La existencia de rocódromos a partir de los años 60 supuso un verdadero impulso a la evolución de la disciplina. Siendo en 1991 cuando se celebró la primera competición internacional de escalada en Frankfurt, Alemania (Michailov, 2014). A pesar de estos inicios, no fue hasta 1998 cuando se introdujeron oficialmente modalidades

como el Boulder en el ámbito de la competición internacional, según la web oficial de la Federación Internacional de Escalada y Deportes de Montaña (IFSC).

Cabe destacar que, desde las primeras competiciones tanto de Boulder como de escalada deportiva, la participación femenina ha estado presente (Draper et al., 2008).

La escalada deportiva se ha hecho muy popular en los últimos años, siendo practicada por personas de todo tipo y edad. Esta popularidad puede deberse a factores como: el aumento de eventos competitivos o la integración de la escalada como deporte olímpico en los Juegos de Tokio. En la escalada se realizan sucesiones de movimientos acíclicos que buscan el desplazamiento del cuerpo, donde participan activamente tanto las manos como los pies (Bertuzzi et al., 2007).

La federación de dicho deporte promovió el diseño y construcción de presas sintéticas, ubicadas en instalaciones deportivas que simulan las irregularidades geográficas de un espacio natural; lo que hoy se conoce como rocódromo.

En cuanto a los movimientos del tren inferior, se pueden encontrar diferentes gestos técnicos cuyo objetivo principal es acercar el centro de gravedad a la pared. Así, uno de estos gestos es el de escoramiento, que consistirá en el apoyo del talón en una sujeción del pie. Por el contrario, en el determinado gesto de "punta", se hará presión contra una presa del pie utilizando la parte dorsal del mismo. A pesar de que la mayoría de las lesiones en escalada se detectan en las extremidades superiores, articulaciones como la rodilla también reciben un alto nivel de estrés durante la ejecución de algunos de los gestos técnicos mencionados (Bertuzzi et al., 2007).

Es necesario tener en cuenta la graduación de la dificultad de la escalada, ya que ésta puede tener cierta relación con la tasa de lesiones. Además, las diferentes dificultades de la escalada en la naturaleza son accesibles a cualquier rango de edad. Los riesgos y las precauciones que se tomen respecto a esta práctica deportiva afectarán directamente a la epidemiología de las lesiones relacionadas con su práctica (Fuster i Matute & Elizalde Agurruza, 1995).

Es muy importante dedicar un tiempo adecuado a los estiramientos antes y después de la actividad física para ayudar a prevenir la aparición de algunas de estas lesiones. Realizar un calentamiento progresivo en el que la actividad aumente gradualmente ayudará a fortalecer los tendones y los músculos. Ya que el principal efecto del calentamiento es aumentar la temperatura de los músculos que se van a ejercitar (Bollen, 1988).

Esto da a estas estructuras una mayor flexibilidad y, por lo tanto, una menor susceptibilidad a los desgarros en caso de grandes esfuerzos. Otro efecto del calentamiento es aumentar la conciencia de la posición y el movimiento de las articulaciones. Debido a que, como se ha mencionado anteriormente, este factor es de gran importancia en cuanto al riesgo de lesiones, el calentamiento adquiere gran importancia en la prevención de éstas (Bannister & Foster, 1986). Otras técnicas como la aplicación de un poco de frío tras el ejercicio por sus múltiples beneficios o el vendaje de la zona afectada pueden prevenir la aparición de tendinitis u otra lesión típica relacionada con la escalada (Fuster i Matute & Elizalde Agurruza, 1995).

Los tipos de medidas preventivas disponibles para evitar las lesiones mencionadas. La combinación de estas medidas junto con un conocimiento

adecuado de los mecanismos de las lesiones puede reducir considerablemente el riesgo de incidencia. De este modo, se evitarán ciertas conductas además de tomar las medidas necesarias en caso de molestias para no agravar más el daño (Draper et al., 2009). La escalada es un deporte de creciente popularidad por lo que la incidencia de lesiones relacionadas con ella puede aumentar, por lo que es conveniente conocer el tipo de lesiones que pueden sufrir los escaladores, pudiéndose agudas o crónicas (Bannister & Foster, 1986; Bollen, 1988).

En la actualidad las lesiones traumáticas se han vuelto poco frecuentes debido a las mejoras en el material utilizado en este deporte. Aunque hay que tener en cuenta que muchas de las lesiones se producen por la elevación de los límites físicos y las dificultades de los tramos (Sylvester et al., 2006) .

El auge que ha causado la escalada al incluirla en las Olimpiadas de Tokio como deporte hace que cada vez más personas quieran practicar este deporte, lo que implica que el no conocer bien este deporte puede lesionarlos. De ahí la importancia de este estudio para evaluar las posibles lesiones comunes en el pie del escalador y poder prevenir estas lesiones en el tiempo.

Para la literatura, este estudio sería muy interesante debido a la escasez de estudios sobre patologías crónicas en el pie debido a la práctica de la escalada. la literatura se ha centrado en las extremidades superiores, dejando olvidada la extremidad inferior, que no es menos importante. destacando una vez más que el pie es una de las partes más importantes del cuerpo y es importante conocer estas lesiones para prevenirlas o evitar que se agraven.

El objetivo de este estudio es identificar las lesiones más frecuentes en los pies de los escaladores y determinar si existe una relación entre las lesiones que aparecen y el tiempo de práctica de dicho deporte.

4.2. Métodos

4.2.1. Diseño y Muestra

Se realizó un estudio descriptivo, transversal y prospectivo. La población de estudio está formada por cincuenta y tres escaladores (n=53): 32 hombres y 21, correspondientes a los escaladores de la FEXME (Federación Extremeña de Montaña y Escalada) que practican principalmente la escalada en rocódromo. La FEXME es un miembro representativo de la FEDME (Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada).

Los criterios de inclusión aplicados fueron: Practicar la escalada desde hace más de 2 años, practicar la escalada al menos 2 días por semana, estar federado en la FEXME. Mientras que. Los criterios de exclusión fueron: tener un problema de salud que altere nuestra muestra ó tener dolor activo en la extremidad inferior en el momento de la toma de muestras

4.2.2. Equipo y Procesamiento

Las encuestas se administraron entre febrero y marzo de 2021 en el rocódromo Cereza Wall de Plasencia (Cáceres). Para determinar los diagnósticos se realizan pruebas exploratorias clasificadas según las variables a estudiar.

Por un lado, las variables recogidas mediante cuestionarios: edad, sexo, años de escalada, tiempo de entrenamiento, lugar de escalada, talla de calzado, número de pies, modelo de gato y escala de dolor (mecánico y visual). Por otro lado, las variables por inspección son alteraciones morfoestructurales (hallux

valgus, hallux limitus, dedos en garra), alteraciones dermatológicas (ampollas, problemas ungueales, patrones hiperqueratósicos, hematomas) y alteraciones ungueales.

Las enfermedades consideradas para el análisis estadístico fueron las más frecuentes: alteraciones cutáneas, ungueales, articulares y dolor al subir. El diagnóstico se basó en los signos y síntomas clínicos y fue determinado por un único examinador. A partir de estos datos, se realizó un estudio epidemiológico de las enfermedades del pie en los escaladores.

4.2.3. Consideraciones éticas del estudio

El Comité de Bioética y Bioseguridad de la Universidad de Extremadura (UEx) ha revisado y aprobado los protocolos de evaluación y tratamiento de los datos incluidos en el presente estudio. Fue aprobado por el comité el 3 de marzo de 2021. Está registrado con el número 15/2021.

Todos los sujetos cuentan con el consentimiento informado. El estudio fue diseñado respetando los principios de la declaración de Helsinki. Además, en el tratamiento de los datos de los pacientes, sólo se han manejado los del sujeto implicado imprescindibles para el estudio, descartando datos como el nombre o la historia clínica del paciente para garantizar el cumplimiento de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y el Real Decreto 5/2018, de 27 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de esta. Además, los datos clínicos manejados en esta investigación han sido tratados con la máxima confidencialidad y custodia de la información de acuerdo con lo establecido en la Ley 41/2002, de 14 de noviembre, Básica Reguladora de la Autonomía del Paciente.

Todos los participantes aceptaron voluntariamente participar en el estudio. Los sujetos fueron sometidos a un examen clínico previo al estudio para poder aplicar los criterios de inclusión/exclusión. También se registraron los datos antropométricos de los sujetos, como la edad, el sexo, la altura y el peso.

4.2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadístico

Todos los datos se introdujeron a partir de las encuestas en papel en una hoja de cálculo de Excel utilizando Microsoft Excel 2010. Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS versión 21.0 para iOS®.

El análisis descriptivo de los datos incluyó el cálculo de la frecuencia y la mediana. Se utilizó la Chi-cuadrado para la asociación de variables con un 95% de confianza, en la que un nivel de $p < 0,05$ fue la confianza estadísticamente significativa.

4.3. Resultados

La muestra estaba formada por 32 hombres y 21 mujeres (60% y 40%, respectivamente). La edad media de la muestra fue de 27,5 años, con una desviación de 12. La media del peso y la Altura era de 57.75 kg +- 16.94 y 1.62m +- 17.10, respectivamente.

Todos los encuestados practican la escalada deportiva en rocódromo, aunque el 60% también practica la escalada en roca. La media de horas de entrenamiento a la semana es de 6,6 horas, siendo 15 horas el máximo número de horas encontrado y el mínimo 3 horas (*Figura 1*).

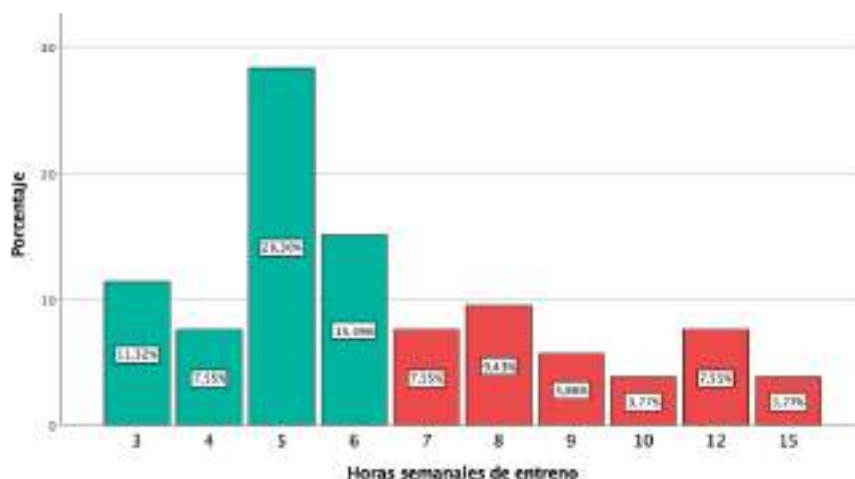


Figura 1. Frecuencia de las horas de entrenamiento semanales.

La media de años de escalada es de 7 años (Figura 2). El número máximo de años es de 22 y el mínimo de 2.

Casi el 70% de las personas encuestadas tienen algún tipo de alteración o lesión en el pie. De los cuales el 40% son hombres y el 60% restante mujeres (Figura 3).

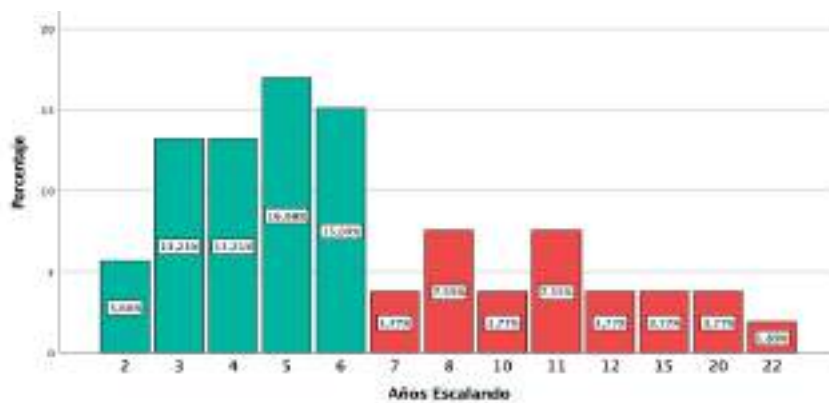


Figura 2. Frecuencia de los años de práctica de la escalada.

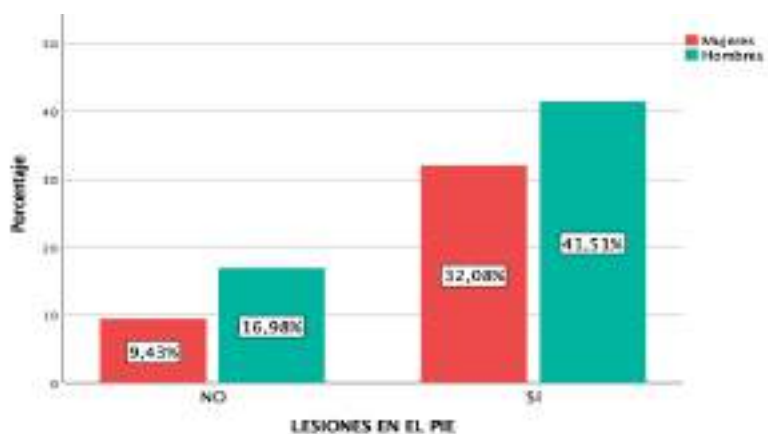


Figura 3. Frecuencia de las lesiones en el pie del escalador.

Las lesiones digitales más frecuentes son los dedos en garra con un 59%, alteración que provocaba metatarsalgias en los escaladores. Las lesiones cutáneas más frecuentes son la bursitis del primer dedo del pie con un 62% de los encuestados, siendo más frecuente en aquellas personas que utilizaban zapatos más pequeños y que tenían un mayor grado de dificultad para escalar. Y la lesión articular más frecuente con un 52% es el Hallux limitus, frente al 40% del Hallux valgus. (*Tabla 7*).

	LESIÓN ARTICULACIÓN	LESIÓN DÉRMICA	LESIÓN DIGITAL	LESIÓN UÑA
SI	68	62	68	15
TIPO DE LESIÓN	GARRA (86,7%) MAZO (13,3%)	BURSITIS DEL HALLUX (100%)	LIMIRTUS (%) HAV (40%) RIGIDUS (8%)	HEMATOMA SUBUNGUEAL (100%)

Tabla 7. Porcentaje del tipo de lesiones en el pie del escalador.

Otro dato importante que destacar es la presencia de hiperqueratosis en los pies del escalador, siendo la cabeza del primer dedo la zona de aparición más frecuente con un 51,3%, seguida del dorso de los dedos con un 21,6%.

Las alteraciones ungueales estaban presentes en el 15% de los escaladores, siendo las más frecuentes los hematomas subungueales y las onicodistrofias como la onicomycosis. Destacando que las alteraciones más graves se relacionaron con las personas que tenían mayor grado de dificultad en la práctica de la escalada. El esguince de tobillo se encuentra sólo en el 5% de los participantes, considerándolo poco frecuente en comparación con otras lesiones.

Los años de práctica de escalada tienen una asociación significativa con la presencia de lesión ($p=0,035$), por lo que a mayor número de años de práctica de escalada mayor es la probabilidad de lesión (*Tabla 8*), sin embargo, no existe asociación entre la presencia de lesión atribuible a la edad cronológica ($p=0,534$).

Años escalando		Menos de 7 años	Mas de 7 años	TOTAL
¿Lesiones?	si	38,48%	61,52%	38
	NO	85,72%	14,28%	14
Chi-cuadrado				0,035*

Tabla 8. Tabla de contingencia y test de Chi-cuadrado para la asociación entre la presencia de lesión y los años de práctica de la escalada. *Nivel de significación.

Otro dato relevante en nuestro estudio es la presencia de dolor durante la práctica de la escalada, el 45% de los participantes afirman tener dolor durante la práctica y que este dolor se encuentra en el primer dedo del pie.

4.4. Discusión

A continuación, y siguiendo la misma estructura establecida en la presentación de los resultados, se procede a la discusión de estos. Así, en primer lugar, procederemos a valorar el porcentaje de sujetos que presentan lesiones en los pies con la práctica de la escalada, seguido de qué tipo de lesiones son las más

frecuentes, para finalizar si existe o no relación entre los años de práctica de la escalada y las horas de entrenamiento con la aparición de estas lesiones.

Según el primer objetivo planteado, se ha descubierto que las lesiones más frecuentes en la práctica de la escalada son los dedos en garra, seguidos de la bursitis del primer dedo y el hallux limitus, encontrando únicamente una relación de la aparición de lesiones con los años de práctica de la escalada. Siendo un deporte que va ganando popularidad. A medida que aumenta el número de participantes, también habrá un mayor número de lesiones que deberán ser tratadas de una u otra forma (Antonioli, 1998; Michailov, 2014; Schffl et al., 2010; Wall CB, 2004).

El presente estudio evaluó a la población de escaladores, considerando todas las alteraciones más frecuentes en el pie frente a variables subjetivas, como horas de entrenamiento, años de práctica de escalada, sexo, edad cronológica. Una de las limitaciones presentes en el estudio es que se trata de un estudio únicamente clínico y realizado por un único escalador.

En la actualidad, la mayor parte de la literatura previa se centra en las lesiones agudas relacionadas con las caídas (Jones et al., 2008), y hay pocos estudios asociados a las lesiones crónicas del pie del escalador que informen sobre la prevalencia de estas lesiones, de ahí la realización de este estudio (Maitland, 1992; Rohrbough et al., 2000b).

Existen varios estudios, pero se centran en la extremidad superior más que en la inferior, y es importante destacar que la extremidad inferior es la parte del cuerpo más importante en la escalada, aunque se crea lo contrario, algo que ya afirmaron Neuhof y Volker (Neuhof et al., 2011; V. Schöffl & Küpper, 2013).

En el presente estudio, el 70% de los participantes tenía algún tipo de lesión crónica en el pie, el 40% presente en los hombres y el 30% en las mujeres. Es importante destacar que había un 20% más de hombres que de mujeres, por lo que las mujeres se lesionan más que los hombres, algo que ya demostró Grønhaug G en sus estudios de 2016 y 2018 (Grønhaug, 2018; Grønhaug & Norberg, 2016) . Estos autores creían que la razón de esta diferencia era el momento de la lesión puede deberse a la anatomía del pie en las mujeres frente a los hombres, pero esto no está claro y se necesita más investigación(Grønhaug, 2018a) .

Las diferencias anatómicas en el tobillo pueden explicar la diferencia en las lesiones de tobillo y pie notificadas. Las zapatillas de escalada se fabrican principalmente para el tobillo masculino, lo que crea un punto de presión más tenso y estresante en el tendón de Aquiles femenino. Esta sugerencia se ve apoyada por la alta prevalencia de lesiones de pie/tobillo entre los escaladores de ruta en este estudio ((Neuhof et al., 2011).

Las lesiones crónicas más comunes encontradas en el estudio fueron los dedos en garra, el hallux valgus, seguidos de alteraciones dérmicas como la bursitis del hallux valgus y algunas alteraciones ungueales. Estas patologías también fueron descritas por Largiader y Schöffl hace años en sus estudios (V. Schöffl & Schöff, 2012; U Largiadèr & O Oelz, 1993) .

En ellos se destaca la necesidad de conocer la importancia de qué tipo de lesiones tenemos y cómo prevenirlas, ya que las lesiones de la extremidad inferior seguían siendo frecuentes y posiblemente más graves que las de la extremidad superior. Largiader también hace referencia a la existencia de lesiones agudas como los traumatismos y esguinces de tobillo, afirmando que

son una de las lesiones más recurrentes en los escaladores, sin embargo, en nuestro estudio menos del 10% había sufrido un esguince o traumatismo de calcáneo (Largiadèr & O Oelz, 1993) .

En este estudio se observó que cuanto mayor era el tiempo de escalada, mayor era la probabilidad de que se produjeran lesiones; este hecho también fue observado por Grønhaug G y Neuhof en sus estudios, respectivamente(Grønhaug, 2018a; Grønhaug & Norberg, 2016a; Neuhof et al., 2011). Los hallazgos anteriores de una mayor tasa de incidencia de lesiones entre los atletas más experimentados debido a más horas de entrenamiento y movimientos más extremos al escalar.

Hay investigaciones que se centran en el dolor de pies durante la escalada y que relacionan este dolor con el uso de zapatos que no se ajustan bien o son demasiado apretados (Jones et al., 2008; McHenry et al., 2015). Este estudio confirma estos hallazgos e informa de una mayor prevalencia de dolor de pies durante la escalada, con un 45% de los participantes experimentando dolor de pies, lo que puede ser atribuible al calzado mal ajustado que se elige habitualmente para la actividad de escalada.

Por lo tanto, los escaladores profesionales y de élite son más propensos a las lesiones que los principiantes. Según estos autores, la causa de esto se debe a que no hay suficiente tiempo para que los tendones se adapten entre sesiones, lo que hace que los microtraumas inducidos por el entrenamiento se agraven, aumentando significativamente el riesgo de lesión(McHenry et al., 2015).

4.5. Limitaciones y Fortalezas

En cuanto a las limitaciones del estudio, aunque los resultados obtenidos son concluyentes en cuanto a los objetivos previamente marcados, un número de muestra mayor podría arrojar resultados más concluyentes. La heterogeneidad entre los participantes hace que los resultados encontrados deban tomarse con cautela. Esto justifica por sí mismo la realización de futuras investigaciones.

En contraposición, como fortaleza del estudio, destaca el carácter inédito de esta investigación para la aportación a la población científica. La mayoría de los artículos publicados en la actualidad tratan sobre las lesiones de escalada en la extremidad superior, y los que tratan sobre la extremidad inferior se centran en las lesiones agudas y no en las crónicas como se hace en este estudio, de ahí la novedad. Este estudio aporta la identificación de las lesiones más frecuentes en relación a los años con la práctica de la escala, que puede servir de referencia para establecer lesiones crónicas comunes en el pie del escalador a través de futuras líneas de investigación. líneas de investigación.

CAPÍTULO 5: Tercer manuscrito

Este manuscrito está publicado en: Cobos-Moreno, P.; Astasio-Picado, Á.; Gómez-Martín, B. *Pathophysiological Behaviour of the Climber's Foot versus the General Population: A Prospective Observational Study.* **Healthcare.** 2022; **10(5):** 868.
<https://doi.org/10.3390/healthcare10050868>

Comportamiento fisiopatológico del pie de escalador frente a la población general

5.1. Introducción

Los orígenes de la escalada tienen poco que ver con lo que conocemos hoy, ya que los primeros escaladores pueden considerarse los científicos que, durante los siglos XVIII y XIX, descubrieron muchas de las montañas más importantes del mundo (Canalejo Couceiro, 2010) . Sin embargo, fue en la década de 1980 cuando nació la escalada deportiva tal y como la conocemos hoy (Wall et al., 2004; Wall CB, 2004).

La escalada deportiva es un deporte en auge, en el que el número de participantes aumenta constantemente (Annual Report IFSC, 2019). Alrededor de 1985 se celebraron las primeras competiciones de escalada en roca. En 2021, la escalada se considerará disciplina olímpica por primera vez en los Juegos Olímpicos de Tokio.

La escalada eficiente requiere un buen juego de pies; tanto las piernas como los pies están diseñados para soportar el peso del cuerpo, los brazos no. A pesar de que la afirmación anterior destaca la mayor importancia de los pies sobre los brazos, los estudios se centran más en las lesiones de las extremidades superiores. Aprender a colocar los pies de forma óptima reduce la tensión en los antebrazos y posiciona el cuerpo para alcanzar eficazmente el siguiente punto de agarre. Además, prestar atención a los pies es importante para evitar posibles lesiones en caso de resbalón (Donahoe Topher LC., 2014).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a veces, el error no reside en la técnica, sino en la calidad del pie de escalada, lo que proporciona un mal agarre y complica el agarre efectivo (Sheldon D., 2014).

La mayor parte de la escalada en roca y la escalada alpina solían realizarse con botas de montaña, que eran de cuero y eliminaban cualquier sensibilidad, además de hacer mucha fuerza con los dedos del pie para impulsarse. Muchas de las lesiones que aparecen en los pies de los escaladores se deben al resultado de utilizar zapatos de escalada de forma poco natural o de tamaño insuficiente. La pequeña puntera mantiene el pie en una posición inestable y supinada, y la delgadez del zapato provoca sensibilidad en el pie (V. Schöffl & Küpper, 2013b).

Los zapatos de escalada se ajustan como una segunda piel, para obtener este ajuste, los escaladores aceptan el dolor durante y después de la escalada (Peters P., 2001; V. Schöffl & Küpper, 2013). Además, los pies sufren mucha presión en el deporte, sobre todo debido al uso de las zapatillas de escalada. Este exceso de compresión puede acabar provocando alteraciones en la primera articulación metatarsofalángica o en el primer radio del pie (Grønhaug, 2018a; Neuhofer et al., 2011). Existen varias herramientas validadas científicamente para valorar clínicamente estas alteraciones como el goniómetro (Menadue et al., 2006; Munuera-Martínez et al., 2020), el medidor del primer radio (Munuera-Martínez et al., 2020) o la plataforma de presión (Hughes et al., 1991).

Existe poca referencia bibliográfica que hable de las lesiones del pie debidas a la práctica de la escalada. Existen publicaciones recientes que describen lesiones relacionadas con el uso de zapatillas de escalada. Las lesiones traumáticas son las más frecuentes. Las lesiones pueden clasificarse como agudas o crónicas. Las lesiones agudas más comunes son: Contusión, fractura de

calcáneo, fractura de astrágalo, fractura de tobillo, esguince de tobillo con lesión del ligamento lateral, etc. Mientras que las lesiones crónicas más comunes son: hiperqueratosis, helomas, dedos en garra, lesiones de la inserción del tendón de Aquiles, fasciopatías. Además de, la existencia de dolor en las uñas de los pies, así como hematomas subungueales, uñas distróficas, onicolisis ungueales, hallux valgus, hallux rigidus, infecciones ungueales, ampollas, etc (Cobos-Moreno et al., 2022; V. Schöffl & Küpper, 2013).

La baropodometría es una técnica que permite analizar la marcha mediante dispositivos como los baropodómetros, permitiendo conocer las presiones ejercidas en cada uno de los puntos de la superficie plantar, tanto de forma estática como dinámica. Permite visualizar en tiempo real, durante el desarrollo de la marcha, tanto la superficie de carga como la línea que se forma a partir del centro de gravedad o empuje del cuerpo. El sistema baropodométrico electrónico no pretende sustituir a la exploración clínica ni a otros exámenes podológicos o radiológicos, sino que es un método complementario eficaz que puede ayudarnos a comprender mejor los trastornos del pie (Bankoff et al., 2006). Varios autores han confirmado mediante trabajos realizados con baropodómetros electrónicos que todos los metatarsianos soportan cargas y que éstas recaen principalmente en los metatarsianos centrales.

En el ámbito de la investigación, su uso está orientado al análisis cuantitativo del pie, ya sea estático o dinámico (Izquierdo-Renau et al., 2017a). Específicamente en dinámica, permite el estudio de la marcha desde el punto de vista cinético, pudiendo complementarse con métodos cinemáticos para un análisis más completo (Xu et al., 2017). Permite visualizar en tiempo real, durante el desarrollo de la marcha, tanto la superficie de carga como la línea formada a partir del centro de gravedad o del empuje del cuerpo. Esta técnica permite analizar al sujeto de forma no invasiva y obtener resultados rápidos con un alto

nivel de precisión, fiabilidad y repetibilidad (M. Castro et al., 2013; Gurney et al., 2008; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007), datos que serán útiles para estudiar cómo se comporta el pie del escalador en comparación con el grupo de no escaladores y para la podología preventiva ante las lesiones que aparecen en el pie al practicar este deporte (Uroz D., 2008).

Por ello, el objetivo principal de esta investigación es observar cómo se comporta el pie del escalador frente a un grupo no escalador (grupo control), comparando tanto las presiones plantares del primer radio como las presiones de la primera articulación metatarsofalángica, ya que la evidencia científica previa ha demostrado que son las estructuras anatómicas que más se ven afectadas por la práctica de este deporte.

5.2. Métodos

5.2.1. Diseño y Muestra

Este estudio sigue las cuatro líneas principales según Hernández-Sampieri (Hernández-Sampieri R., 2013) y Argimon y Jiménez (Argimón J & Jiménez J., 2013). Se trata de un estudio no experimental, observacional, transversal, descriptivo y prospectivo. Dentro del tipo de diseño del estudio, hay un grupo de escaladores (casos) y un grupo de no escaladores (controles), y comparamos ambos grupos con respecto a los factores de estudio. Todos los miembros fueron seleccionados al azar.

La muestra del estudio estaba formada por 105 personas, un total de 210 pies (42 hombres y 63 mujeres). El grupo de control estaba formado por 52

personas y el grupo de escalada por 53 personas. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión a la población participante.

En el grupo de escaladores, los criterios de inclusión fueron: llevar al menos dos años escalando, escalar al menos dos días a la semana y ser miembro de una federación de escalada. Del mismo modo, el criterio de inclusión para el grupo de control era ser un paciente sano (sin antecedentes de patología).

Para ambos grupos, los criterios de exclusión fueron tener un problema de salud o dolor activo en la extremidad inferior. El estudio se llevó a cabo entre enero de 2021 y noviembre de 2021. Se llevó a cabo en diferentes modalidades, primero se reclutó a la población no escaladora en las instalaciones de la clínica podológica universitaria de Plasencia, y luego se reclutó a los escaladores en el rocódromo Cerezwall de Plasencia.

5.2.2. Cálculo del tamaño de la muestra

Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la fórmula: $n = \frac{2S^2(Z\alpha + Z\beta)^2}{d^2}$ se aplicó una desviación estándar (S) basada en un estudio piloto previo $Z\alpha$: Error típico I; $Z\beta$: Error típico II; D: Diferencia mínima que se desea detectar. De ello se concluyó que se necesitaban al menos 53 sujetos para cada grupo para poder realizar una comparación que cumpliera estos requisitos.

5.2.3. Equipo y Procedimiento

Se registraron los datos antropométricos: edad, sexo, altura y peso al inicio del estudio, que se recogieron en la hoja de registro. Para evitar diferencias en las mediciones de presión, todos los participantes realizaron la prueba descalzos. El

estudio de las presiones plantares se realizó con la plataforma de presiones Podoprint® (Grupo Namrol, Barcelona, España). Este sistema consiste en una plataforma portátil, con unas dimensiones de tan sólo 570mm x 570mm y 9mm de grosor y un peso de 3,8 kg, que permite al usuario realizar completos estudios estáticos y dinámicos gracias a sus 1600 sensores.

Esta plataforma cuenta con sensores de alta sensibilidad capaces de capturar 200 imágenes por segundo y transmitir las al ordenador conectado a través de la red Wifi. Las imágenes capturadas son procesadas por el software propio del fabricante para Windows®.

La plataforma se instaló en una superficie de 20 metros de largo, plana y sin obstáculos, lo que permitió a los sujetos caminar a su propio ritmo de marcha, a un ritmo constante y sin problemas de espacio que pudieran perjudicar el registro de datos o distorsionar la marcha del sujeto (Izquierdo-Renau et al., 2017a). Se instruyó a todos los participantes para que caminaran por la pasarela con la mayor naturalidad posible para evitar sesgos en la propia marcha de cada paciente. Los participantes realizaron una prueba piloto antes del inicio de la sesión de recogida de datos de 10 minutos (Izquierdo-Renau et al., 2017a; Peters P., 2001). Para evitar el sesgo de muestreo debido al uso de calzado, todos los participantes realizaron la prueba descalzos.

Al comienzo de cada sesión de muestreo se calibró el equipo según las directrices del fabricante. La captación de las presiones plantares se inicia cuando el paciente camina de forma natural, registrando ocho pasos de forma aleatoria en cada sesión (4 pasos con el pie derecho y 4 pasos con el pie izquierdo), número suficiente para dar fiabilidad a las presiones plantares (Bankoff et al., 2006; Neuhof et al., 2011; Peters P., 2001), de los cuatro pasos que salen del

sistema multipaso tomaremos la imagen más clara y precisa para el análisis de la imagen y la obtención de los datos necesarios para el estudio.

Se obtienen tres registros diferentes para calcular la media aritmética y minimizar el sesgo intra-explorador (Pérez-Soriano et al., 2011; Xu et al., 2017). Todos los registros fueron recogidos por el mismo observador. Después de cada medición, se comprobó que el registro se había completado correctamente, evitando así posibles errores o falsos apoyos. Una vez que era correcto, se continuaba con el siguiente registro. El registro se consideraba válido y fiable sólo si había al menos dos huellas completas para cada pie.

Para la valoración del primer radio se utiliza un medidor de movilidad del primer radio validado científicamente para cuantificar el grado máximo de flexión plantar y dorsal en milímetros de esta articulación (V. Schöffl & Küpper, 2013b). Para ello, el sujeto estará en posición decúbito supino sobre la mesa de exploración con el tobillo relajado y la articulación subtalar en posición neutra. Con una mano el explorador sujeta el miembro largo sobre las cabezas de los metatarsianos segundo a quinto, y con la otra mano sujeta el miembro corto sobre la cabeza del primer metatarsiano. En esta posición movemos la cabeza del primer metatarsiano hasta su máxima flexión dorsal y luego hasta su máxima flexión plantar, tomando los milímetros que se mueve en ambas direcciones. La medición se realiza tres veces para cada sujeto con el fin de establecer una media aritmética al estudiar esta variable.

Para la valoración de la articulación metatarsofalángica se utiliza un goniómetro de dos brazos como instrumento científicamente validado (Padilla Urrea et al., 2011). La técnica exploratoria se realiza según la literatura científica utilizando la técnica indicada para ello (M. Castro et al., 2013). Como en las

técnicas exploratorias anteriores, se recogieron tres registros para poder calcular el valor medio al estudiar la variable.

La técnica fue realizada por dos exploradores diferentes, uno con 5 años de experiencia, mientras que el segundo tiene más de 20 años de experiencia. Ambos exploradores realizaron varias pruebas antes de la recogida final de datos para reducir el sesgo inter e intra explorador.

5.2.4. Consideraciones éticas del estudio

Todos los sujetos firmaron el consentimiento informado y aceptaron voluntariamente participar en el estudio. Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Extremadura (España), y fue planificado y realizado de acuerdo con los principios éticos de la Declaración de Helsinki. Fue aprobado por el comité el 3 de marzo de 2021 con el número de aprobación 15/2021.

5.2.5. Procesamiento de datos y análisis estadístico

Todos los datos se introdujeron a partir de las encuestas en papel en una hoja de cálculo de Excel utilizando Microsoft Excel 2010. Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS versión 21.0 para iOS®. Se calcularon las medias y las desviaciones estándar de las variables para el análisis descriptivo. Las pruebas no paramétricas utilizadas fueron la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, la prueba de Friedman y la prueba U de Mann-Whitney. Para evaluar la fiabilidad entre evaluadores, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI). Se consideró significativo para los análisis estadísticos de este estudio y para la fiabilidad de la plataforma Podoprint®, $r > 0,831$,

5.3. Resultados

La muestra para este estudio consistió en primer lugar en 120 individuos seleccionados al azar. Se establecieron dos grupos: grupo de control y grupo de escaladores. Los datos fueron recogidos por dos exploradores diferentes. Se excluyeron 15 sujetos por no cumplir con todos los criterios de inclusión, por lo que la muestra final que comprende el estudio fue de 105 (42 hombres y 63 mujeres). La edad media de la muestra es de 25,53 9,528 y el índice de masa corporal de 22,463,51 (*Tabla 9 y 10*).

	HOMBRE n= 32		MUJER n= 21		Total, n= 53	
	MEAN ± DS (95% CI	VALOR P	MEAN ± DS (95% CI	VALOR P	MEAN ± DS (95% CI	VALOR P
EDAD	29,22±2,21 (24,69-33,74)	0,200	25,00± 2,87 (19,01-30,99)	0,078	27,55±1,76 (24,01-31,09)	0,051
IMC	22,49±0,41 (21,36-23,62)	0,200	19,76 ±0,74 (18,20-21,31)	0,200	21,41 ± 0,32(20,45-22,37)	0,200

DS = Desviación Estándar; IC del 95 % = intervalo de confianza del 95 % Países europeos

Tabla 9. Datos descriptivos de los participantes del estudio que muestras características demográficas y antropométricas según el sexo - grupo casos

	HOMBRE n= 10		MUJER n= 42		Total, n= 52	
	MEAN ± DS (95% CI	VALOR P	MEAN ± DS (95% CI	VALOR P	MEAN ± DS (95% CI	VALOR P
EDAD	23,50 ±0,93 (21,39-25,61)	0,014	23,48± 0,49 (22,55-24,40)	0,010	23,48±0,40 (22,66-24,30)	0,001
IMC	24,00±0,31 (23,30-24,70)	0,104	23,42 ±0,54 (22,32-24,53)	0,200	23,53 ± 0,45(22,64-24,43)	0,200

DS = Desviación Estándar; IC del 95 % = intervalo de confianza del 95 % Países europeos

Tabla 10. Datos descriptivos de los participantes del estudio que muestras características demográficas y antropométricas según el sexo – grupo control.

5.3.1. Comparación de las presiones plantares entre el grupo de control y el grupo de escaladores

En primer lugar, se comprobó que los datos del estudio no siguen un patrón normal (valores p inferiores a 0,05, prueba de Kolmogorov-Smirnov), por lo que se optó por realizar pruebas estadísticas no paramétricas.

Los valores medios de las presiones máximas de las tres regiones de estudio (cabeza del primer metatarsiano, cabeza del segundo metatarsiano y bola del primer dedo del pie) pueden verse en la tabla 2, valores dados tanto en estático como en dinámico. No se encontraron diferencias significativas entre las mediciones del pie izquierdo frente al derecho (valor $p > 0,05$, prueba de rango con signo de Wilcoxon), lo que significa que ambos pies se comportan igual.

En cualquier caso, las diferencias observadas en la **Tabla 11**, entre las presiones de un mismo pie son significativas (valores p inferiores al uno por mil, Test de Friedman), tanto en la estática como en la dinámica de ambos grupos.

GRUPO ESCALADORES = GRUPO CASOS								
		PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO	P-VALOR		PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO	P-VALOR
		MEDIA ± DS (95% CI)	MEDIA ± DS (95% CI)			MEDIA ± DS (95% CI)	MEDIA ± DS (95% CI)	
ESTÁTICA	PX 1MT	2201,34±96,31	2211,58± 107,91	0,873	DINÁMICA	2007,57±93,50	2105,06± 98,42	0,176
	g/cm ²	(2006,06-2394,62)	(1995,04-2428,13)			(1819,93-2195,20)	(1907,57-2302,55)	
	PX 2MT	2020,75±98,15	2010,98±96,14			1887,08±84,22	1853,23±87,86	
	g/cm ²	(1823,80-2217,71)	(1817,43-2204,35)	(1717,95-2056,20)	(1676,92-2029,53)	0,732		
	PXP	1730,02±101,34	1812,85±102,81	0,197		1505,95±99,58	1572,13±101,308	0,502
	g/cm ²	(1526,66-1933,38)	(1606,53-2019,17)		(1306,01-1705,68)	(1368,84-1775,42)		
GRUPO NOESCALADORES = GRUPO CASOS								
ESTÁTICA	PX 1MT	1550,10 ±73,44	1538± 68,63	0,690	DINÁMICA	1435,98±64,87	1425,94± 51,89	0,970
	g/cm ²	(1402,06-1697,53)	(1401,18-1676,74)			(1305,74-1566,22)	(1321,77-1530,12)	
	PX 2MT	2445,75±73,28	2479,62 ±68,12			2326,48±72,12	23778,21±60,47	
	g/cm ²	(2298,63-2592,87)	(2343,62-2616,39)	(2181,68-2471,28)	(2256,79-2499,63)	0,974		
	PXP	1287,75±86,67	1277,81±93,79	0,731		1101,12±80,94	1127,44±85,86	0,873
	g/cm ²	(1113,78-1461,72)	(1089,52-1466,10)		(938,61-1263,62)	(955,06-1299,82)		

PX1MT= Presión máxima primer metatarsiano; PX2MT= Presión máxima segundo metatarsiano; PXP= Presión máxima primera pulpa; DS = Desviación Estándar; IC del 95 % = intervalo de confianza del 95 % Países europeos

Tabla 11 Presión máxima media en la población de estudio por grupos de estudio y diferentes pies.

En el grupo de escalada, las presiones máximas localizadas en la cabeza del primer metatarsiano fueron de 2201,34±96,31 g/cm² en estático y de 2007,57±93,50 g/cm² en dinámico. En el grupo de control, las presiones máximas localizadas en la segunda cabeza metatarsal en estático y en dinámico fueron de 2445,75±73,28 g/cm² y 2326,48±72,12 g/cm², respectivamente.

Hubo una diferencia significativa entre estática y dinámica dentro del mismo grupo (valor $p < 0,05$, prueba de rango con signo de Wilcoxon). Las presiones fueron mayores tanto en el grupo de escaladores como en el de control en la estática que en la dinámica. (*Tabla 12*)

GRUPO CASOS	ESTÁTICA			DINÁMICA			GRUPO CONTROL
	ESTÁTICA		DINÁMICA	ESTÁTICA		DINÁMICA	
	MEDIA ± DS (95% CI)	MEDIA ± DS (95% CI)	P-VALOR	MEDIA ± DS (95% CI)	MEDIA ± DS (95% CI)	P-VALOR	
PX1MT g/cm ²	2206,46±706,13 (1012,50-3759,50)	2056,31± 655,48 (1048-3883,5)	0,000	1544,53±487,02 (777-3204,5)	1430,96± 393,04 (515,5-2832)	0,000	
PX2MT g/cm ²	2015,82±696,96 (863-3839)	1870,15 ±612,07 (926-3715)	0,00	2462,68±482,03 (1521-3497,5)	2352,35 ±440,75 (1512-3411,5)	0,00	
PXP g/cm ²	1771,43±708,83 (649-3444)	1538,99±700,26 (589-3395)	0,000	1282,77±629,33 (400-2877,5)	1114,27±580,67 (362-2840,5)	0,000	

PX1MT= Presión máxima primer metatarsiano; PX2MT= Presión máxima segundo metatarsiano; PXP= Presión máxima primera pulpa; DS = Desviación Estándar; IC del 95 % = intervalo de confianza del 95 % Países europeos

Tabla 12. Presiones máximas en estática y dinámica.

Al comparar el grupo de escaladores con el grupo de control, se observa que hay una diferencia significativa entre los dos grupos (el valor p es inferior a 0,05, prueba U de Mann-Whitney), tanto en estático como en dinámico. En el grupo de escalada la máxima presión se encuentra en la primera cabeza metatarsal (el 53% de los escaladores tenía la máxima presión en la primera cabeza metatarsal, seguido del 26% en la segunda cabeza metatarsal), mientras que en el grupo de control la máxima presión se encuentra en la segunda cabeza metatarsal (el 77% de ellos tenía la presión en la segunda cabeza metatarsal, seguido del 10% en la primera bola del pie) *Tabla 13*.

PORCENTAJE		GRUPO CASOS		GRUPO CONTROL	
		ESTÁTICA	DINÁMICA	ESTÁTICA	DINÁMICA
	PX1MT	53	61	8	4
	PX2MT	27	20	77	85
	PXP	20	19	10	8
	PX4MT	0	0	5	3

PX1MT= Presión máxima primer metatarsiano; PX2MT= Presión máxima segundo metatarsiano; PXP= Presión máxima primera pulpa; PX4MT= Máxima presión cuarto metatarsiano.

Tabla 13. Porcentaje de aparición de presiones plantares.

El valor más bajo obtenido para el coeficiente de correlación intraclase para la fiabilidad intraobservador fue de 0,911, lo que sugiere que la reproducibilidad del procedimiento de medición fue buena.

5.3.2. Comparación de la movilidad del primer radio entre el grupo de control y el grupo de escaladores

El movimiento dorsal, plantar y total del primer radio en el plano sagital ha demostrado que los valores entre el pie izquierdo y el derecho se comportan de la misma manera (valor p mayor que 0,05, test de rango de signos de Wilcoxon).

Donde sí se encuentran diferencias es entre los grupos, observando que el grupo de escalada tiene una mayor flexión dorsal que el grupo de control, pero el rango total de movimiento en el grupo de escalada es menor que en el grupo de control (valor p es menor a 0,05, prueba U de Mann-Whitney). (*Tabla 14*)

	GRUPO CASOS			GRUPO CONTROL			P VALOR*
	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO	P - VALOR	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO	P VALOR	
	MEDIA ± DS (95% CI)	MEDIA ± DS (95% CI)			MEDIA ± DS (95% CI)		MEDIA ± DS (95% CI)
MFD	5,56 ±1,07 (3-8)	5,43±1,07 (3-8)	0,791	4,78±1,51 (2-12)	4,55±1,63 (2-12)	0,324	0,007*
MFP	3,75±1,37 (2-10)	3,35±1,21 (2-9)	0,166	4,26 ± 1,31 (2-9)	4,15±1,21 (1-6)	0,102	0,000*
MT	9,31±2,12(4-17)	8,88±2,22 (3-15)	0,100	9,80 ±1,54 (6-16)	9,94±1,52 (7-13)	0,709	0,001*

MFD= Movimiento en Dorsiflexión; MFP= Movimiento en Flexión Plantar; MT= Movimiento Total; DS = desviación ESTÁNDAR; IC del 95 % = intervalo de confianza del 95 % Países europeos; *Valor p entre grupo de escalado y grupo de control

Tabla 14 Movimiento del primer radio en todos los participantes.

5.3.3. Comparación de la movilidad de la primera articulación metatarsofalángica entre el grupo de control y el grupo de escaladores

Se ha comprobado que la movilidad de la primera articulación metatarsofalángica se comporta por igual entre el pie izquierdo y el derecho (valor p superior a 0,05, test de rango de signos de Wilcoxon). Donde sí se encuentran diferencias es entre los grupos, observando que el grupo de escalada tiene menos flexión dorsal y flexión plantar que el grupo de control (valor p menor a 0,05, prueba U de Mann-Whitney). (*Tabla 15*)

	GRUPO CONTROL		P - VALOR	GRUPO CASOS		P VALOR	P VALOR*
	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO		PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO		
	MEDIA ± DS (195% CI)	MEDIA ± DS (195% CI)		MEDIA ± DS (195% CI)	MEDIA ± DS (195% CI)	P VALOR	
FD	53,85 ±12,42 (10-76)	54,14 ±10,81 (25-80)	0,902	70,40 ±11,65 (37-80)	70,07 ±11,43 (40-89)	0,919	0,000*
FP	29,07 ±8,14 (10-50)	29,15 ±8,04 (10-50)	0,867	38,07 ±8,24 (19-59)	37,76 ±8,10 (19-59)	0,915	0,000*

FD=Dorsiflexión; FP=Flexión Plantar; DS = Desviación Estándar; IC del 95 % = intervalo de confianza del 95 % Países europeos; *valor p entre grupo de escalado y grupo de control

Tabla 15 Movimiento de la primera articulación metatarsofalángica.

5.4. Discusión

En primer lugar, procederemos a valorar las presiones plantares del grupo control (no escaladores) en comparación con el grupo caso (escaladores), seguido del comportamiento de la movilidad del primer radio, y por último la movilidad de la primera articulación metatarsofalángica.

De acuerdo con el primer objetivo, existen algunos estudios recientes en la literatura científica que abordan temas de investigación relacionados con el pie utilizando la plataforma Podoprint (Izquierdo-Renau et al., 2017a; Sánchez-Sáez

et al., 2019a). Sin embargo, ninguno ha estudiado las presiones plantares en el escalador. Este estudio identifica los valores normales de las presiones plantares del pie en tres áreas de estudio en una población sana frente a una población escaladora. Esta aportación a la comunidad científica puede considerarse un punto fuerte del estudio, ya que los valores identificados pueden servir de referencia para establecer valores patológicos a través de futuras líneas de investigación.

Los autores que tienen líneas de investigación sobre estudios de presiones plantares afirman que las mediciones pueden verse afectadas por cambios fisiológicos en la actividad muscular, la postura y la velocidad de la marcha (Izquierdo-Renau et al., 2017a; Pérez-Soriano et al., 2011; Sánchez-Rodríguez et al., 2012). Por lo tanto, no es suficiente utilizar una sola prueba para obtener los parámetros dinámicos del pie de una muestra. Al promediar varias pruebas, se reduce la variabilidad de los patrones de la marcha (Hughes et al., 1991). Otros autores han sugerido que tres registros son suficientes para obtener un resultado consistente (van der Leeden et al., 2004). En este estudio, se siguió el protocolo y tal y como se indica en publicaciones científicas anteriores en estudios con intervenciones similares. Cada uno de ellos, a su vez, registró cuatro ensayos de cada pie, (siendo esto posible gracias a la opción proporcionada por el fabricante del sistema Podoprint: "multipaso").

El parámetro de presión plantar más fiable es la presión máxima. En el presente estudio, en el grupo no escalador (grupo control) la presión máxima (Px) se encuentra en la región del antepié (exactamente bajo la cabeza del segundo metatarsiano), hecho que coincide con los estudios realizados por Xu C que utilizó el footscan (Xu et al., 2017) o el estudio de Maetzler Maetzler et al., 2010; que utilizó la plataforma Emed, ambos autores también buscaron parámetros de presión normales en pies sanos, el mismo objetivo que en este estudio. Por otro

lado, en el grupo del caso (grupo de escaladores) el Px se sitúa por debajo de la cabeza del primer metatarsiano. El Px del segundo metatarsiano (grupo control) es de 2445,57 g/cm² (239,68Kpa) y para el grupo escalador de 2201,34 g/cm² (215,73Kpa), estos valores son inferiores a los encontrados por los autores anteriormente mencionados 367Kpa, y 443Kpa, respectivamente (24,38). Esto puede deberse a la diferencia de sensores en las plataformas de presión. Estos hallazgos nos permiten exponer cuál es la distribución normal de las presiones en las diferentes zonas del pie para sujetos sanos (Bankoff et al., 2006; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007).

Es importante destacar que no existen estudios que hagan referencia a las presiones plantares en el pie del escalador, observando una presión máxima inferior a la normal, lo que es indicativo de posibles lesiones (Bankoff et al., 2006; Ramanathan et al., 2010; van der Leeden et al., 2004), ya que, a mayor presión, mayor es la sobrecarga y mayor la posibilidad de fractura o alteración de las cabezas metatarsales. Otros autores como Martínez Nova, Casto o Ramanathan han validado plataformas de presión con el objetivo de hacerlas útiles para el estudio dentro de la rama de la podología, lo que también se consigue con esta plataforma de presión (M. P. D. Castro et al., 2014; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007; Ramanathan et al., 2010).

Otro objetivo del estudio fue comparar y cuantificar la movilidad del primer radio entre los pies de pacientes sanos (no escaladores) y los pies de escaladores. Los resultados obtenidos revelan que los escaladores tenían un ROM (Rango de Movimiento) menor que los no escaladores, pero que la flexión dorsal era mayor. Información que podemos corroborar con estudios posteriores (Munuera-Martínez et al., 2020; Távara Vidalón et al., 2021; Távarena-Vidalón et al., 2018). En el estudio de 2018 (Távarena-Vidalón et al., 2018) mostraron que el movimiento del primer radio era de 12,66mm, siendo este movimiento 3mm

mayor tanto en el grupo control como en los escaladores de nuestro estudio. Este hecho puede ser debido a que ese estudio la movilidad se estudió mediante radiografías, hecho que también ocurre en el estudio de 2021 (Távora Vidalón et al., 2021). En el estudio de 2020 sólo se encontró 1 mm de diferencia, lo que puede deberse a que en ambos estudios se utilizó el mismo aparato para medir la movilidad (Munuera-Martínez et al., 2020). La dorsiflexión y la plantarflexión también fueron significativas, y se observó una menor dorsiflexión en los pacientes no escaladores que en los escaladores. Los investigadores anteriores también encontraron una diferencia entre los pacientes normales y los pacientes con alguna deficiencia del primer radio (Faber et al., 1999; Munuera-Martínez et al., 2020; Swanson et al., 2016).

Finalmente, al comparar la movilidad de la primera articulación metatarsfalángica, los datos revelan que los escaladores tienen limitada la flexión dorsal de la primera articulación metatarsfalángica, ya que el valor está por debajo de la media normal (Park & Chang, 2019; Pumares Núñez, 2018; van Gheluwe et al., 2006), necesaria para una buena propulsión. Los datos de los escaladores no se pueden comparar con los de otros autores, ya que no existen estudios previos con deportistas de esta disciplina.

5.5. Limitaciones y fortalezas

En cuanto a las limitaciones del estudio, si bien los resultados obtenidos son concluyentes en cuanto a los objetivos previamente marcados, un número de muestra mayor podría arrojar resultados más concluyentes. La heterogeneidad entre los participantes hace que los resultados encontrados deban ser tomados con cautela. Esto justifica por sí mismo la realización de futuras investigaciones.

En contraposición, como fortaleza del estudio, destaca el carácter inédito de esta investigación para la aportación a la población científica, ya que no existen estudios que se centren en comparar cómo es el pie de un escalador frente a un pie normal. Conocer cómo se comporta el pie de un escalador puede ayudar a evitar posibles patologías o alteraciones crónicas que aparecen como consecuencia de la práctica de este deporte. Estos datos pueden servir de referencia para establecer lesiones crónicas comunes en el pie del escalador a través de futuras líneas de re-investigación

TERCERA PARTE

DISCUSIÓN INTEGRADORA Y SÍNTESIS TEÓRICA

CAPÍTULO 6: Discusión
Integradora y síntesis teórica

6.1. Validación de plataforma de presiones Podoprint

Los sistemas de medición de la presión plantar deben ser capaces de proporcionar valores repetibles y fiables para la comparación entre diferentes tiempos, tratamientos y estudios.

Hay dos tipos de sistemas de medición de la presión plantar, sistemas integrados en el zapato (Elvira et al., 2008; Martínez-Nova et al., 2008) o plataformas de presiones (Cancilleri et al., 2008; Luger et al., 1999; Marc et al., 2015; Villani C., 2000), estas ultimas tienen sensores grandes, siendo un sistema fiable para la medición de las presiones.

Las plataformas de presiones tienen la posibilidad de hacer el estudio en dinámica del paciente dándonos la posibilidad de saber como se comporta en el pie en el momento de la deambulación, estudiando la superficie de apoyo, presión máxima y media en cada fase de apoyo de la marcha humana. Además, nos da la posibilidad del estudio de ambos pies (Rogind et al., 2003).

Ha habido algunos estudios de investigación recientes relacionados con los pies que han utilizado la plataforma Podoprint®(Izquierdo-Renau et al., 2017a; Sánchez-Sáez et al., 2019b). Si bien señalan la importancia de la confiabilidad y reproducibilidad del aparato utilizado en este campo de investigación, no justificaron estadísticamente la confiabilidad y reproducibilidad específicas de esta plataforma. Algunos incluso evitaron calibrar el dispositivo antes de registrar los datos(Xu et al., 2017).

Hay muchas plataformas en el mercado que se utilizan para evaluar problemas similares. La plataforma utilizada, sin embargo, es una herramienta muy utilizada en clínicas podológicas que aún no cuenta con validación científica publicada en revistas internacionales con índices de alta calidad (aunque sí cuenta con avales científicos en revistas no indexadas). Es por ello por lo que los autores han decidido poder trasladar, a través de una publicación de gran relevancia, la viabilidad y repetibilidad de esta herramienta a la comunidad científica.

En el presente estudio no solo se ha demostrado la fiabilidad y repetibilidad del sistema Podoprint®, sino que también se han identificado los valores normales de presión plantar del pie en una población sana. Como estadística descriptiva, el ICC se usa ampliamente para cuantificar la repetibilidad de la medición.

Según algunas contribuciones científicas, los valores de ICC entre 0,40 y 0,60 pueden considerarse como indicadores de confiabilidad moderada, y 0,80 a 1,00 como óptimos (JR Landis & GG Koch, 1977; Watkins MP & Portney L, 2009).

Para otros autores (Izquierdo-Renau et al., 2017; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007), un ICC debe ser de al menos 0,75 para ser tomado como indicador de confiabilidad, y la probabilidad de obtener mediciones válidas aumenta cuando las evaluaciones clínicas implican un ICC superior a 0,9036. Los resultados presentados en este estudio muestran confiabilidad y repetibilidad ambas superiores a 0,8 en todos los análisis. Todos los ICC fueron mayores de 0,81 y menores de 0,93.

Autores de estudios sobre presiones plantares afirman que las medidas pueden verse afectadas por cambios fisiológicos en la actividad muscular, la postura y la velocidad de la marcha (Izquierdo-Renau et al., 2017; Pérez-Soriano et al., 2011; Sánchez-Rodríguez et al., 2012).

Por tanto, una sola prueba no es suficiente para obtener los parámetros dinámicos del pie a partir de una muestra. Promediar múltiples pruebas reduce la variabilidad de los patrones de marcha (Vallejo et al., 2013).

Otros autores han sugerido que tres registros son suficientes para obtener un resultado consistente (van der Leeden et al., 2004).

En el presente estudio, el protocolo marcado y luego implementado consistió en tres registros, cada uno de los cuales comprendía cuatro pruebas de cada pie (esto fue posible gracias a la opción de “multipasos” proporcionada por el fabricante del sistema Podoprint®).

Publicaciones recientes sobre la confiabilidad de los sistemas computarizados de análisis de la marcha para mediciones realizadas en diferentes días encontraron valores de ICC entre sesiones superiores a 0,89 para las medias del área total de apoyo, siendo el mayor 13% CV (Gurney et al., 2008; Izquierdo-Renau et al., 2017; Xu et al., 2017).

En el presente estudio, la repetibilidad entre sesiones fue extremadamente alta. Para todas las variables dinámicas medidas, los CCI siempre fueron superiores a 0,88 y el mayor CV fue del 16%, similar a los resultados de estudios anteriores mencionados anteriormente. No hubo diferencia en las medias entre la primera y la segunda sesión, con todos los valores de $p > 0,05$. Todas las variables evaluadas fueron altamente homogéneas.

6.2. Identificar las lesiones crónicas del pie relacionadas con la práctica de la escalada

La escalada es un deporte que está ganado popularidad. A medida que aumenta el número de participantes, también habrá mayor número de lesiones que de una u otra manera serán necesario atender.

El presente estudio evaluó población de escaladores, considerando todas las alteraciones en el pie más frecuentes frente las variables subjetivas, como las horas de entrenamiento, años de práctica de escalada, sexo, edad cronológica.

Actualmente la mayor parte de la literatura anterior se centra en lesiones agudas relacionadas con caídas (Heise-Flecken D. FG., 2016; Jones et al., 2008; Nelson & McKenzie, 2009), existiendo pocos estudios asociados a las lesiones crónicas del pie del escalador que informe sobre la prevalencia de dichas lesiones, de ahí la realización de este estudio.

Sí existen varios estudios, pero se centran en la extremidad superior (Maitland, 1992b; Rohrbough et al., 2000b) más que en la inferior, siendo importante destacar que la extremidad inferior es la parte del cuerpo más importante en la escalada, aunque se crea lo contrario, algo que ya afirmaban Neuhof (Neuhof et al., 2011) y Volker (V. Schöffl & Küpper, 2013).

En el presente estudio el 70% de los participantes presentaban algún tipo de lesión crónica en el pie, el 40% presente en hombres y el 30% en mujeres. Siendo importante destacar que había un 20% más de hombres que mujeres por lo que la mujer se lesiona más que el hombre, algo que ya demostró Grønhaug G, en sus estudios en 2016 y 2018 (Grønhaug, 2018a; Grønhaug & Norberg,

2016b). Dichos autores creían que la razón de esta diferencia a la hora de lesionarse puede ser debida a la anatomía del pie de la mujer frente a la del hombre, pero esto no está claro y se necesitarían más estudios de investigación(Grønhaug, 2018b).

Las diferencias anatómicas en el tobillo pueden explicar la diferencia en las lesiones informadas del tobillo y el pie. Los pies de gato se fabrican principalmente para el tobillo masculino, creando un punto de presión más tenso y estresante en el tendón de Aquiles femenino. Esta sugerencia está respaldada por la alta prevalencia de lesiones de pie / tobillo entre los escaladores de rutas en este estudio(Neuhof et al., 2011).

Las lesiones crónicas más comunes encontradas en el estudio fueron dedos en garra, hallux valgus, seguida de alteraciones dérmicas como la bursitis del hallux valgus y alguna alteración de uñas. Patologías que también describieron Largiader y Schöffl, años atrás en sus estudios (V. Schöffl & Küpper, 2013; U Largiadèr & O Oelz, 1993).

Siendo importante resaltar la necesidad de saber lo importante que tipo de lesiones tenemos y como poderlas prevenir ya que, las lesiones de las extremidades inferiores eran todavía prevalentes y posiblemente más graves que las lesiones de las extremidades superiores.

Largiader también hace referencia a la existencia de lesiones agudas como los traumatismo y esguinces de tobillo, afirmando que son de las lesiones mas recurrente en los escaladores, sin embargo, nosotros en nuestro estudio menos del 10% había sufrido esguince o traumatismo de calcáneo(U Largiadèr & O Oelz, 1993).

Hay investigaciones que se centran en el dolor de los pies durante la práctica de la escalada, vinculado dicho dolor al uso de zapatos que no le quedan bien o son demasiado apretados (Jones et al., 2008; McHenry et al., 2015).

Este estudio confirma estos hallazgos e informa una mayor prevalencia de dolor en el pie durante la escalada, un 45% de los participantes presentan dicho dolor, que puede ser atribuible al calzado que no le queda bien elegido comúnmente para la actividad de escalada.

Respecto a la edad cronológica del escalador no se encontró diferencia significativa, algo que ya encontró Schoff, afirmando que los efectos de la edad han mostrado resultados distintos en diferentes estudios, apuntando que no es la longevidad lo que afecta al riesgo de las lesiones, sino los años de práctica que se lleven. Es decir, cuanto más tiempo se lleve escalando, mayor será la posibilidad de sufrir una lesión (V. Schöffl & Küpper, 2013).

En este estudio se observa que a mayor tiempo escalando mayor probabilidad de presencia de lesiones, este hecho también fue observado por Grønhaug G²³ y Neuhof en sus estudios respectivamente. Los hallazgos anteriores de una mayor tasa de incidencia de lesiones entre los atletas con más experiencia debido a un mayor número de horas de entrenamiento y movimientos más extremos al escalar. (Grønhaug & Norberg, 2016a; Neuhof et al., 2011).

Por lo que los escaladores profesionales y de elite son más propensos a lesionarse que los principiantes. Según estos autores, la causa de ello es debido a que no hay suficiente tiempo para la adaptación de los tendones entre sesión y sesión, lo cual provoca que los microtraumas inducidos por el entrenamiento se

agraven, aumentando significativamente el riesgo de lesión(McHenry et al., 2015).

6.3. Evaluación del pie del escalador frente a un grupo no escaladores (grupo control)

6.3.1. Presiones plantares

Existen, en la literatura científica, algunos estudios recientes que abordan temáticas de investigación relativas al pie realizados con la plataforma Podoprint®(Izquierdo-Renau et al., 2017b; Sánchez-Sáez et al., 2019b).

Sin embargo, ninguno estudia las presiones plantares en el escalador. Este estudio identifica los valores normales de presiones plantares del pie en tres áreas de estudio en población sana frente a una población que practica la escalada.

Esta aportación a la comunidad científica puede ser considerada una fortaleza del estudio, ya que los valores identificados pueden servir de referencia para establecer valores patológicos mediante líneas futuras de investigación.

Aquellos autores que poseen líneas de investigación sobre estudios de las presiones plantares, afirman que las mediciones pueden verse afectadas por los cambios fisiológicos ocurridos en la actividad muscular, la postura y la velocidad de la marcha(Izquierdo-Renau et al., 2017b; Pérez-Soriano et al., 2011; Sánchez-Rodríguez et al., 2012).

Por lo tanto, no es suficiente utilizar una única prueba para obtener los parámetros dinámicos del pie a partir de una muestra. Al promediar varias pruebas, se reduce la variabilidad de los patrones de marcha (Vallejo et al., 2013). Otros autores han sugerido que tres registros son suficientes para obtener un resultado coherente (van der Leeden et al., 2004).

La presión máxima, es el parámetro de presión plantar más confiable (Maetzler et al., 2010; Xu et al., 2017). En el presente estudio, en el grupo de no escaladores (grupo control) la presión máxima (Px) se encuentra en la región del antepié (más exactamente bajo la cabeza del segundo metatarsiano), mientras que en el grupo escaladores se encuentra en la primera cabeza metatarsal.

La Px del segundo metatarsiano (grupo control) es de 2445,57 g/cm² (239,68Kpa) y para el grupo escaladores de 2201,34 g/cm² (215,73Kpa) en dicho estudio es inferior a la de estudios anteriores (Maetzler et al., 2010; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007; Xu et al., 2017) 367Kpa, 361Kpa y 443Kpa, respectivamente. Esto puede deberse a la diferencia de sensores en las plataformas de presiones, marcas de plataformas o incluso al tratarse de plantillas instrumentadas (Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007).

Aunque el hallazgo de que la presión máxima se encuentra debajo de la segunda cabeza metatarsal coinciden con lo que otros autores demostraron en sus estudios usando plataformas de presiones, previamente validadas, distintas al sistema Podoprint® (8,10).

Independientemente de este dato, la mayoría de los autores coinciden en que el antepié presenta los valores más altos de registro de presiones plantares

(Astasio-Picado et al., 2022; M. Castro et al., 2013; Sánchez-Rodríguez et al., 2012; Xu et al., 2017).

Este patrón parece ser la distribución de presión normal en las distintas áreas del pie para sujetos sanos (Izquierdo-Renau et al., 2017; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007). Siendo importante destacar, que no hay estudios que hagan referencia a las presiones plantares en el pie del escalador, observándose una presión máxima inferior a la presión normal, siendo esto un indicativo de posibles lesiones (Hughes et al., 1993; Martínez-Nova, Cuevas-García, et al., 2007; Nagel et al., 2008).

6.3.2. Movilidad del primer radio

Otro de los objetivos del estudio fue comparar y cuantificar la movilidad del primer radio entre pies de pacientes sano (no escaladores) frente a los pies de los escaladores. Los resultados obtenidos nos revelan que los escaladores tenían un ROM menor que los no escaladores, pero que la flexión dorsal era mayor. Información que podemos corroborar con estudios posteriores (Távora Vidalón et al., 2021, Távora-Vidalón et al., 2018 y Munuera-Martínez et al., 2020).

En el estudio de 2018 (Távora-Vidalón et al., 2018) mostraron que el movimiento del primer radio fue 12,66mm, siendo dicho movimiento 3mm mayor tanto en el grupo control como en el grupo escaladores de nuestro estudio, pudiendo ser debido a que en dicho estudio la movilidad se estudiaba a través de radiografías, hecho que también se pasa en el estudio de 2021(Távora Vidalón et al., 2021).

En el estudio de 2020(Munuera-Martínez et al., 2020)) solo se encontró 1 mm de diferencia, hecho que puede ser debido a que en ambos estudios se utilizo el mismo aparato para medir dicha movilidad.

La dorsiflexión y la plantaflexión también eran significativas, observándose menor flexión dorsal en los pacientes no escaladores que en los escaladores. Investigadores anteriores también encontraron diferencia entre pacientes normales frente pacientes con alguna alteración del primer radi (Faber et al., 1999; King & Toolan, 2004b; Munuera-Martínez et al., 2020; Swanson et al., 2016).

6.2.3. Movilidad primera articulación metatarsfalángica

Por último, al comparar la movilidad de la primera articulación metatarso falángica, los datos nos revelan que los escaladores tienen una limitación de la flexión dorsal de la misma, ya que el valor está por debajo de la media normal (Park & Chang, 2019; Pumares Núñez, 2018; van Gheluwe et al., 200(6), que es necesaria para una buena propulsión.

Los datos de los escaladores no se pueden comparar con otros autores, ya que no hay estudios previos a este con deportista de esta disciplina.

*CAPÍTULO 7: Publicaciones
derivadas del estudio*

7.1. Primero Manuscrito

7.1.1. Resumen

“The Podoprint® plantar pressure platform: Evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameter”

PRESENTACIÓN

TITULO: The Podoprint® plantar pressure platform: Evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameter

AUOTRES: Cobos-Moreno, P, Astasio-Picado, A, Escamilla-Martínez, E. Sánchez-Gómez, R., Martínez-Nova A. and Gómez-Martín, B.

REVISTA: Journal of Tissue Viability

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2022.07.005>.

AÑO DE PUBLICACIÓN: 2022

7.1.2. Informe

El trabajo titulado “The Podoprint® plantar pressure platform: Evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameter”, se publicó en la revista *Journal of Tissue Viability*. Actualmente dicha revista se encuentra indexada en numerosas bases de datos de referencia entre las que destacamos:

- PubMed/Medline
- Scopus
- ScienceDirect
- PubMed/Medline
- BioInfoBank Library
- Science Citation Index Expanded
- Social Sciences Citation Index
- Current Contents - Clinical Medicine
- AMED
- CINAHL

Respecto al *Journal Citation Reports* los últimos datos correspondientes al año 2020 indican que la revista ocupa la posición 13/125 revista en el área enfermería equivalente a un 1º cuartil (Q1). El índice de impacto de la revista en el área es de 3,374. El índice de impacto de la revista a 5 años es de 3,363

Contribución del doctorando: El doctorando ha participado activamente en la adquisición y procesamiento de los datos y en el análisis de estos. El doctorando ocupa la primera posición.

Contribución de los Co-autores: Álvaro Astasio Picado y Beatriz Gómez Martin, diseñaron el procedimiento y participaron activamente con el doctorando.

El trabajo presentado no será utilizado como contribución a ningún otro proyecto de tesis doctoral en este u otro programa de doctorado.

Fdo. Beatriz Gómez Martin

7.1.3. Resumen en español

El sistema de plataforma de presión Podoprint® se usa ampliamente en la práctica clínica podológica de rutina para medir las presiones plantares. Permite el examen no invasivo del paciente y proporciona resultados rápidos con altos niveles de precisión, confiabilidad y repetibilidad. Una vez demostradas estas condiciones, el uso clínico y/o investigador de la baropodometría permite obtener resultados en el campo de la podología que no son nada desdeñables.

El estudio fue diseñado para evaluar la repetibilidad y confiabilidad de la plataforma, y para identificar los parámetros normales de presión del pie.

Se recolectaron registros de 52 individuos sanos al azar, 10 hombres y 42 mujeres, en dos sesiones separadas por una semana. Las variables de estudio fueron: presión máxima, presión media, superficies de apoyo (talón, mediopié y antepié) y tiempo de contacto. La repetibilidad y la confiabilidad se evaluaron calculando el coeficiente de correlación entre clases (ICC) y el coeficiente de variación (CV) en las tres pruebas.

Los ICC mostraron una repetibilidad de moderada a buena para las variables de interés, y los CV fueron todos inferiores al 18 %. La presión máxima estaba debajo del antepié (media $2675,4 \pm 513,8$ g/cm²). El tiempo medio de contacto de los escalones fue de $0,72 \pm 0,07$ segundos.

El sistema Podoprint® es una herramienta fiable para evaluar la distribución de las presiones plantares en el estudio dinámico de la marcha descalza de individuos sanos.

7.1.4. Copia del primer manuscrito

Copyright: Como autor de este artículo, conservo el derecho de incluirlo en una tesis o disertación, siempre que no se publique comercialmente. No se requiere autorización.

ARTICLE IN PRESS

Journal of Tissue Viability [www.sagepub.com/jtv](http://jtv.sagepub.com)



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](http://ScienceDirect.com)

Journal of Tissue Viability

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jtv



The Podoprint® plantar pressure platform: Evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameters

Paula Cobos-Moreno^a, Álvaro Astasio-Picado^b, Alfonso Martínez-Nova^c,
Raquel Sánchez-Rodríguez^c, Elena Escamilla-Martínez^c, Beatriz Gómez-Martín^{a,*}

^a Biomedical Science Department, Salamanca University, Salamanca, Spain
^b Nursing Department, Castilla-La Mancha University, Toledo, Spain
^c Nursing Department, Extremadura University, Extremadura, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:
Foot
Biopodometry
Plantar pressure
Repeatability
Reliability

ABSTRACT

Introduction: The Podoprint® pressure platform system is widely used in routine podiatric clinical practice to measure plantar pressures. It allows non-invasive examination of the patient, and provides fast results with high levels of precision, reliability, and repeatability. Once these conditions have been demonstrated, the clinical and/or research use of biopodometry allows results to be obtained in the field of podology that are far from inconvertible.

The study was designed to evaluate the repeatability and reliability of the platform, and to identify the normal foot pressure parameters.

Methods: Records were collected from 50 random healthy individuals, 10 men and 40 women, in two sessions separated by one week. The study variables were: maximum pressure, mean pressure, support surface area (heel, midfoot, and forefoot), and contact time. Repeatability and reliability were evaluated by calculating the intraclass correlation coefficient (ICC) and the coefficient of variation (CV) in the three tests.

Results: The ICCs showed moderate to good repeatability for the variables of interest, and the CVs were all less than 18%. The maximum pressure was under the forefoot (mean 2675.4 ± 533.6 g/cm²). The mean contact time of the steps was 6.72 ± 0.97 s.

Conclusions: The Podoprint® system is a reliable tool for evaluating the distribution of plantar pressures in the dynamic study of the forefoot gait of healthy individuals.

1. Introduction

The study of plantar pressures is an increasingly popular procedure in both clinical and research settings [1,2]. The technique used, biopodometry, consists of measuring and analyzing the reaction forces that the ground exerts on the foot subjected to loads. The measurements are made through pressure sensors that register the distribution of the loads and pressures on the feet in the different zones established for study [3]. Defining the plantar pressures is useful to enable identification of the areas of the foot subjected to greater pressure, to determine the intensity and duration of that pressure, and to determine the distribution of loads under both static and dynamic conditions [4]. Examples of the use of these systems in clinical practice are to distinguish pathological from normal gait [5], to classify foot types [6], to evaluate the success of corrective surgery [7], or to design foot orthoses [8,9]. In

research, their use is oriented to quantitative analyses of the foot under either static or dynamic conditions [10,11]. In the latter case specifically, it allows gait to be studied kinetically, and can be complemented with kinematic methods to augment the analysis [1]. During development of the step, it allows real-time display of both the load-bearing area and the line that is formed from the centre of gravity or body thrust [12-14].

The technique permits non-invasive analysis of the patient, and returns fast results with high levels of precision, reliability, and repeatability [5,15,16]. It has to be noted, however, that it is an expensive method since the price of a platform's sensor is high, they are very sensitive to use (implying added maintenance costs), and specific software is required for data processing [17]. Currently, there are several plantar pressure measurement systems on the market: platform-based (Novel Knescht®, Tekscan MatScan®, Medimpresas

* Corresponding author. Nursing Department, Extremadura University, Av/ Virgen del Puerto, 2 Plasencia, 10006, Cáceres, Spain.
 Email address: beatrizgomez@uex.es (B. Gómez Martín).

<https://doi.org/10.1016/j.jtv.2022.07.005>
 Received 2 February 2022; Received in revised form 16 May 2022; Accepted 12 July 2022
 Available online 30 July 2022
 0965-2068/© 2022 Tissue Viability Society / Society of Tissue Viability. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Please cite this article as: Paula Cobos-Moreno, Journal of Tissue Viability, <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2022.07.005>

134

S-Plate®, RS-Scan Footscan®, and Pedar®) [1,3,18,19], footwear-based (Novel Pedar®, Tekscan F-Scan®, RS-Scan Insole®, WalkinSense®, and BVV Biofoot®) [1,6,20–22]. Most have been proven to be reliable tools to quantify dynamic plantar pressures [1,3,13,19, 23].

Intraclass correlation (ICC) and coefficients of variation (CV) are criteria that have been used by many researchers to evaluate whether the reliability and repeatability of such systems as WalkinSense®, Pedar®, Emed®, Footscan®, or S-plate® are acceptable [1–3,18,21–23]. It is important to evaluate the validity, reliability, and effectiveness of pressure systems [24,25].

The Podoprint® system, although it is commonly used in clinical practice and there have been scientific publications in which its use has been recorded [19,26], and now there has been no scientific evidence of the system's performance, reliability, and repeatability. The only recent scientific publication in this sense (and which reported excellent reliability of the Podoprint® platform) was of a study performed on patients with leg length discrepancies [15]. There has been no previous publication addressing the repeatability of the Podoprint® platform system comprehensively and on healthy patients, nor have ranges of normal plantar pressure values in non-pathological feet been identified. Hence, the principal objective of this research was to evaluate the reliability and repeatability of the Podoprint® pressure platform, and subsequently proceed to identify normal plantar pressure values in healthy individuals.

2. Methods

2.1. Design and sample

A descriptive, cross-sectional, prospective study was proposed to evaluate the plantar pressures of the sole of the foot divided into study areas, as well as to assess the reliability and repeatability of the pressure platform used.

The study sample comprised fifty-two healthy individuals ($n = 52$), 10 men and 42 women chosen at random. The inclusion criteria were: being students of Podology at the University of Extremadura (UEX), having practice days of equal duration, and clad in similar clinical clothing and footwear (as marked by the clinical uniform established by the protocol of the clinic itself) and that they had a normal footprint, and normal values of FPI (foot posture index), whose normal value must be between 0 and 5. Taking these issues into account equalizes the external conditions that may in some way affect the results of the study. The exclusion criteria were those individuals who reported having foot pain in the last six months, had undergone foot and/or leg surgery, suffered from some morpho-functional alteration in the foot or leg, or had gait disturbances.

All the participants took part voluntarily. They underwent a clinical examination prior to the study in order to be able to apply the inclusion and exclusion criteria. Their anthropometric data were also recorded, including age, sex, height, and weight.

2.2. Equipment and procedure

The plantar pressure study was carried out with the Podoprint® pressure platform (Grupo Nimeol, Barcelona, Spain). This system consists of a portable platform (dimensions 570 × 570 mm and 9 mm thick, weight 3.8 kg) whose 1600 sensors allow the user to carry out complete static and dynamic studies. Its highly sensitive sensors are capable of capturing 300 images per second and transmitting them to the connected computer through a Wi-Fi network. The images are extracted from the Podoprint® platform software, and in them the plantar footprint of each study subject can be observed. This footprint contains variants of color confirmed to the recorded pressure, being the hot colors (red, orange and yellow) the records of higher pressures and the cold colors (blue and green) the records of areas with lower recorded

pressure. In addition, the pressures recorded can be observed quantitatively as the explorer moves the computer mouse cursor through the different study areas. The software also allows you to assess other parameters such as: subject's center of gravity, support time, foot load distribution, line of gait progression, support surface, etc.

(*Illustration 1*). These images are then processed by the manufacturer's own software for Windows®.

The platform was installed in the centre of a 20-m long corridor, thus allowing the individuals to walk at their own cadence of steps, at a constant pace, and without space concerns that might impair the data recording or distort the subject's gait. All the participants were instructed to walk along the corridor as naturally as they could, and avoid false steps. They rehearsed for 10 min before the software was started up for data collection [21,27]. To avoid bias in the recording of data derived from the use of footwear, all the participants performed the test barefoot. At the beginning of each data record, the equipment was calibrated in accordance with the manufacturer's guidelines. Plantar pressure capture began when the patient walked naturally, recording eight random steps in each session (4 steps with the right foot and 4 steps with the left foot), a sufficient number to provide reliability for the plantar pressures [1,3,18,27]. Of each set of four steps recorded through the multistep system (provided by the pressure platform software), the clearest and most precise image was taken for analysis and to obtain the data necessary for the study.

For each participant, data was registered from two sessions separated by 7 days, which guaranteed that the participants' gait characteristics were maintained over time [16]. The two sessions were held at the same time of the day. Three data records were taken in each session in order to calculate the arithmetic mean and minimize intra-explorer biases [1, 28]. All the records were collected by the same observer. A record was considered valid and reliable only if there were at least two complete footprints for each foot.

2.3. Ethical considerations of the study

This study had the approval of the Bioethics Committee of the University of Extremadura (Spain), and was planned and carried out following the ethical principles of the Declaration of Helsinki [19]. All participants signed an informed consent statement prior to participation in the study.

2.4. Data processing and statistical analysis

After recording and storing each subject's plantar pressures and the images generated of the corresponding plantar footprints, these data were studied using the Podoprint® software (*Illustration 2*). To analyse the plantar pressure distribution, the software divides the foot into three zones – heel support, midfoot support, and forefoot support [30]. Three study variables were generated for each recorded step: support surface area, maximum pressure, and mean pressure. The pressures are expressed in g/cm^2 , units which are imposed by the manufacturer in its form of registering the data [30–32].

After verifying the normality of the study variable data (normality graphs and Kolmogorov-Smirnov test), statistical analyses were carried out using the SPSS software package version 21.0 for Windows®. The mean and standard deviations of the variables were calculated for their descriptive analysis. To assess reliability, the intraclass correlation coefficient (ICC) and the correlation between the two sessions were calculated, through the reliability analysis of the spss software. The significance level considered for reliability and repeatability was taken to be $r > 0.8$ [31]. To maintain independence of the variables, only the left foot of each participant was chosen for the study of the data [1,32]. The parametric paired *t*-test for repeated measures at two points in time was used to evaluate systematic differences between records.

ARTICLE IN PRESS

P. Cohen-Morero et al.

Journal of Translational Medicine 2024, 26(1):1-12

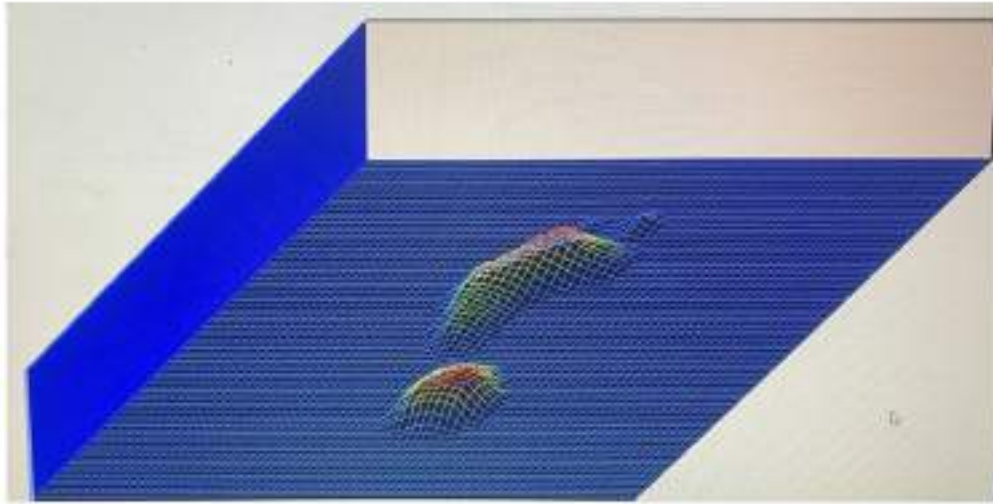


Illustration 1. Three-dimensional image of the plantar capture. Three-dimensional colorimetric image recorded with the Podoprint® platform, where different heights of the graph are observed where the corresponding color indicates the recorded pressure, being the cold colors corresponding to lower pressures and the hot colors corresponding to higher pressures. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

3. Results

Fifty-two healthy volunteers (10 men and 42 women) of 20–33 years in age participated in the study. Their mean age was 23.48 ± 2.9 years, mean weight was 64.85 ± 11.61 kg, and mean height 166.70 ± 8.97 cm (Table 1).

The mean values of surface area, mean pressure, and maximum pressure of the three records made in each session (two sessions separated in time by 7 days) are listed in Table 2. The mean contact time of the steps was 0.72 ± 0.07 s. The highest maximum pressure was under the forefoot, with a mean of 2487.19 ± 527.80 g/cm². It is important to point out that the heel area was the one that supported the least maximum pressure of the foot as a whole. One can also observe in the table that there were no significant differences between the two sessions (p -value > 0.05) in the means of the mean and maximum plantar pressures or the surface areas.

In terms of within-session repeatability, the ICC (r) values in the three repeated trials within the same session were greater than 0.8²³ (Tables 3 and 4). The highest ICC (r) were for the peak pressure, and the lowest for the foot bearing surface areas.

For the inter-session repeatability, the ICC and CV values were greater than 0.85 (range 0.86–0.96) and less than 20% (range 12–16%), respectively (Table 5).

4. Discussion

There have been some recent foot-related research studies that have used the Podoprint® platform^{19,26}. Although they point out the importance of the reliability and reproducibility of the apparatus used in this field of research, they did not statistically justify the specific reliability and reproducibility of this platform. Some even avoided calibrating the device before recording the data. There are many platforms on the market that are used to assess similar issues. The platform used, however, is a widely used tool in pediatric clinics that does not yet have scientific validation published in international journals with high quality indices (although it does have scientific endorsements in non-indexed journals). It is for this reason that the authors have decided to be able to convey, through a highly relevant publication, the validity and repeatability of this tool to the scientific community. In the present

study, not only the reliability and repeatability of the Podoprint® system have been demonstrated, but the normal values of plantar foot pressure have also been identified in a healthy population for the three areas studied: 2487.19 g/cm² (243.019 kPa) below the forefoot area, 1528.19 g/cm² (149.2 kPa) below the midfoot area, and 1377.95 g/cm² (135.9 kPa) below the heel area. As a descriptive statistic, the ICC is widely used to quantify measurement repeatability. According to some scientific contributions [33,34], ICC values between 0.40 and 0.60 can be considered as indicating moderate reliability, and 0.80 to 1.00 optimal. For other authors [16] [35], an ICC should be at least 0.75 to be taken as indicating reliability, and the probability of obtaining valid measurements increases whenever clinical evaluations imply an ICC greater than 0.90 [34]. The results presented in this study show reliability and repeatability both greater than 0.8 in all the analyses. All the ICCs were greater than 0.81 and less than 0.93.

Authors of studies on plantar pressures affirm that the measurements can be affected by physiological changes in muscle activity, posture, and gait speed [6,10,11]. Therefore, a single test is not enough to obtain the dynamic parameters of the foot from a sample. Averaging multiple tests reduces the variability of gait patterns [24]. Other authors have suggested that three records are sufficient to get a consistent result [28]. In the present study, the protocol marked out and then implemented consisted of three records, each of which comprising four tests of each foot (this being possible thanks to the “multi-steps” option provided by the manufacturer of the Podoprint® system).

Recent publications about the reliability of computerized gait analysis systems for measurements made on different days found inter-session ICC values greater than 0.89 for the means of the total support area^{10, 28}, with the greatest CV being 17% [28]. In the present study, the inter-session repeatability was extremely high. For all the dynamic variables measured, the ICCs were always greater than 0.88 and the greatest CV was 16%, similar to the aforementioned results of previous studies. There was no difference in the means between the first and second sessions, with all p -values > 0.05. All the variables evaluated were highly homogeneous.

Maximum pressure (Px) is the most reliable plantar pressure parameter [1,20]. In the present study, the greatest pressure was under the forefoot region and the lowest under the heel. These findings coincide with the majority of authors in that the forefoot presents the

ARTICLE IN PRESS

P. Colón-Morales et al.

Journal of Tissue Viability xxx (xxxx) xxx

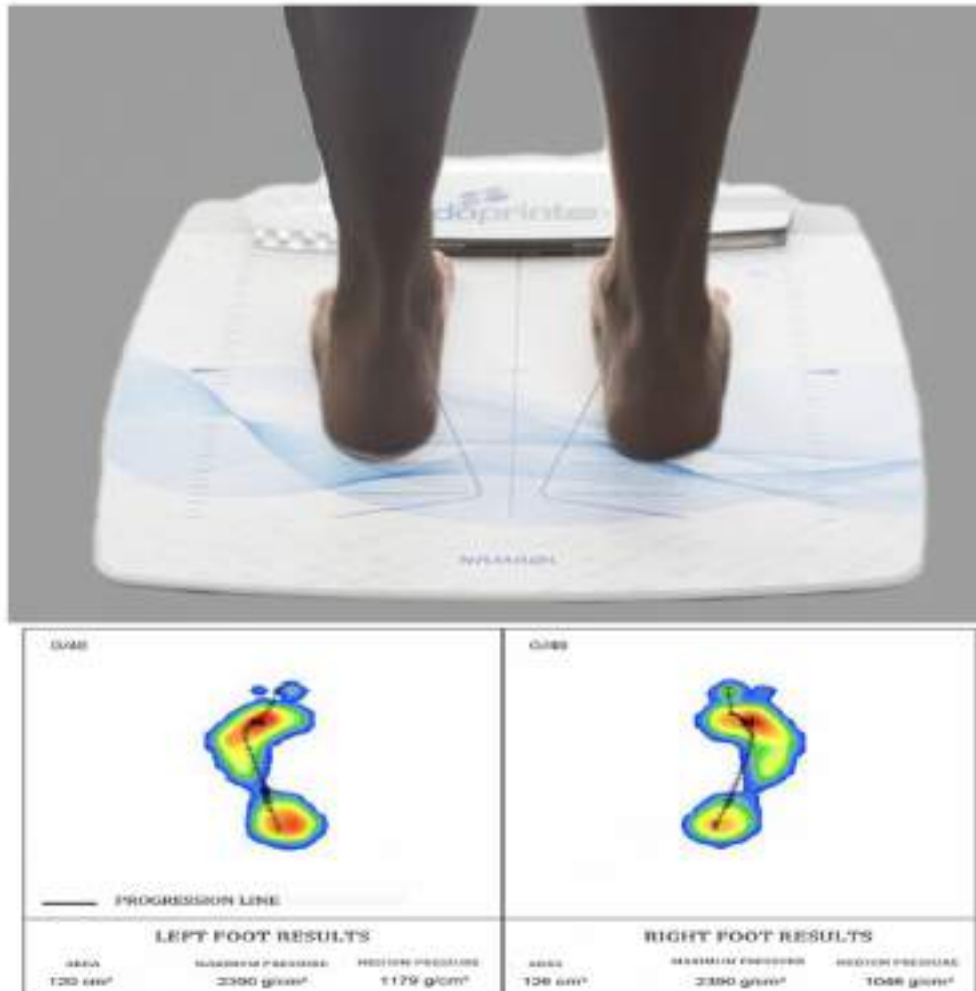


Illustration 2. Plantar pressure record with Podoprint® platform. The upper part of the image shows the position of the patient to proceed with the static plantar pressure recording. The lower part of the image shows the correspondence of the plantar supports of the upper image in terms on the computer screen after performing the plantar registration. The color register indicates the areas of higher or lower pressure, varying from hot to cold colors respectively. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Table 1
Descriptive data of the study participants showing demographic and anthropometric characteristics according to sex.

DESCRIPTIVE DATA	men n = 10	women n = 42	Total, n = 52
	Mean ± SD (95% CI)	Mean ± SD (95% CI)	Mean ± SD (95% CI)
age	23,5 ± 2,45 (20,00–21,00)	23,47 ± 2,93 (23,00–20,80)	23,48 ± 2,94 (23,00–20)
WEIGHT (KG)	73,10 ± 6,88 (88,00–63,00)	64,99 ± 12,12 (98,00–49,00)	65,49 ± 11,72 (98,00–64,09)
HEIGHT (CM)	174 ± 6,20 (184,60–168,00)	166,94 ± 5,70 (180,00–153,00)	166,94 ± 5,05 (189,00–166,94)

SD = standard deviation, 95% CI = 95% confidence interval.

greatest plantar pressures [1,3,4,6]. This pattern appears to be the normal pressure distribution under the different areas of the foot in healthy individuals [16–19]. It is important to note that feet with plantar pressures above or below the normal values are indicative of possible lesions [16,26,37].

The contact time results differ from those reported in the literature which, although old, give values of 0.6 s [30] or 0.81 s [16]. The present work found a mean contact time of 0.72 s. This difference may be because the apparatus used was fixed to the floor whereas in the aforementioned studies [16,38] it consisted of mobile instrumented insoles inserted into the footwear of the participant.

However, there are some limitations in this work that need to be pointed out. The study sample was small in size, so caution will be required in any comparison of its results with laser studies of larger samples. In addition, all the participants were healthy young adults, so the findings cannot be extrapolated to any other type of population with different ages or clinical conditions. The gait speed of each subject was

ARTICLE IN PRESS

P. Calvo-Muñoz et al.

Journal of Foot Health and Care (2023) xxx

Table 2
Values *p*-value for the study means between both sessions.

VARIABLE	FIRST SESSION		SECOND SESSION		P VALUE
	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	
PM HEEL (g/cm ²)	757.65	185.69	785.62	161.82	0.233
PM MIDDLE (g/cm ²)	749.24	122.38	736.62	118.40	0.394
PM FOREFOOT (g/cm ²)	1112.19	151.79	1116.64	148.42	0.878
PX HEEL (g/cm ²)	1367.40	296.03	1377.05	302.43	0.187
PX MIDDLE (g/cm ²)	1511.39	485.66	1528.19	400.23	0.455
PX FOREFOOT (g/cm ²)	2486.09	527.05	2487.35	593.48	0.779
HEEL SURFACE (cm ²)	27.50	5.40	27.47	6.01	0.915
MIDDLE SURFACE (cm ²)	77.95	12.3	75.08	13.07	0.189
FOREFOOT SURFACE (cm ²)	57.34	9.1	56.16	11.97	0.388

PM = mean pressure; PX = maximum pressure.

Table 3
Repeatability of the study variables in the first session.

VARIABLE	Mean	Standard Deviation	ICC (95% CI)
PM HEEL (g/cm ²)	757.65	185.69	0.56 (0.336-0.942)
PM MIDDLE (g/cm ²)	749.24	122.38	0.59 (0.384-0.949)
PM FOREFOOT (g/cm ²)	1112.19	151.79	0.6248 (0.778-0.911)
PX HEEL (g/cm ²)	1367.40	296.03	0.582 (0.341-0.976)
PX MIDDLE (g/cm ²)	1520.39	389.60	0.586 (0.332-0.973)
PX FOREFOOT (g/cm ²)	2486.09	527.05	0.575 (0.361-0.903)
HEEL SURFACE (cm ²)	27.50	5.40	0.680 (0.518-0.925)
MIDDLE SURFACE (cm ²)	77.95	12.3	0.572 (0.398-0.922)
FOREFOOT SURFACE (cm ²)	57.34	9.1	0.610 (0.472-0.949)

PM = mean pressure; PX = maximum pressure; ICC = interclass correlation coefficient; 95% CI = 95% confidence interval.

Table 4
Repeatability of the study variables in the second session.

VARIABLE	Mean	Standard Deviation	ICC (95% CI)
PM HEEL (g/cm ²)	785.62	161.82	0.501 (0.278-0.931)
PM MIDDLE (g/cm ²)	736.62	118.40	0.303 (0.051-0.940)
PM FOREFOOT (g/cm ²)	1116.64	148.42	0.38 (0.130-0.930)
PX HEEL (g/cm ²)	1377.05	302.43	0.582 (0.342-0.976)
PX MIDDLE (g/cm ²)	1528.19	400.23	0.543 (0.308-0.925)
PX FOREFOOT (g/cm ²)	2487.35	593.48	0.557 (0.366-0.901)
HEEL SURFACE (cm ²)	27.47	6.01	0.613 (0.475-0.911)
MIDDLE SURFACE (cm ²)	75.08	13.07	0.548 (0.316-0.903)
FOREFOOT SURFACE (cm ²)	56.16	11.97	0.688 (0.496-0.936)

PM = mean pressure; PX = maximum pressure; ICC = interclass correlation coefficient; 95% CI = 95% confidence interval.

Table 5
Repeatability of the study variables between both sessions.

	Mean	Standard Deviation	ICC (95% CI)	CV (%)
PM HEEL (g/cm ²)	761.65	162.38	0.601 (0.442-0.801)	16
PM MIDDLE (g/cm ²)	752.93	118.42	0.632 (0.509-0.962)	16
PM FOREFOOT (g/cm ²)	1114.53	144.96	0.665 (0.776-0.921)	12
PX HEEL (g/cm ²)	1372.62	308.90	0.651 (0.542-0.982)	15
PX MIDDLE (g/cm ²)	1524.28	388.65	0.678 (0.502-0.963)	14
PX FOREFOOT (g/cm ²)	2486.64	537.82	0.664 (0.552-0.977)	15
HEEL SURFACE (cm ²)	27.48	5.61	0.694 (0.623-0.915)	19
MIDDLE SURFACE (cm ²)	77.97	12.31	0.679 (0.679-0.929)	16
FOREFOOT SURFACE (cm ²)	57.21	9.00	0.652 (0.518-0.972)	18

PM = mean pressure; PX = maximum pressure; ICC = interclass correlation coefficient; 95% CI = 95% confidence interval; CV = coefficient of variation.

not controlled, so as not to bias the results by modifying their own established gait patterns. However, this can be seen as a limitation of the study since it was considered that each patient had a different walking speed.

In contrast, there stands out as a strength of the study the reliability and repeatability of the Podoprint® system, as well as the identification of plantar pressures that correspond to parameters of normality, and which can thus serve as referents to establish pathological values through future lines of research.

5. Conclusions

The present study has shown that the Podoprint® pressure platform is a reliable tool with which to evaluate the distribution of plantar pressures in the dynamic study of barefoot human gait in healthy individuals. The ICCs and CVs indicated excellence of the measurements for all the areas of the foot evaluated. In addition, mean plantar pressure values comparable with normality parameters were identified, which can serve as referents against which to establish pathological values, thus providing an invaluable tool for everyday clinical practice.

Statement of ethics

Study endorsed by the Bioethics and Biosafety Committee of the University of Extremadura.

Author contributions

All the authors participated in the conception and design of the study, and the analysis and interpretation of the data. CMP collected the data. GMB and CMP were responsible for drafting the article. All the authors approved the final version of this article.

Declaration of competing interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments

Our thanks are due to the University Podology Clinic of the University of Extremadura, who selflessly donated their facilities and equipment to carry out this study.

ARTICLE IN PRESS

P. Gómez-Moreno et al.

Journal of Tissue Viability xxx (xxxx) xxx

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2022.07.005>.

References

[1] [Internet] Xu C, Wen XX, Huang LY, Zhang L, Cheng XX, Yao YR, Lei W. Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan® platform system. *J Foot Ankle Res* 2017;10(30). <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0239-2>. PMID: 28725271; PMCID: PMC5512844. [Accessed 28 July 2021].

[2] [Internet] de Castro MP, Muscolì M, Scossa DP, Fontana F, Borgognoni-Santoni M, Scossa F, et al. Accuracy and repeatability of the gait analysis by the WalkInScan system. *2014 World Res Int* 2014;4(3488-58). <https://doi.org/10.1139/2014-3488058>. Epub 2014 Feb 20. PMID: 24701378; DOI: 10.1135/2014/3488058. [Accessed 20 July 2021].

[3] Castro M, Abeti S, Scossa M, Marchetti R, Scossa J, Vilco-Roa. Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occupational loaded gait [Internet] *Appl Ergon* 2012;44(2):503-9. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.10.016>. [Accessed 20 July 2021].

[4] Novo H, Gouveia L, Barua-Ferreira L, Chaveson T, Duarte N, Oliveira C. Clinical analysis and baropodometric evaluation in diagnosis of abnormal foot posture: a clinical trial [Internet] *Journal of Bodywork and Movement Therapy* 2012;19(13): 429-35. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2014.09.007>. [Accessed 20 July 2021].

[5] Giancuzzi C, Maraldi F, Nagel A, Schmiedel A, Rosenbaum D. Cluster analysis to classify gait alterations in rheumatoid arthritis using peak pressure curves [Internet] *Gait Posture* 2009;29:226-4. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.08.004>. [Accessed 20 July 2021].

[6] Sanchez-Rodriguez R, Martínez-Nova A, Encarnilla-Martínez S, Peláez-Lacortosa JD. Can the foot pressure index on the individual criteria predict dynamic plantar pressures? [Internet] *Gait Posture* 2012;36:591-6. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.09.026>. [Accessed 20 July 2021].

[7] Xu C, Yao YR, Zhao X, Wen XX, Zhang L, Huang LY, et al. Pedobarographic analysis following Pemberton's Periapical Osteotomy for unilateral developmental dysplasia of the hip: an observational study. *Medicine* 2015;94:e6932. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000493> [Internet]. [Accessed 28 July 2021].

[8] Yen BK, Buzzaiah DR. The effect of foot insoles and in-shoe wedges during cycling: a systematic review. *J Foot Ankle Res* 2014;7(31). <https://doi.org/10.1186/1745-1757-11-457-31>. [Accessed 21 July 2021].

[9] Sallier AS, Gyi DE. An evaluation of personalized insoles developed using additive manufacturing [Internet] *J Sports Sci* 2013;31:442-50. <https://doi.org/10.1080/02646193.2013.794829>. [Accessed 20 July 2021].

[10] Izquierdo-Bonasa M, Pérez-Solís J, Ribas-García V, Quereh A. Intra and inter-session repeatability and reliability of the S-Harell pressure platform [Internet] *Gait Posture* 2017;53:224-8. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.12.001>. Epub 2016 Dec 2. PMID: 27936441. [Accessed 21 July 2021].

[11] Pérez-Solís J, Ribas-Belich S, Encarnación-Martínez A, Martínez-Nova A, Mosy-Gilgale G. Nocturnal walking practice might improve plantar pressure distribution. *Res Q Exerc Sport* 2011;82(4):690-6. <https://doi.org/10.1080/02701347.2011.595978>. [Accessed 20 July 2021].

[12] Hurtado A. Uso de la baropodometría [Internet] *Medigraphic* 2006;2(4):255-61. <http://www.medigraphic.com/pdfs/odm/odm-06-2006/odm0604.pdf>. [Accessed 21 July 2021].

[13] González CV, et al. Análisis de las presiones plantares: técnicas y aplicaciones. *Medicina de Rehabilitación* 1999;X(5):22-30.

[14] Domingo CJ, et al. Contribución e historia de la baropodometría eléctrica. *Rev Mex Cienc Farmacol* 1998;42(3):189-92.

[15] Garney JK, Keating GU, Rosenbaum D. Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. *Gait Posture* 2008;27: 786-9. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.07.002> [Internet]. [Accessed 22 July 2021].

[16] Martínez-Nova A, Castro-García JC, Peralta-Huarez J, Sanchez-Rodriguez R. Reliability in three systems: normal values and comparison of the reliability and repeatability [Internet] *Foot* 2007;17:190-6. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2007.04.002>. [Accessed 22 July 2021].

[17] Velaz E, Nollan F, Alegría F. Preventive and curative importance of the baropodometric analysis for ergonomics and occupational health. *Work* 2012;41: 1696-9. <https://doi.org/10.1385/WORK-2012-0404-1696> [Internet]. [Accessed 22 July 2021].

[18] Zammar GV, Breen HK, Martens SR. Reliability of the TekScan MatScan® system for the measurement of plantar forces and pressures during barefoot level walking in healthy adults [Internet] *J Foot Ankle Res* 2016;9(1):11. <https://doi.org/10.1186/s13047-016-1146-3>. [Accessed 22 July 2021].

[19] Fernández-Ruiz H, Gallo-Lobo C, Becerra-de-Saegua-Vallejo R, Lora-Iglesias ME, Becerra-Martín C, López-López D, Martínez-Jiménez CA. Intra and inter-session repeatability and reliability of dynamic pressure in pressure platform measurements on subjects with simulated leg length discrepancies [Internet] *A cross-sectional research*. *Braz J Med Biol Res* 2021;54(4):36. <https://doi.org/10.1590/1678-9649.20200791>. [Accessed 22 October 2021].

[20] Mueller M, Buchhorn T, Alkhalaf RJ. Normal pressure values and repeatability of the Emad® ST2 system. *Gait Posture* 2010;32(1):301-4. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.06.029> [Internet]. [Accessed 22 July 2021].

[21] Rosenbaum AE, Eiras P, Arnold GP, Wang W, Alkhalaf RJ. Repeatability of the Pedar-X in-shoe pressure measuring system. *Foot Ankle Surg* 2016;16(2):70-2. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2015.05.004>. [Accessed 22 October 2021].

[22] Hardy A, Bergeron-Walker P, Naveil B, Cheekakattana N. Repetibilidad de WalkInScan (R) en el sistema de medicación de la presión del calcáneo en un estudio preclínico [Internet] *Rev (Educat)* 2012;25:9. <https://doi.org/10.1016/j.ree.2011.11.004>. [Accessed 22 October 2021].

[23] Murphy DF, Beynon RD, Mitchell JD, Yacki PM. Efficacy of plantar loading measurement during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressures. *Foot Ankle Int* 2005;26(2): 171-9. <https://doi.org/10.1177/107110070502600210> [Internet]. [Accessed 22 October 2021].

[24] Becerra de Saegua-Vallejo R, Lora-Iglesias ME, Zam J, Thomas R. Reliability and repeatability of the portable EFS platform digital pressure-plate system [Internet] *J Am Podiatr Med Assoc* 2013;103(3):197-203. <https://doi.org/10.7557/1033107>. PMID: 23697724. [Accessed 22 October 2021].

[25] Garney JK, Keating GU, Rosenbaum D. Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population [Internet] *Gait Posture* 2008;27(4):786-9. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.07.002>. Epub 2007 Aug 10. PMID: 17693067. [Accessed 22 July 2021].

[26] [Internet] Sánchez-Saiz JM, Palomo-López F, Becerra-de-Saegua-Vallejo R, Colvillo-C, Lora-Iglesias ME, López-Del-Año-Lorenzo A, López-López D. Stability of three different unitary shoes on ballcure workers: a cross-sectional study. *16 Int J Environ Res Pub Health* 2019;16(12):2126. <https://doi.org/10.3390/ijerph16122126>. PMID: 31200123; PMCID: PMC6416453. [Accessed 22 July 2021].

[27] Hughes A, Pratt L, Liang K, Clark P, Klemmman L. Reliability of pressure measurements (the EM ED F system) [Internet] *Chin Biomech* 1991;16(1):14-3. [https://doi.org/10.1016/0264-3191\(91\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0264-3191(91)90056-4). PMID: 25916326. [Accessed 22 October 2021].

[28] Van der Linden M, Dekker JH, Steenhouwer PC, Leek-Wenand of SS, Steultjens MP. Reproducibility of plantar pressure measurements in patients with chronic arthritis: a comparison of one-step, two-step, and three-step protocols and an estimate of the number of measurements required [Internet] *Foot Ankle Int* 2004; 25(10):729-44. <https://doi.org/10.1177/1071100704262010>. PMID: 15566706. [Accessed 22 October 2021].

[29] General Assembly of the World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects [Internet] *J Am Coll Dent* 2014;81(1):18-3. PMID: 25261871. [Accessed 22 October 2021].

[30] [Internet] Huang H, Qiu J, Liu T, Ye Y, Guo Q, Luo D, Ao Y. Similarity of course of pressure progression during walking and jogging of anterior cruciate ligament deficient patients. *10 PLoS One* 2017;12(10):e0169421. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169421>. PMID: 28072074; PMCID: PMC5224073. [Accessed 22 July 2021].

[31] [Internet] Jones KA, Erkan AL, Karel LA. Plantar pressure after occupational treatment for clawfoot: immediate follow-up at age 5 years. *Am J Podiatr Orthop* 2017;37(1):53-8. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000302>. PMID: 28145258. [Accessed 22 July 2021].

[32] Hulse JF, Leathel MW, Song J, Jordan JM, Hannan MT, Hillstrom KE. Reliability of plantar pressure platforms [Internet]. *2015 Gait Posture* 2017;53(1):84-5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.07.025>. PMID: 23484044; PMCID: PMC3752486. [Accessed 22 July 2021].

[33] Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data [Internet]. *1977 Biometrics* 2004;23(1):159-74. PMID: 643371. [Accessed 28 July 2021].

[34] Webber MP, Portney L. Foundations of clinical research: applications to practice. third ed. Staven Janice; Pearson Prentice Hall; 2009.

[35] Bartock B, Reiss JL, Hurdley AS. A new view of inter-observer agreement. *Person Psychol* 1963;16:373-84. <https://doi.org/10.1111/j.1474-6526.1963.tb01205.x>

[36] Hughes A, Clark P, Liang K, Klemmman L. A comparison of two studies of the pressure distribution under the feet of normal subjects using different equipment [Internet] *Foot Ankle* 1993;14(9):514-9. <https://doi.org/10.1177/1071100793100903>. PMID: 8314186. [Accessed 22 October 2021].

[37] Nagel A, Frenkle P, Kibick C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressure beneath the rearfoot heels: a barefoot walking investigation of 200 marathon runners [Internet] *Gait Posture* 2008;27(1):152-5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.10.015>. Epub 2007 Feb 5. PMID: 17274606. [Accessed 22 October 2021].

[38] Michalek T. Foot in footwear and other forms of conservative foot care. *Manuals in Masses and Willies*; 1992.

7.2. Segundo Manuscrito

7.2.1. Resumen

“Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing”

PRESENTACIÓN

TITULO: Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing.

AUOTRES: Paula Cobos-Moreno, Álvaro Astasio-Picado, and Beatriz Gómez-Martín.

REVISTA: International Journal of Environmental Research and Public Health.

VOLUMEN: 19

NUMERO: 7

DOI: 10.3390/ijerph19074302

AÑO DE PUBLICACIÓN: 2022

7.2.2. Informe

El trabajo titulado “Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing”, se public en la revista International Journal of Environmental Research and Public Health. Actualmente dicha revista se encuentra indexada en numerosas bases de datos de referencia entre las que destacamos:

- EMBASE (Elsevier)
- GEOBASE (Elsevier)
- Journal Citation Report/science Edition (clarivate Analytics, Formerly Thomson)
- Medline (NLM)
- Pubmed (NLM)
- Science Citation Index Expanded-Web of Science (Clarivate Analytics)
- Scopus (Elsevier)
- Web of Science (Clarivate Analytics)

Respecto al Journal Citation Reports los ultimo datos correspondientes al año 2020 indican que la revista ocupa la posición 118/274 revista en el área de salud pública, ambiental y ocupacional equivalente a un 2º cuartil (Q2). El índice de impacto de la revista en el área es de 2,047. El índice de impacto de la revista a 5 años es de 3,789.

Contribución del doctorando: El doctorando ha participado activamente en la. Adquisición y procesamiento de los datos y en el análisis de los mismos. El doctorando ocupa la primera posición.

Contribución de los Co-autores: Álvaro Astasio Picado y Beatriz Gómez Martin, diseñaron el procedimiento y participaron activamente con el doctorando.

El trabajo presentado no será utilizado como contribución a ningún otro proyecto de tesis doctoral en este u otro programa de doctorado.

Fdo. Beatriz Gómez Martin

7.2.3. Resumen en español

La escalada es un deporte multidisciplinar, donde el objetivo principal es alcanzar el punto más alto de una pared de roca o llegar al final de una ruta establecida. Existen diferentes tipos de modalidades: escalada deportiva y escalada tradicional. Los riesgos y las precauciones que se tomen con respecto a este deporte afectarán directamente a la epidemiología de las lesiones relacionadas con su práctica. El presente estudio fue diseñado para identificar y caracterizar las lesiones más frecuentes en los pies de escaladores y determinar si existe una relación entre las lesiones que aparecen y el tiempo de práctica de este deporte.

Se recogieron un total de 53 personas, 32 hombres y 21 mujeres, correspondientes a los escaladores de la FEXME (Federación) Extremeña de Montaña y Escalada). Para determinar los diagnósticos, se realizan pruebas exploratorias, clasificadas según las variables a estudiar se realizan: variables de inspección y variables del cuestionario.

La media de años de escalada fue de siete años, y la media de horas de entrenamiento a la semana fue de 6,6 h. El 70% de los encuestados presentaba algún tipo de alteración, y el 45% de los participantes presentaba dolor de pies durante la escalada.

El valor p mostró una relación entre los años de escalada y la aparición de lesiones crónicas en los pies ($p = 0,035$), sin embargo, no hay relación entre la aparición de lesiones y la edad cronológica.

Podemos ver que las lesiones más frecuentes en la práctica de la escalada son los dedos en garra, las alteraciones dérmicas como la bursitis del primer dedo y el hallux limitus, seguido del hallux valgus. Asimismo, sólo se encontró una relación significativa entre el número de años de escalada y la aparición de lesiones en el pie.

7.2.4. Copia del segundo manuscrito

Copyright: Como autor de este artículo de MPDI, conservo el derecho de incluirlo en una tesis o disertación, siempre que no se publique comercialmente. No se requiere autorización.

Article

Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing

Paula Cobos-Moreno ¹, Álvaro Astasio-Picado ^{2,*} and Beatriz Gómez-Martín ¹

¹ Nursing Department, University of Extremadura, 10001 Plasencia, Spain; pmoreno@unex.es (P.C.M.); bgomez@unex.es (B.G.-M.)

² Nursing, Physiotherapy and Occupational Therapy Department, Faculty of Health Sciences, University of Castilla-La Mancha, Real Fábrica de Sedas, s/n, 45001 Talavera de la Reina, Spain

* Correspondence: alvaroa.astasio@uclm.es; Tel.: +34-925-720-010

Abstract: Background: Climbing is a multidisciplinary sport, where the main objective is to reach the highest point of a rock wall or to reach the end of an established route. There are different types of modalities: sport climbing and traditional climbing. The risks and precautions taken with respect to this sport will directly affect the epidemiology of injuries related to its practice. The present study was designed to identify and characterize the most frequent injuries in the feet of climbers and to determine if there is a relationship between the injuries that appear and the time spent practicing the sport. Methods: A total of 55 people were collected, 32 men and 23 women, corresponding to the members of the PEXME (Extremadura Federation of Mountains and Climbing). To determine the diagnoses, exploratory tests, classified according to the variables to be studied, are carried out: inspection variables and questionnaire variables. Results: The average number of years of climbing was seven years, and the average number of hours of training per week was 6.6 h. Some type of alterations were presented in 70% of the respondents, and foot pain was present during climbing in 43% of the participants. The *p*-value showed a relationship between years of climbing and the occurrence of chronic foot injuries (*p* = 0.037), however, there is no relationship between the occurrence of injuries and chronological age. Conclusion: We can see that the most frequent injuries in the practice of climbing are claw toes, dermal alterations such as bursitis of the first toe and hallux limitus, followed by hallux valgus. Similarly, only a significant relationship was found between the number of years of climbing and the appearance of foot injuries.

Keywords: lower limb; sport medicine; clim



Citation: Cobos-Moreno, P.; Astasio-Picado, Á.; Gómez-Martín, B. Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 4302. <https://doi.org/10.3390/ijerph19244302>

Academic Editor: Diego Augusto Santos Silva

Received: 27 February 2022

Accepted: 1 April 2022

Published: 7 April 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The origins of climbing have little to do with sports. Precisely, the first climbers can be considered the scientists who, during the 18th and 19th centuries, discovered a large part of the most important mountains in the world [1]. Climbing is a multidisciplinary sport, where the main objective is to reach the highest point of a rock face or the end of a set route [2]. Different types of modalities can be differentiated: 3–4 sport climbing and traditional climbing, in which the climber reaches the “top” of the route and then descends, with the nuance that in sport climbing fixed anchors will be used while, traditionally, the climber must protect against a fall by fixing the anchors to the rock himself [1–3]. Sport climbing as we know it today emerged in the 1980s [4,5]. The existence of climbing walls from the 1960s gave a real boost to the evolution of the discipline. In 1991, the first international climbing competition was held in Frankfurt, Germany [2]. Despite such early beginnings, it was not until 1998 when modalities such as bouldering were officially introduced in the field of international competition, according to the official website of the International Federation of Climbing and Mountain Sports (IFSC). It should be noted that female participation has been present since the first competition in both bouldering

and sport climbing [6,7]. Sport climbing has become very popular in recent years, being practiced by people of all kinds and ages. This popularity may be due to factors such as the increase in competitive events or the integration of climbing as an Olympic sport in the Tokyo Games. In climbing, successions of acyclic movements are made that seek to move the body [5], where both the hands and the feet [8] actively participate. The federation of said sport promoted the design and construction of synthetic dams, located in sports facilities that simulate the geographical irregularities of a natural space; what are known today as climbing walls [9].

As for the movements of the lower body, there are different technical gestures whose main objective is to bring the center of gravity closer to the wall. Thus, one of these gestures is that of heeling, which will consist of the support of the heel on a foot hold. On the contrary, in the determined gesture “toe”, pressure will be made against a foot prey using the dorsal part of the foot. Despite the fact that most climbing injuries are detected in the upper extremities, joints such as the knee also receive a high level of stress during the execution of some of the aforementioned technical gestures [7]. It is necessary to consider the graduation of the difficulty of the climb, since this may have a certain relationship with the rate of injuries. In addition, the different difficulties in nature climbing are accessible to any age range [8]. The risks and precautions taken regarding this sport practice will directly affect the epidemiology of injuries related to its practice [10].

It is very important to spend adequate time stretching before and after physical activity, to help prevent the appearance of some of these injuries. Performing a progressive warm-up, where the activity gradually increases, will help strengthen the tendons and muscles. The main effect of warming up is to increase the temperature of the muscles that are going to exercise [11]. This gives these structures greater flexibility and, therefore, less susceptibility to tearing under high stress. Another effect of warming up is to increase awareness of the position and movement of the joints. Due to the fact that, as has been mentioned previously, this factor is of great importance in terms of the risk of injury, warming up acquires great importance in the prevention of these [12]. Other techniques, such as applying a little cold after exercise due to its multiple benefits or bandaging the affected area, can prevent the onset of tendinitis or other typical injury related to climbing [10].

There are types of preventive measures available to avoid the above injuries. The combination of these measures together with adequate knowledge of the mechanisms of injury can considerably reduce the risk of incidence. In this way, certain behaviors will be avoided, in addition to taking the necessary measures in case of discomfort, so as not to further aggravate the damage [7–9]. Climbing is a sport of growing popularity [11–13], meaning the incidence of injuries related to it can increase, so it is convenient to know the type of injuries that climbers can suffer [12,13]. The lesions can be chronic or acute [13,14]. Currently, traumatic injuries have become rare due to improvements in the material used in this sport. Although, it is important to note that many of the injuries are caused by raising the physical limits and the difficulties of the sections [15]. The boom that climbing has caused, by including it in the Tokyo Olympics as a sport, means that more and more people want to practice this sport, which implies that not knowing the sport well can injure them. Hence, the importance of this study is to assess the possible common injuries in the climber's foot and to be able to prevent these injuries over time. For the literature, this study would be very interesting due to the scarcity of studies on chronic pathologies in the foot due to the practice of climbing. The literature has focused on the upper limbs, leaving the lower limbs, which are no less important, forgotten. Emphasizing, once again, that the foot is one of the most important parts of the body, it is important to know these injuries in order to prevent them or prevent them from getting worse.

The objective of this study is to identify the most frequent injuries in the feet of climbers and to determine if there is a relationship between the injuries that appear and the time of practice of said sport.

2. Methodology

2.1. Design and Sample

A descriptive, cross-sectional and prospective study was carried out. The study population is made up of 53 climbers ($n = 53$): 32 men and 21 women, corresponding to the climbers of the FEXME (Extremadura Federation of Mountain and Climbing), who mainly practice climbing on climbing walls. The FEXME is a representative member of the FEDME (Spanish Federation of Mountain Sports and Climbing).

Inclusion and exclusion criteria were applied to the participating population as shown in Table 1.

Table 1. Inclusion and exclusion criteria.

Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
Climbing for more than year 2 Practice climbing at least 2 days per week Be federated in FEXME *	Having a health problem that alters our sample Having active pain in the lower extremity at the time of sampling

*FEXME (Spanish Federation of Mountain Sports and Climbing).

2.2. Equipment and Procedure

The surveys were administered between February and March 2021, at the Cereza Wall climbing wall in Plasencia (Cáceres). To determine the diagnoses, exploratory tests classified according to the variables to be studied are carried out.

On the one hand, variables were collected by questionnaires: age, sex, years of climbing, training time, place of climbing, shoe size, number of feet, cat model and pain scale 16 (mechanical and visual).

On the other hand, the variables by inspection are morphostructural alterations (hallux valgus, hallux limitus, claw toes), dermatological alterations (blisters, nail problems, hyperkeratotic patterns, hematomas) and nail alterations.

The diseases considered for the statistical analysis were the most frequently found when climbing: skin, nail, joint disorders and pain. Diagnosis was based on clinical signs and symptoms and was determined by a single examiner. Based on these data, an epidemiological study of foot diseases in climbers was carried out.

2.3. Ethical Considerations of the Study

The Bioethics and Biosafety Committee of the University of Extremadura (UEX) has reviewed and approved the evaluation and treatment protocols for the data included in this study. It was approved by the committee on 3 March 2021. It is registered under number 15/2021.

All subjects have informed consent. The study was planned and carried out following the ethical principles of the Declaration of Helsinki. In addition, in the treatment of patient data, only those of the subject involved that were essential for the study were processed, discarding data such as the name or medical history of the patient in order to ensure compliance with Organic Law 3/2018, of 5 December, of Protection of Personal Data and Royal Decree 5/2018, of 27 July, which approves the regulations for their development. In addition, the clinical data handled in this investigation have been treated with the utmost confidentiality and custody of the information in accordance with the provisions of Law 41/2002, of 14 November, Regulatory Basic Patient Autonomy.

All participants voluntarily agreed to participate in the study. The subjects underwent a clinical examination prior to the study in order to apply the inclusion/exclusion criteria. Anthropometric data of the subjects such as age, sex, height and weight were also recorded.

2.4. Data Processing and Statistical Analysis

All data were entered from the paper surveys into an Excel worksheet using Microsoft Excel 2010 (Microsoft, Albuquerque, NM, USA). SPSS software version 21.0 for iOS[®] (IBM, New York, NY, USA) was used for statistical analysis.

The descriptive analysis of the data included the calculation of frequency and median. Chi-square was used for the association of variables with 95% confidence, in which a level of $p < 0.05$ was statistically significant confidence.

3. Results

The sample consisted of 32 men and 21 women (60% and 40%, respectively). The average age of the sample was 27.5 with a deviation of 12.83. The means of weight and height are $57.75 \text{ kg} \pm 16.94$ and $1.62 \text{ m} \pm 17.10$, respectively.

All respondents practice sport climbing in a climbing wall, although 60% also practice rock climbing. The average number of hours of training per week is 6.6 h, with 15 h being the maximum number of hours found and the minimum 3 h. The average number of years climbing is seven years. The maximum number of years is 22, and the minimum is 2. (Figure 1).

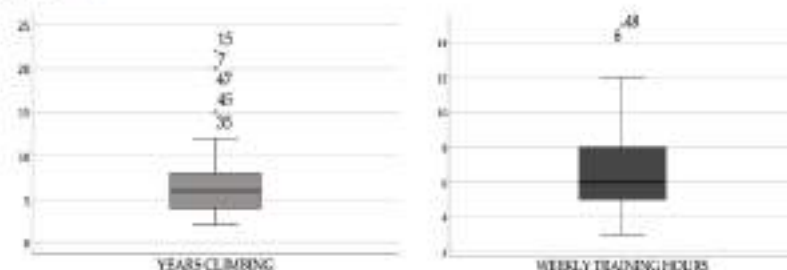


Figure 1. Frequency of years climbing and hours of training. YEARS CLIMBING (the values of the first and third quartiles are 4 and 8, respectively, with a median of 6. The upper whisker is 22, while the lower whisker is 2. Its mean is 7.06); WEEKLY TRAINING HOURS (the values of the first and third quartiles are 5 and 8, respectively, with a median of 6. The upper whisker is 12, while the lower whisker is 3. Its mean is 6.60), extreme cases.

Over 70% of the people surveyed have some type of alteration or injury to the foot, of which 42% are men and the remaining 32% are women (Figure 2).

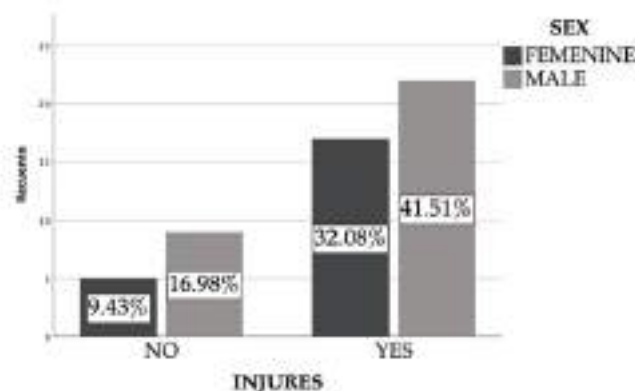


Figure 2. Frequency of injuries in the climber's foot.

The most frequent digital injuries are claw toes, with 59%, an alteration that caused metatarsalgia in climbers. The most common skin lesions are bursitis of the first toe, with 62% of respondents, being more prevalent in people who used smaller shoes and who had a higher degree of climbing difficulty. In addition, the most frequent joint injury, with 52%, is hallux limitus, compared to 40% of hallux valgus. (Table 2). Another important fact to highlight is the presence of hyperkeratosis in the climber's feet, with the head of the first

toe being the most frequent area of appearance, with 51.3%, followed by the backs of the toes, with 21.6%.

Table 2. Percentage of climber's foot injury type.

	Damaged Joint	Dermic Injury	Digital Injury	Nail Injury
%	68	62	68	15
TYPE OF INJURE	Claw (86.7%) Mallet (13.3%)	First finger bursitis (100%)	Limitus (52%) HAV * (40%) Rigidus (8%)	Subungueal Hemtoma (100%)

*HAV (Hallux Abductus Valgus).

Nail alterations were present in 15% of the climbers, the most common being subungual hematomas and onychodystrophies such as onychomycosis. It is worth emphasizing that the most serious alterations were related to those people who had the greatest degree of difficulty in the practice of climbing. (Figure 2). Ankle sprain is found in only 5% of the participants, infrequent compared to other injuries.

The years of climbing practice have a significant association with the presence of injury ($p = 0.035$), so the more years of climbing practice the greater the probability of injury (Table 3), however, there is no association between the presence of injury attributable to chronological age ($p = 0.534$).

Table 3. Contingency table and Chi-square test for the association between the presence of injury and years practicing climbing.

Years Climbing	Less Than 7 Years	7 Years or More	Total	
INJURE?	YES	38.48%	61.52%	38
	NO	85.72%	14.28%	14
Chi-square			0.035 *	

* Level of significance.

Another relevant data in our study is the presence of pain during the practice of climbing: 45% of the participants affirm that they have pain during the practice, and that this pain is found in the first toe.

4. Discussion

Next, and following the same structure established in the presentation of the results, we proceed to discuss them. Thus, in the first place, we will proceed to assess the percentage of subjects who present foot injuries with the practice of climbing, followed by what type of injuries are the most frequent, to finalize whether or not there is a relationship between the years of climbing practice and hours of training with the appearance of these injuries. According to the first stated objective, it has been discovered that the most frequent injuries in the practice of climbing are claw toes, followed by bursitis of the first toe and hallux limitus, finding only a relationship to the appearance of injuries with the years of climbing and age of climbing practice. Being a sport that is gaining popularity, as the number of participants increases there will also be a greater number of injuries that will need to be treated in one way or another [2–5].

Currently, most of the previous literature focuses on acute injuries related to falls [16–18], and there are few studies associated with chronic injuries of the climber's foot that report on the prevalence of these injuries, hence the aim of this study. There are several studies, but they focus on the upper extremity [19,20] more than the lower, and it is important to highlight that the lower extremity is the most important part of the body in climbing, although the opposite is believed, something that Neuhof [21] already stated, as did Volker [22].

In the present study, 70% of the participants had some type of chronic foot injury, 40% in men and 30% in women. It is important to note that there were 20% more men

than women, so women are injured more than men, something that Grønhaug already demonstrated in their studies in 2016 [23] and 2018 [24]. They believed that the reason for this difference was the time of injury may be due to the anatomy of the foot in women versus men, but this is not clear, so more research is needed [24]. Anatomic differences in the ankle may account for the difference in reported ankle and foot injuries. Climbing shoes are made primarily for the male ankle, creating a tighter, more stressful pressure point on the female Achilles tendon. This suggestion is supported by the high prevalence of foot/ankle injuries among route climbers in this study [21]. The most common chronic lesions found in the study were claw toes and hallux valgus, followed by dermal alterations such as hallux valgus bursitis and some nail alterations. These pathologies were also described by Largiad [21] and Schöffl [22] years ago in their studies.

The most common chronic injuries found in the study were claw toes and hallux valgus, followed by skin changes such as hallux valgus bursitis and some nail changes. These pathologies were also described by Largiad [25] and Schöffl [26] years ago in their studies. It is important to highlight the need to know the importance of what type of injuries people have and how to prevent them, since lower extremity injuries were still prevalent and possibly more serious than upper extremity injuries. Largiad also refers to the existence of acute injuries such as ankle trauma and sprains, stating that they are one of the most recurrent injuries in climbers; however, in our study less than 10% had suffered a calcaneal sprain or trauma. In this study, it was observed that the longer the climbing time, the higher the probability of lesions; this fact was also observed by Grønhaug G [23,24] and Neuhofer [21] in their studies, respectively.

There is research that focuses on foot pain during climbing, linking this pain to the use of shoes that do not fit well or are too tight [17,27]. This study confirms these findings and reports a higher prevalence of foot pain during climbing, with 45% of participants experiencing foot pain, which may be attributable to poorly fitting footwear commonly chosen for climbing activity.

Regarding the chronological age of the climber, no significant difference was found, something that Schöffl [26] already found, stating that the effects of age have shown different results in different studies, pointing out that it is not longevity that affects the risk of injuries, but the years of practice that take. That is, the longer you have been climbing, the greater the chance of injury.

In this study, it is observed that the longer the climbing time, the greater the probability of the presence of lesions, this fact was also observed by Grønhaug [23] and Neuhofer [21] in their studies. Previous findings of a higher injury incidence rate among more experienced athletes were due to more hours of training and more extreme movements when climbing. Therefore, professional and elite climbers are more prone to injury than beginners [27]. According to these authors, the cause of this is due to the fact that there is not enough time for the tendons to adapt between sessions, which causes the microtraumas induced by training to worsen, significantly increasing the risk of injury.

In contrast, as a strength of the study, the novelty of this study for the scientific population stands out, since most of the articles that deal with climbing injuries focus on the upper extremity, and in the case of injuries that affect the lower extremity, focus on acute injuries and not on chronic ones, as is accomplished in this study, as is the identification of the most frequent injuries in relation to the years of climbing practice. These data can serve as a reference to establish common chronic injuries in the climber's foot through future lines of research.

As for the limitations of the study, although the results obtained are conclusive in terms of the study objectives, larger samples could yield more conclusive results. The heterogeneity between the participants means that the results found should be taken with caution. This, in itself, justifies the implementation of future research.

5. Conclusions

We can see that the most frequent injuries in the practice of climbing are claw toes, dermal alterations such as bursitis of the first toe and hallux limitus, followed by hallux valgus. Similarly, a significant relationship was only found between the number of years of climbing and the appearance of foot injuries.

Author Contributions: Conceptualization, Á.A.-P.; methodology, B.G.-M.; formal analysis, Á.A.-P., B.G.-M. and P.C.-M.; Resources, Á.A.-P.; data curation, B.G.-M.; writing—preparation of original draft, B.G.-M.; writing—reviewing and editing, Á.A.-P., B.G.-M. and P.C.-M.; visualization, Á.A.-P. and P.C.-M.; supervision, Á.A.-P. and B.G.-M. All authors have read and agree with the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data from this study are available from the corresponding author on reasonable request.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Abbreviations

FEXME Extremadura Federation of Mountain and Climbing
FEDME Spanish Federation of Mountain Sports and Climbing

References

- Canalejo, J.C. Perfil Antropométrico y Respuesta Psico-Fisiológica en Escalada Deportiva en Roca: Diferencias Entre Modalidades. Ph.D. Thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain, 2010.
- Michailov, L.M. Workload characteristic, performance limiting factors and methods for strength and endurance training in rock climbing. *Med. Sport* **2014**, *18*, 97–106.
- Schoffl, V.; Morrison, A.; Schwarz, U. Evaluation of injury and fatality risk in rock and ice climbing. *Sports Med.* **2010**, *40*, 657–679. [[CrossRef](#)]
- Wall, B.C.; Starek, E.J.; Fleck, J.S.; Byrnes, C.W. Predictors of indoor climbing performance in women rock climbers. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 77–83. [[PubMed](#)]
- Antonioli, F. Escalada Libre. In *Manual de Facilidad en Paredes con Cien Ejercicios Progresivos*; Grijalbo: Barcelona, Spain, 1998.
- Colorado Sierra, J. Montañismo y trekking. In *Manuales Desnivel 32*; Desnivel Ediciones: Madrid, Spain, 2001.
- Draper, N.; Brent, S.; Hodgson, C.; Blackwell, C. Flexibility assessment and the role of flexibility as a determinant of performance in rock climbing. *Int. J. Perform. Anal. Sport* **2008**, *9*, 67–89. [[CrossRef](#)]
- Christine, M.; Robert, A.; Susie, M.; Vivian, H. Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *Br. J. Sports Med.* **1997**, *31*, 224–228.
- Lloveras, P.; Alvesa, C. *Basees Para el Entrenamiento en Escalada*; Desnivel: Madrid, Spain, 2000.
- Fuster, J.; Elizalde, B. Riesgo y actividades físicas en el medio natural: Un enfoque multidimensional. *Apunt. Educ. Fis. Y Deportes* **1995**, *41*, 94–107.
- Bollen, S.R. Soft tissue injury in extreme rock climbers. *Br. J. Sports Med.* **1988**, *22*, 145–147. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Barnister, P.; Foster, P. Upper limb injuries associated with rock climbing. *Br. J. Sports Med.* **1986**, *20*, 55. [[CrossRef](#)]
- Merritt, A.L.; Huang, J.I. *Hand Injuries in Rock Climbing*; JHS: Kansas City, MO, USA, 2011; p. 36A.
- Logan, A.J.; Makwana, N.; Mason, G.; Dias, J. Acute hand and wrist injuries in experienced rock climbers. *Br. J. Sports Med.* **2004**, *38*, 545–548. [[CrossRef](#)]
- Adam, D.; Angi, M.; Patricia, A. Factors influencing osteological changes in the hands and fingers of rock climbers. *J. Anat.* **2006**, *209*, 597–609.
- García Romero, J.; Jiménez Romero, M.; Fernández Abascal, F.A.P.A.; Sánchez Carrillo, F.; Gil Fernández, M. La medición del dolor: Una puesta al día. *Med. Integr.* **2002**, *39*, 317–320.
- Jones, G.; Asghar, A.; Llewellyn, D.J. The epidemiology of rock-climbing injuries. *Br. J. Sports Med.* **2008**, *42*, 773–778. [[CrossRef](#)]
- Nelson, N.G.; McKenzie, I.B. Rock climbing injuries treated in emergency departments in the US, 1990–2007. *Am. J. Prev. Med.* **2009**, *37*, 195. [[CrossRef](#)]
- Maitland, M. Injuries associated with rock climbing. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **1992**, *16*, 68. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

20. Rohrbaugh, J.T.; Mudge, M.K.; Schilling, R.C. Overuse injuries in the elite rock climber. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2000**, *32*, 1369. [[CrossRef](#)][[PubMed](#)]
21. Neuhofer, A.; Hennig, F.F.; Schöffl, I.; Schöffl, V. Injury risk evaluation in sport climbing. *Int. J. Sports Med.* **2011**, *3*, 794–800. [[CrossRef](#)][[PubMed](#)]
22. Volker, S.; Thomas, K. Feet injuries in rock climbers. *World J. Orthop.* **2013**, *4*, 218–228.
23. Grønhaug, G.; Nørberg, M. First overview on chronic injuries in sport climbing: Proposal for a change in reporting of injuries in climbing. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* **2016**, *2*, e000063. [[CrossRef](#)]
24. Grønhaug, G. Self-reported chronic injuries in climbing: Who gets injured when? *BMJ Open Sport Exerc. Med.* **2018**, *4*, e000406. [[CrossRef](#)]
25. Largaier, U.; Oelz, O. An analysis of overstrain injuries in rock climbing. *Schweiz Z Sportmed.* **1993**, *41*, 107–114.
26. Schöffl, V.; Schöffl, I. Competition Climbing. *Sportortho Sporttrauma* **2012**, *28*, 22–28.
27. Wang, R.J. Footwear In rock climbing: Current practice. *Foot* **2015**, *25*, 152–158.

7.3. Tercer Manuscrito

7.3.1 . Resumen

“Pathophysiological Behaviour of the Climber’s Foot versus the General Population: A Prospective Observational Study”

PRESENTACIÓN

TITULO: “Pathophysiological Behaviour of the Climber’s Foot versus the General Population: A Prospective Observational Study”

AUOTRES: Paula Cobos-Moreno, Álvaro Astasio-Picado, and Beatriz Gómez-Martín.

REVISTA: Healthcare

VOLUMEN: 10 **NUMERO:** 5 **DOI:** 10.3390/healthcare10050868

AÑO DE PUBLICACIÓN: 2022

7.3.2. Informe

El trabajo titulado “Pathophysiological Behaviour of the Climber’s Foot versus the General Population: A Prospective Observational Study” se publicó en la revista *Healthcare*. Actualmente dicha revista se encuentra indexada en numerosas bases de datos de referencia entre las que destacamos:

- Journal Citation Report/science Edition (Clarivate Analytics, Formerly Thomson)
- Pubmed (NLM)
- Science Citation Index Expanded-Web of Science (Clarivate Analytics)
- Scopus (Elsevier)
- Web of Science (Clarivate Analytics)

Respecto al Journal Citation Reports los últimos datos correspondientes al año 2020 indican que la revista ocupa la posición 40/88 revista en el área de salud pública, ambiental y ocupacional equivalente a un 2º cuartil (Q2). El índice de impacto de la revista en el área es de 2,645. El índice de impacto de la revista a 5 años es de 3,044.

Contribución del doctorando: El doctorando ha participado activamente en la Adquisición y procesamiento de los datos y en el análisis de los mismos. El doctorando ocupa la primera posición.

Contribución de los Co-autores: Álvaro Astasio Picado y Beatriz Gómez Martin, diseñaron el procedimiento y participaron activamente con el doctorando.

El trabajo presentado no será utilizado como contribución a ningún otro proyecto de tesis doctoral en este u otro programa de doctorado.

Fdo. Beatriz Gómez Martin

7.3.3. Resumen en español

La escalada deportiva se está volviendo cada vez más popular, con personas de todo tipo y edades que la practican. Los pies sufren mucha presión con el gesto de escalada deportiva, que a largo plazo puede producir alteraciones en la primera articulación metatarsofalángica o en el primer radio del pie. El presente estudio fue diseñado para observar y cuantificar el comportamiento del pie en sujetos escaladores en comparación con un grupo de sujetos no escaladores, comparando las presiones, la primera articulación metatarsofalángica y el primer radio del pie

Se trata de una investigación no experimental y observacional, transversal, descriptiva y prospectiva. La muestra del estudio consistió en 105 sujetos (42 hombres y 63 mujeres). El grupo de control estaba formado por 52 sujetos y el grupo de escalada formado por 53 sujetos. Se llevaron a cabo diferentes pruebas exploratorias en todos los sujetos, tales como: la movilidad de la articulación metatarsopálgica y el primer radio del pie y el estudio de las presiones plantares en diferentes áreas del estudio.

No se encontró ninguna diferencia significativa entre las mediciones del pie izquierdo y derecho ($p > 0,05$). Las presiones del mismo pie son significativas, tanto en etapas estáticas como dinámicas para ambos grupos. La presión máxima en el grupo de escalada estaba bajo la primera cabeza metatarsiana, mientras que en el grupo de control estaba bajo la segunda cabeza metatarsiana. Hubo diferencias significativas en la movilidad de la primera articulación metatarsiana y del primer radio entre los dos grupos.

Se puede ver que el grupo de escaladores tiene menos presión plantar que el grupo de control. También tienen movilidad alterada del primer radio y de la primera articulación metatarsofalángica.

7.3.4. Copia del tercer manuscrito

Copyright: Como autor de este artículo de MPDI, conservo el derecho de incluirlo en una tesis o disertación, siempre que no se publique comercialmente. No se requiere autorización.



Article

Pathophysiological Behaviour of the Climber's Foot versus the General Population: A Prospective Observational Study

Paula Cobos-Moreno ¹, Álvaro Astasio-Picado ^{2,*} and Beatriz Gómez-Martín ¹

¹ Nursing Department, University of Extremadura, 10600 Plasencia, Spain; pcobos@unex.es (PC-M); bgomez@unex.es (BG-M)

² Nursing, Physiotherapy and Occupational Therapy Department, Faculty of Health Sciences, University of Castilla-La Mancha, Real Fábrica de Sedas, s/n, 45600 Talavera de la Reina, Spain

* Correspondence: alvaroaastasio@udm.es; Tel.: +34-923-921-010

Abstract: Sport climbing is becoming increasingly popular, with people of all types and ages practising it. The feet suffer a lot of pressure with the sport climbing gesture, which in the long run can produce alterations in the first metatarsophalangeal joint or in the first radius of the foot. **Objective:** To observe and quantify the behaviour of the foot in climbing subjects compared to a group of non-climbing subjects, comparing the pressures, first metatarsophalangeal joint and first radius of the foot. **Method:** This is a non-experimental and observational, cross-sectional, descriptive and prospective research. The study sample consisted of 105 subjects (42 males and 63 females). The control group consisted of 52 subjects and the climbing group consisted of 53 subjects. Different exploratory tests were carried out on all the subjects, such as: mobility of the metatarsophalangeal joint and first radius of the foot and the study of plantar pressures in different areas of the study. **Results:** No significant difference was found between left and right foot measurements ($p > 0.05$). The pressures of the same foot are significant, both at static and dynamic stages for both groups. The maximum pressure in the climbing group was under the first metatarsal head, while in the control group it was under the second metatarsal head. There were significant differences in the mobility of the first metatarsal joint and the first radius between the two groups. **Conclusion:** It can be seen that the group of climbers has less plantar pressure than the control group. They also have altered mobility of the first radius and the first metatarsophalangeal joint.

Keywords: foot; plantar; pressures; chronic; injuries; sport climbing; first radius



Paula Cobos-Moreno, E; Astasio-Picado, A.; Gómez-Martín, B. Pathophysiological Behaviour of the Climber's Foot versus the General Population: A Prospective Observational Study. *Healthcare* 2022, 10, 968. <https://doi.org/10.3390/healthcare10050968>

Academic Editor: Filipe Manuel Clemente

Received: 4 April 2022
Accepted: 3 May 2022
Published: 9 May 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The origins of climbing have little to do with what we know today, since the first climbers can be considered the scientists who, during the 18th and 19th centuries, discovered many of the most important mountains in the world [1]. However, it was in the 1980s that sport climbing as we know it today was born [2].

Sport climbing is a booming sport, where the number of participants is constantly increasing [3]. Around 1985, the first rock climbing competitions took place. In 2021, climbing will be considered as an Olympic discipline for the first time at the Olympic Games in Tokyo [4].

Efficient climbing requires good footwork; both legs and feet are designed to support body weight, arms are not. Despite the above statement highlighting the greater importance of the feet over the arms, studies focus more on upper limb injuries [5]. Learning to optimally position the feet reduces stress on the forearms and positions the body to efficiently reach the next grip point. In addition, paying attention to the feet is important to avoid possible injury in the event of a slip.

However, it should be noted that sometimes the error lies not in the technique but in the quality of the climbing foot, thus providing poor grip and complicating effective foothold [6].

Most rock climbing and alpine climbing used to be performed in mountaineering boots, which were made of leather and eliminated any sensitivity, as well as putting a lot of force on the toes to propel oneself [7]. Many of the injuries that appear on climbers' feet are due to the result of using unnaturally shaped or undersized climbing shoes. The small toe box keeps the foot in an unstable, supinated position, and the thinness of the shoe causes sensitivity to the foot. Climbing shoes fit like a second skin, to obtain this fit, climbers accept pain during and after climbing [7,8]. In addition, the feet suffer a lot of pressure in the sport, mostly due to the use of climbing shoes. This excess compression can eventually lead to alterations of the first metatarsophalangeal joint or the first radius of the foot [9,10]. There are several scientifically validated tools available to clinically assess these changes such as the goniometer [11,12], the first radius gauge [12] or pressure platform [13].

There is little bibliographic reference that talks about foot injuries due to the practice of climbing. There are recent publications describing injuries related to the use of climbing shoes. Traumatic injuries are the most common [14]. Injuries can be classified as acute or chronic. The most common acute injuries are: contusion, calcaneal fracture, talus fracture, ankle fracture, ankle sprain with lateral ligament injury, etc. [7]. While the most common chronic injuries are: hyperkeratosis, helomas, claw toes, Achilles tendon insertion injuries, fasciopathies. In addition to, the existence of pain in the toenails, as well as subungual haematomas, dystrophic nails, nail onycholysis, hallux valgus, hallux rigidus, nail infections, blisters, etc. [7,15].

The mechanism of foot injury depends on the technique used; in heeling, the heel is positioned on the support and force is exerted on it to rise above it by flexing the hamstrings. It is during this gesture that an external rotation of the knee is exerted, exerting great tension on its posterior and lateral structures. It could be said that the force exerted on the aforementioned structures, added to the angulation to which the knee is subjected, is what causes this type of injury during the heeling gesture. While in the frog position, the knees will be fully flexed and with a lateral orientation. The most common injuries in this type of position are meniscus tears, on the other hand, falls can be related to both upper and lower body joint injuries. The referred to lower body joint injuries vary depending on the climbing modality. Thus, in sport climbing, injuries usually occur because the climber hits the wall after falling, doing so with the knees extended [7,8].

Baropodometry is a technique that allows us to analyse the gait using devices such as baropodometers, allowing us to know the pressures exerted on each of the points of the plantar surface, both statically and dynamically. It makes it possible to visualise in real time, during the development of the gait, both the load surface and the line formed from the centre of gravity or body thrust [16]. The electronic baropodometric system is not intended to replace clinical examination or other podiatric or radiological examinations, but is an effective complementary method that can help us to better understand foot disorders [17]. Several authors have confirmed through work carried out with electronic baropodometers that all the metatarsals bear loads and that these mainly fall on the central metatarsals [18,19]. Thanks to this diagnostic technique, some surgical techniques, such as those used for the treatment of hallux abductus valgus, have been modified by verifying the loss of support of the distal phalanx of the hallux [20], just as important aspects of the surgical results in calcaneal fractures have been verified [21].

In the field of research, its use is oriented towards quantitative analysis of the foot, whether static or dynamic [22,23]. Specifically in dynamics, it allows the study of gait from the kinetic point of view and can be complemented with kinematic methods for a more complete analysis [24]. It makes it possible to visualise in real time, during the development of the gait, both the load surface and the line formed from the centre of gravity or body thrust [25]. This technique makes it possible to analyse the subject in a non-invasive way and obtain rapid results with a high level of precision, reliability and repeatability [26–28], data that will be useful for studying how the climber's foot behaves compared to the non-climbing group and for preventive podiatry against the injuries that appear in the foot when practising this sport [20].

Therefore, the main objective of this research is to observe how the climber's foot behaves compared to a non-climbing group (control group), comparing both the plantar pressures of the first radius and the pressures of the first metatarsophalangeal joint, as previous scientific evidence has shown that these are the anatomical structures that are most affected by the practice of this sport.

2. Methods

2.1. Type of Design

This study follows the four main lines according to Hernández-Sampieri [29] and Argimon and Jiménez [30]. It is a non-experimental, observational, cross-sectional, descriptive and prospective study. Within the type of study design, there is a group of climbers (cases) and a group of non-climbers (controls), and we compared both groups with respect to the study factors. All members were randomly selected.

2.2. Sample Size Calculation

For the sample size calculation, we used the formula: $n = (2S^2 (Z\alpha + Z\beta)^2) / d^2$, a standard deviation (S) was applied based on a previous pilot study (= standard error IA; = standard error II; d = minimum difference you want to detect). From this it was concluded that at least 53 subjects were required for each group in order to be able to make a comparison meeting these requirements.

2.3. General Characteristics of the Sample

The study sample consisted of 105 people, a total of 210 feet (42 men and 63 women). The control group consisted of 52 people and the climbing group consisted of 53 people. The inclusion and exclusion criteria were applied to the participating population. In the group of climbers, the inclusion criteria were: practice sport climbing regularly (minimum two days per week and a duration of two years), be federated in the FEXME, be residents of the autonomous community of Extremadura and patients who have freely agreed to participate in the study and have signed the corresponding informed consent. Similarly, the inclusion criteria of the control group: being healthy, having a normal footprint, being residents of the autonomous community of Extremadura. For both groups, the exclusion criteria were having a health problem or active pain in the lower limb. The study was carried out between January 2021 and November 2021. It was carried out in different types, firstly, the non-climbing population was recruited in the facilities of the university podiatry clinic in Plasencia, and then the climbers were recruited in the Cerezwall climbing wall in Plasencia.

2.4. Equipment and Procedure

Anthropometric data: age, sex, height and weight were recorded at the beginning of the study and collected on the recording sheet. To avoid differences in pressure measurements, all participants performed the test barefoot. The study of plantar pressures was carried out with the Podoprint® pressure platform (Namrol Group, Barcelona, Spain). This system consists of a portable platform, with dimensions of only 570 mm × 570 mm and 9 mm thick and weighing 3.8 kg, which allows the user to carry out complete static and dynamic studies thanks to its 1600 sensors.

This platform has high sensitivity sensors capable of capturing 200 images per second and transmitting them to the connected computer via the Wi-Fi network. The captured images are processed by the manufacturer's own software for Windows®.

The platform was set up on a 20-metre long, flat, unobstructed surface, allowing subjects to walk at their own walking pace, at a constant pace and without space concerns that could impair data recording or distort the subject's gait [22]. All participants were instructed to walk the walkway as naturally as possible to avoid biases in each patient's own gait. Participants undertook a pilot test prior to the start of the 10-min data collection session [8,22]. To avoid sampling bias due to the use of footwear, all participants performed

the test barefoot. At the beginning of each sampling session the equipment was calibrated according to the manufacturer's guidelines. Capturing the plantar pressures starts when the patient walks naturally, recording eight steps at random in each session (four steps with the right foot and four steps with the left foot), a sufficient number to provide reliability for the plantar pressures [8–10,19], of the four steps that come out of the multi-step system, we will take the clearest and most accurate image for the analysis of the image and obtaining the data necessary for the study.

Three different records are obtained in order to calculate the arithmetic mean and minimise intra-explorer bias [23,24]. All records were collected by the same observer. After each measurement, a check was made to ensure that the recording had been completed correctly, thus avoiding possible errors or false supports. Once it was correct, the next recording was continued. The record was considered valid and reliable only if there were at least two complete footprints for each foot.

For the assessment of the first radius, a scientifically validated first radius mobility meter was used to quantify the maximum degree of plantar and dorsal flexion in millimetres of this joint [7]. For this purpose, the subject was in the supine decubitus position on the examination table with the ankle relaxed and the subtalar joint in neutral position. With one hand, the explorer held the long limb over the heads of the second to fifth metatarsals, and with the other hand he held the short limb over the head of the first metatarsal. In this position, we moved the head of the first metatarsal to its maximum dorsal flexion and then to its maximum plantar flexion, recording the millimetres it moved in both directions. The measurement was taken three times for each subject in order to establish an arithmetic mean when studying this variable.

For the assessment of the metatarsophalangeal joint, a two-arm goniometer was used as a scientifically validated instrument [25]. The exploratory technique was performed according to the scientific literature using the technique indicated for this purpose [26]. As in previous exploratory techniques, three records were collected in order to be able to calculate the mean value when studying the variable.

The technique was carried out by two different explorers, one with 5 years of experience, while the second has more than 20 years of experience. Both scouts carried out several tests prior to the final data collection in order to reduce inter- and intra-scouting bias.

2.5. Ethical Considerations of the Study

All subjects signed the informed consent form and voluntarily agreed to participate in the study. This study was approved by the Bioethics Committee of the University of Extremadura, Cáceres (Spain) and was planned and conducted in accordance with the ethical principles of the Declaration of Helsinki. It was approved by the committee on 3 March 2021 with approval number 15/2021.

2.6. Data Processing and Statistical Analysis

All data were entered from paper surveys into an Excel worksheet using Microsoft Excel 2010. SPSS software version 21.0 for iOS[®] was used for statistical analysis.

Means and standard deviations of variables were calculated for descriptive analysis. The non-parametric tests used were Wilcoxon signed-rank test, Friedman test and Mann-Whitney U-test. To assess inter-rater reliability, the intraclass correlation coefficient (ICC) was calculated. It was considered significant for the statistical analyses in this study and for the reliability of the Podoprint[®] platform, $r > 0.8^{31}$.

3. Results

The sample for this study consisted first of 120 randomly selected individuals. Two groups were established: the control group and the climbers' group. Data were collected by two different scouts. Fifteen subjects were excluded as they did not meet all the inclusion criteria, so that the final sample comprising the study was 105 (42 men and 63 women). The mean age of the sample is 25.53 ± 9.528 and body mass index 22.46 ± 3.51 (Table 1).

Table 1. Descriptive data of the study participants showing demographic and anthropometric characteristics according to sex.

	Climbing Group					
	MAN <i>n</i> = 32		WOMAN <i>n</i> = 21		Total, <i>n</i> = 53	
	MEAN ± SD (95% CI)	VALOR P	MEAN ± SD (95% CI)	VALOR P	MEAN ± SD (95% CI)	VALOR P
AGE	29.22 ± 2.21 (24.69–33.74)	0.200	25.00 ± 2.87 (19.01–30.99)	0.078	27.55 ± 1.76 (24.01–31.09)	0.051
BMI	22.49 ± 0.41 (21.36–23.62)	0.200	19.76 ± 0.74 (18.20–21.31)	0.200	21.41 ± 0.32(20.45–22.37)	0.200
	Control Group					
	MAN <i>n</i> = 10		WOMAN <i>n</i> = 42		Total, <i>n</i> = 52	
	MEAN ± SD (95% CI)	VALOR P	MEAN ± SD (95% CI)	VALOR P	MEAN ± SD (95% CI)	VALOR P
AGE	23.50 ± 0.93 (21.39–25.61)	0.014	23.48 ± 0.49 (22.55–24.40)	0.010	23.48 ± 0.40 (22.66–24.30)	0.001
BMI	24.00 ± 0.31 (23.30–24.70)	0.104	23.42 ± 0.54 (22.32–24.53)	0.200	23.53 ± 0.45(22.64–24.43)	0.200

SD = Standard deviation; BMI = Body mass index; 95% CI = 95% confidence interval European countries.

3.1. Comparison of Plantar Pressures between the Control Group and the Group of Climbers

Firstly, it was found that the study data do not follow a normal pattern (*p*-values less than 0.05, Kolmogorov-Smirnov test), therefore, non-parametric statistical tests were chosen.

The mean values of peak pressures of the three study regions (first metatarsal head, second metatarsal head and ball of the first toe) can be seen in Table 2, values given in both static and dynamic. No significant difference was found between the measurements of the left foot versus the right foot (*p*-value > 0.05, Wilcoxon signed-rank test), which means that both feet behave the same.

In any case, the differences observed in Table 2, between the pressures of the same foot are significant (*p*-values less than one per thousand, Friedman Test), both in the static and dynamic of both groups.

In the climbing group, the maximum pressures located in the first metatarsal head were 2201.34 ± 96.31 g/cm² in static and 2007.57 ± 93.50 g/cm² in dynamic. In the control group, the maximum pressures located in the second metatarsal head in static and dynamic were 2445.75 ± 73.28 g/cm² and 2326.48 ± 72.12 g/cm², respectively. There was a significant difference between static and dynamic within the same group (*p*-value < 0.05, Wilcoxon signed-rank test). Pressures were higher in both the climber and control groups in the static than in the dynamic. (Table 3).

When comparing the climbers' group with the control group, it can be seen that there is a significant difference between the two groups (*p*-value is less than 0.05, Mann-Whitney U-test), both in static and dynamic. In the climbing group the maximum pressure is in the first metatarsal head (53% of the climbers had the maximum pressure in the first metatarsal head, followed by 26% in the second metatarsal head), while in the control group the maximum pressure is in the second metatarsal head (77% of them had the pressure in the second metatarsal head, followed by 10% in the first ball of the foot) Table 4.

Table 2. Mean maximum pressure in the study population by study groups and different feet.

	CLIMBING GROUP					
	LEFT FOOT		RIGHT FOOT		P-VALUE	
	MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)	LEFT FOOT MEAN ± SD (95% CI)	RIGHT FOOT MEAN ± SD (95% CI)	P-VALUE	
STATIC						
PX 1MT g/cm ²	2201.34 ± 96.31 (2006.06–2394.62)	2211.58 ± 107.91 (1995.04–2428.13)	2007.57 ± 93.50 (1819.93–2195.20)	2105.06 ± 98.42 (1907.57–2302.55)	0.873	0.176
PX 2MT g/cm ²	2020.75 ± 98.15 (1823.80–2217.71)	2010.98 ± 96.14 (1817.43–2204.35)	1887.08 ± 84.22 (1717.95–2056.20)	1853.23 ± 87.86 (1676.92–2029.53)	0.825	0.732
PXP g/cm ²	1730.02 ± 101.34 (1526.66–1933.38)	1812.85 ± 102.81 (1606.53–2019.17)	1505.95 ± 94.58 (1336.01–1705.68)	1572.13 ± 101.308 (1368.58–1773.42)	0.197	0.502
CONTROL GROUP						
PX 1MT g/cm ²	1550.10 ± 73.44 (1402.66–1697.53)	1538 ± 68.63 (1401.18–1676.74)	1435.98 ± 64.87 (1309.74–1566.22)	1425.94 ± 51.89 (1321.77–1530.12)	0.690	0.970
PX 2MT g/cm ²	2445.75 ± 73.28 (2298.63–2592.87)	2479.62 ± 68.12 (2343.62–2616.39)	2326.48 ± 72.12 (2181.68–2471.28)	23778.21 ± 60.47 (2256.79–2499.63)	0.817	0.974
PXP g/cm ²	1287.75 ± 86.67 (1113.78–1461.72)	1277.91 ± 93.79 (1089.52–1466.30)	1101.12 ± 80.94 (928.61–1263.62)	1127.44 ± 85.86 (955.06–1299.82)	0.731	0.873

PX1MT = Maximum pressure first metatarsal; PX2MT = Maximum pressure second metatarsal; PXP = Maximum pressure first pfp; SD = Standard deviation; 95% CI = 95% confidence interval European countries.

Table 3. Maximum static and dynamic pressure.

	STATIC		DYNAMIC		P-VALUE	
	MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)	P-VALUE	
CLIMBING GROUP						
PX1MT g/cm ²	2206.46 ± 706.13 (1012.50–3759.50)	2056.31 ± 635.48 (1048–3883.5)	1544.53 ± 487.02 (777–3204.5)	1430.96 ± 393.04 (515.5–2832)	0.000	0.000
PX2MT g/cm ²	2015.82 ± 696.96 (863–3839)	1870.15 ± 612.07 (926–3715)	2462.68 ± 482.03 (1521–3497.5)	2352.35 ± 440.75 (1512–3411.5)	0.000	0.000
PXP g/cm ²	1771.43 ± 708.83 (649–3444)	1538.99 ± 700.26 (589–3195)	1282.77 ± 629.33 (400–2877.5)	1114.27 ± 580.67 (362–2840.5)	0.000	0.000

PX1MT = Maximum pressure first metatarsal; PX2MT = Maximum pressure second metatarsal; PXP = Maximum pressure first pfp; SD = Standard deviation; 95% CI = 95% confidence interval European countries.

Table 4. Percentage of occurrence of plantar pressures.

		CLIMBING GROUP		CONTROL GROUP	
		STATIC	DYNAMIC	STATIC	DYNAMIC
PERCENTAJE	PX1MT	53	61	8	4
	PX2MT	27	20	77	85
	PXP	20	19	11	8
	PX4MT	0	0	5	3

PX1MT = Maximum pressure first metatarsal; PX2MT = Maximum pressure second metatarsal; PXP = Maximum pressure first pulp; PX4MT = Maximum pressure quarter metatarsal.

The lowest value obtained for the intraclass correlation coefficient for intra-observer reliability was 0.911, suggesting that the reproducibility of the measurement procedure was good.

3.2. Comparison of the Mobility of the First Radius between the Control Group and the Group of Climbers

The dorsal, plantar and total movement of the first radius in the sagittal plane has shown that the values between the left and right foot behave in the same way (*p*-value greater than 0.05, Wilcoxon sign rank test). Where differences are found is between groups, observing that the climbing group has a greater dorsal flexion than the control group, but the total range of movement in the climbing group is less than in the control group (*p*-value is less than 0.05, Mann-Whitney U-test) (Table 5).

Table 5. Movement of the first radio of all participants.

	CLIMBING GROUP			CONTROL GROUP			P VALOR *
	LEFT FOOT	RIGHT FOOT	P-VALOR	LEFT FOOT	RIGHT FOOT	P VALOR	
	MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)		MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)		
MFD	5.56 ± 1.07 (3–8)	5.43 ± 1.07 (3–8)	0.791	4.78 ± 1.51 (2–12)	4.75 ± 1.63 (2–12)	0.324	0.007 *
MFP	3.75 ± 1.37 (2–10)	3.35 ± 1.21 (2–9)	0.166	4.26 ± 1.31 (2–9)	4.15 ± 1.21 (1–6)	0.102	0.000 *
MT	9.31 ± 2.12 (4–17)	8.88 ± 2.22 (3–15)	0.110	9.80 ± 1.54 (6–16)	9.94 ± 1.52 (7–15)	0.709	0.001 *

MFD = Movement in dorsiflexion; MFP = Movement in plantarflexion; MT = Total movement; SD = Standard deviation; 95% CI = 95% confidence interval European countries; * *p* value between scaling group and control group.

3.3. Comparison of the Mobility of the First Metatarsophalangeal Joint between the Control Group and the Group of Climbers

The mobility of the first metatarsophalangeal joint was found to behave equally between the left and right foot (*p*-value greater than 0.05, Wilcoxon sign-rank test). Where differences are found is between groups, observing that the climbing group has less dorsal flexion and plantar flexion than the control group (*p*-value is less than 0.05, Mann-Whitney U-test) (Table 6).

Table 6. Movement of the first metatarsophalangeal joint of all participants.

	CLIMBING GROUP			CONTROL GROUP			P VALOR *
	LEFT FOOT	RIGHT FOOT	P-VALOR	LEFT FOOT	RIGHT FOOT	P VALOR	
	MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)		MEAN ± SD (95% CI)	MEAN ± SD (95% CI)		
FD	53.85 ± 12.42 (10–76)	54.14 ± 10.81 (25–80)	0.902	70.40 ± 11.65 (37–80)	70.07 ± 11.43 (40–89)	0.919	0.000 *
FP	29.07 ± 8.14 (10–50)	29.15 ± 8.04 (10–50)	0.867	38.07 ± 8.24 (19–59)	37.26 ± 8.10 (19–59)	0.915	0.000 *

FD = Dorsiflexion; FP = Plantarflexion; SD = Standard deviation; 95% CI = 95% confidence interval European countries; * p value between scaling group and control group.

4. Discussion

Firstly, we will proceed to assess the plantar pressures of the control group (non-climbers) compared to the case group (climbers), followed by the behaviour of the mobility of the first radius, and finally the mobility of the first metatarsophalangeal joint.

In accordance with the first objective, there are some recent studies in the scientific literature that address research topics related to the foot using the Podoprint platform [31–35]. However, none have studied plantar pressures in the climber. This study identifies the normal values of plantar pressures of the foot in three study areas in a healthy population versus a climbing population. This contribution to the scientific community can be considered a strength of the study, as the values identified can serve as a reference for establishing pathological values through future lines of research.

Those authors who have lines of research on plantar pressures studies state that measurements can be affected by physiological changes in muscle activity, posture and gait speed [23,35,36]. Therefore, it is not sufficient to use a single test to obtain dynamic foot parameters from a sample. By averaging several tests, the variability of gait patterns is reduced [37]. Other authors have suggested that three recordings are sufficient to obtain a consistent result [33]. In this study, the protocol was followed and as outlined in previous scientific publications in studies with similar interventions. Each of them, in turn, recorded four trials of each foot, (this being possible thanks to the option provided by the manufacturer of the Podoprint system: “multi-step”).

The most reliable plantar pressure parameter is the maximum pressure [24,38]. In the present study, in the non-climbing group (control group) the maximum pressure (Px) is found in the forefoot region (exactly under the head of the second metatarsal), a fact that coincides with the studies carried out by Xu C, who used the footscan [24] or the study by Maetzler [38], which used the Emed platform, both authors also looked for normal pressure parameters in healthy feet, the same objective as in this study. On the other hand, in the case group (climber group) the Px is located below the first metatarsal head. The Px of the second metatarsal (control group) is 2445.57 g/cm² (239.68 Kpa) and for the climber group 2201.34 g/cm² (215.23 Kpa), these values are lower than those found by the previously mentioned authors 367 Kpa, and 443 Kpa, respectively [24,38]. This may be due to the difference of sensors on the pressure platforms. These findings allow us to expose what is the normal distribution of pressures in the different areas of the foot for healthy subjects [19,28]. It is important to note that there are no studies that refer to plantar pressures in the climber's foot, observing a maximum pressure lower than normal, which is indicative of possible injuries [19,31–33], since the higher the pressure, the greater the overload and the greater the possibility of fracture or alteration of the metatarsal heads. Other authors such as Martínez Nova [28], Casto MPD [32] or [31] have validated pressure platforms with the aim of making them useful for study within the branch of podiatry, which is also achieved with this pressure platform.

Another objective of the study was to compare and quantify the mobility of the first radius between the feet of healthy patients (non-climbers) and the feet of climbers. The

results obtained reveal that climbers had a lower range of motion (ROM) than non-climbers, but that dorsal flexion was greater. Information that we can corroborate with subsequent studies [12,39,40]. In the 2018 study [15], they showed that the movement of the first radius was 12.66 mm, with this movement being 3 mm greater in both the control group and the climbers in our study (9.31, 9.80, respectively), which may be due to the fact that in that study mobility was studied by means of X-rays, a fact that also happens in the 2021 study [39]. In the 2020 study [12] only 1 mm difference was found, which may be due to the fact that in both studies the same device was used to measure mobility. Dorsiflexion and plantarflexion were also significant, with less dorsiflexion observed in non-climbing patients than in climbers. Previous investigators also found a difference between normal patients versus patients with some impairment of the first radius [12,41–43].

Finally, when comparing the mobility of the first metatarsophalangeal joint, the data reveal that climbers have limited dorsal flexion of the first metatarsophalangeal joint, as the value is below the normal mean [44–46], which is necessary for good propulsion. The data from the climbers cannot be compared with other authors, as there are no previous studies with athletes in this discipline.

As for the limitations of the study, although the results obtained are conclusive in terms of the objectives of the study, larger samples could yield more conclusive results. The heterogeneity among the participants means that the results found should be taken with caution. This, in itself, justifies the implementation of future research.

On the other hand, the strong point of the study is the novelty of this study for the scientific population, as there are no studies that focus on comparing how a climber's foot is compared to a normal foot. Knowing how a climber's foot behaves cannot help to avoid possible pathologies or chronic alterations that appear as a consequence of practising this sport. These data can serve as a reference to establish common chronic injuries in the climber's foot through future lines of research, that allow us to focus on the prevention of injuries to the climber's foot, helping them to avoid them and improving their sports performance with foot control, which allows us to focus on the prevention of injuries to the climber's foot, helping them to avoid them and improving their sports performance with foot control.

5. Conclusions

The climbers' group had lower maximum pressure values than the control group. In the same way, it was shown that in the climbers' group the maximum pressure was located under the first metatarsal head compared to the normal population that located it in the second metatarsal head. On the other hand, the first radius presented a decreased ROM in the climbing group compared to the control group, where an increase in dorsal flexion was observed. Additionally, finally, the first metatarsophalangeal joint was limited, as the values were well below the normal value, which is necessary for good propulsion of the foot.

These findings allow us to know how the climber's foot behaves and seek preventive podiatry to improve both the practice of climbing and the life of the subject studied.

Author Contributions: Conceptualization, P.C.-M.; methodology, B.G.-M.; software, P.C.-M.; validation, P.C.-M. and Á.A.-P.; formal analysis, Á.A.-P.; investigation, P.C.-M. and Á.A.-P.; resources, P.C.-M.; data curation, P.C.-M.; writing—original draft preparation, Á.A.-P.; writing—review and editing, Á.A.-P.; visualization, P.C.-M.; supervision, Á.A.-P.; project administration, Á.A.-P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: Our thanks are due to the University Podology Clinic of the University of Extremadura, who selflessly donated their facilities and equipment to carry out this study. Furthermore, our thanks to the “CerezaWall climbing Center” for allowing us to use their facilities and access its athletes.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Canalejo Couceiro, J. *Perfil Antropométrico y Respuesta Psico-Fisiológica en Escalada Deportiva en Roca: Diferencias Entre Modalidades*; Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INF, Universidad Politécnica de Madrid: Madrid, Spain, 2010.
- Wall, B.C.; Starek, E.J.; Fleck, J.S.; Byrnes, C.W. Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 77–83. [\[PubMed\]](#)
- Annual Report IFSC. *International Federation of Sport Climbing: Annual Report IFSC*; Torino, Italy, 2019; Volume 55.
- Seifert, L.; Wolf, P.; Schweizer, A. *The Science of Climbing and Mountaineering*; Routledge: London, UK, 2016.
- Donahoe, T.; Luebbers, C. *Rock Climbing: Mastering Basic Skills*; Mountaineers Books: Seattle, WA, USA, 2014.
- Sheldon, D. Fantastic Feet. *Climbing* **2014**, *32.5*, 32–33.
- Schöffl, V.; Küpper, T. Foot injuries in rock climbers. *World J. Orthop.* **2013**, *4*, 218. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Peters, P. Orthopedic problems in sport climbing. *Wilderness Emerg. Med.* **2001**, *12*, 100–110. [\[CrossRef\]](#)
- Grønhaug, G. Self-reported chronic injuries in climbing: Who gets injured when? *BMJ Open Sport—Exerc. Med.* **2018**, *4*, 406. [\[CrossRef\]](#)
- Neuhof, A.; Hennig, F.F.; Schöffl, L.; Schöffl, V. Injury risk evaluation in sport climbing. *Int. J. Sports Med.* **2011**, *32*, 794–800. [\[CrossRef\]](#)
- Menadue, C.; Raymond, J.; Kilbearth, S.L.; Refshauge, K.M.; Adams, R. Reliability of two goniometric methods of measuring active inversion and eversion range of motion at the ankle. *BMC Musculoskelet. Dis.* **2006**, *7*, 60. [\[CrossRef\]](#)
- Munuera-Martínez, P.; Távora-Vidalín, P.; Monge-Vera, M.A.; Sáez-Díaz, A.; Lafuente-Sotillos, G. The Validity and Reliability of a New Simple Instrument for the Measurement of First Ray Mobility. *Sensors* **2020**, *20*, 2207. [\[CrossRef\]](#)
- Hughes, J.; Pratt, L.; Linge, K.; Clark, P.; Klenerman, L. Reliability of pressure measurements: The EM ED F system. *Clin. Biomech.* **1991**, *6*, 14–18. [\[CrossRef\]](#)
- McHenry, R.D.; Arnold, G.P.; Wang, W.; Abboud, R.J. Footwear in rock climbing: Current practice. *Foot* **2015**, *25*, 152–158. [\[CrossRef\]](#)
- Cobos-Moreno, P.; Astasio-Picado, Á.; Gómez-Martín, B. Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 4302. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Hurtado, A. Uso de la baropodometría. *Mediografía* **2006**, *2*, 255–261.
- Yabar, L.F.; García, D.O.; Conde, C.; Villaciencio, E. *Estudio Para el Diseño de un Sistema Baropodométrico Electrónico*; Universidad Tecnológica del Perú: Lima District, Peru, 2006.
- Martínez-Nova, A.; Sánchez-Rodríguez, R.; Cuevas-García, J.C.; Sánchez-Barrado, E. Estudio baropodométrico de los valores de presión plantar en pies no patológicos. *Rehabilitación* **2007**, *41*, 155–160. [\[CrossRef\]](#)
- Bankoff, A.D.P.; Bekedooef, R.G.; Schmidt, A.; Ciol, P.; Zamai, C.A. Análise do equilíbrio corporal estático através de um baropodômetro eletrônico. *Ciências* **2006**, *4*, 19–30. [\[CrossRef\]](#)
- Uroz, D. *Influencia de la Cirugía Percutánea en Hallux Valgus Sobre las Presiones Plantares en Dinámica*; Ciencias de la Salud, Universidad de Granada: Granada, Spain, 2008.
- Lafuente, R.; Doñate, J.J.; Poveda, R.; García, A.; Soler, C. Valoración evolutiva de fracturas de calcáneo mediante el análisis biomecánico de la marcha. *Mujer Med.* **2005**, *22*, 177–185.
- Izquierdo-Benau, M.; Pérez-Soriano, P.; Ribas-García, V.; Queraft, A. Intra and inter-session repeatability and reliability of the S-Plate® pressure platform. *Gait Posture* **2017**, *1*, 224–226. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Pérez-Soriano, P.; Llana-Belloch, S.; Encarnación-Martínez, A.; Martínez-Nova, A.; Morey-Klapsing, G. Nordic walking practice might improve plantar pressure distribution. *Res. Q Exerc. Sport* **2011**, *82*, 593–599. [\[CrossRef\]](#)
- Xu, C.; Wei, X.X.; Huang, L.Y.; Shang, L.; Cheng, X.X.; Yan, Y.B.; Lei, W. Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan® platform system. *J. Foot Ankle Res.* **2017**, *10*, 30. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Kolcz, A.; Glówka, N.; Kowal, M.; Paprocka-Borowicz, M. Baropodometric evaluation of foot load distribution during gait in the group of professionally active nurses. *J. Occup. Health* **2020**, *62*, 12102. [\[CrossRef\]](#)
- Castro, M.; Aberg, S.; Sousa, H.; Machado, L.; Santos, R.; Vilas-Boas, J.P. Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occasional loaded gait. *Appl. Ergon.* **2013**, *44*, 503–509. [\[CrossRef\]](#)
- Gurney, J.K.; Kersting, U.G.; Rosenbaum, D. Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. *Gait Posture* **2008**, *27*, 706–709. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Martínez-Nova, A.; Cuevas-García, C.; Pascual-Huerta, J.; Sánchez-Rodríguez, R. BioFoot® in-shoe system: Normal values and assessment of the reliability and repeatability. *Foot* **2007**, *17*, 190–196. [\[CrossRef\]](#)
- Hernández-Sempieri, R. *Metodología De La Investigación*, 6th ed.; Mexico, D.F., Ed.; McGraw Hill: New York, NY, USA, 2013.

30. Argimón, J.; Jiménez, J. *Métodos De Investigación Clínica y Epidemiológica*, 4th ed.; Barcelona, Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2013.
31. Ramzanathan, A.K.; Kiran, P.; Arnold, G.P.; Wang, W.; Abboud, R.J. Repeatability of the Pedar-X[®] in-shoe pressure measuring system. *Foot Ankle Surg.* **2010**, *16*, 70–73. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. De Castro, M.P.; Meucci, M.; Soares, D.P.; Fonseca, P.; Borgonovo-Santos, M.; Sousa, F.; Machado, L.; Vilas-Boas, J.P. Accuracy and repeatability of the gait analysis by the WalkinSense system. *Bioinf. Res. Int.* **2014**, *2014*, 348659. [[CrossRef](#)]
33. Van der Leeden, M.; Dekker, J.H.M.; Siemunsma, P.C.; Lek-Westerhof, S.S.; Steultjens, M.P.M. Reproducibility of plantar pressure measurements in patients with chronic arthritis: A comparison of one-step, two-step, and three-step protocols and an estimate of the number of measurements required. *Foot Ankle Int.* **2004**, *25*, 739–744. [[CrossRef](#)]
34. Sánchez-Sáez, J.M.; Palomo-López, P.; Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R.; Calvo-Lobo, C.; Lusa-Iglesias, M.E.; López-del-Amo-Lorente, A.; López-López, D. Stability of Three Different Sanitary Shoes on Healthcare Workers: A Cross-Sectional Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 2126. [[CrossRef](#)]
35. Jeon, E.T.; Cho, H.Y. A Novel Method for Gait Analysis on Center of Pressure Excursion Based on a Pressure-Sensitive Mat. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 7845. [[CrossRef](#)]
36. Sánchez-Rodríguez, R.; Martínez-Nova, A.; Escamilla-Martínez, E.; Pedrera-Zamorano, J.D. Can the Foot Posture Index or their individual criteria predict dynamic plantar pressures? *Gait Posture* **2012**, *36*, 591–595. [[CrossRef](#)]
37. Vallejo, R.B.; Iglesias, M.E.L.; Zeni, J.; Thomas, S. Reliability and repeatability of the portable EPS-platform digital pressure-plate system. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2013**, *103*, 197–203.
38. Mäztler, M.; Bochsarsky, T.; Abboud, R.J. Normal pressure values and repeatability of the Emed[®] ST2 system. *Gait Posture* **2010**, *32*, 391–394. [[CrossRef](#)]
39. Távora-Vidalón, P.; Lafuente-Sotillos, G.; Manfredi Márquez, M.J.; Manuera-Martínez, P. Movilidad normal del primer radio en los planos sagital y frontal. *Rev. Española Podol.* **2021**, *32*, 27–35. [[CrossRef](#)]
40. Távora-Vidalón, S.P.; Moegge-Vera, M.Á.; Lafuente-Sotillos, G.; Domínguez-Maldonado, G.; Manuera-Martínez, P. Static Range of Motion of the First Metatarsal in the Sagittal and Frontal Planes. *J. Clin. Med.* **2018**, *7*, 456. [[CrossRef](#)]
41. Swanson, J.E.; Stoltman, M.G.; Oyen, C.R.; Mohrbacher, J.A.; Orandi, A.; Olson, J.M.; Glasoe, W.M. Comparison of 2D-3D Measurements of Hallux and First Ray Sagittal Motion in Patients With and Without Hallux Valgus. *Foot Ankle Int.* **2016**, *37*, 227–232. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. King, D.M.; Toolan, B.C. Associated deformities and hypermobility in hallux valgus: An investigation with weightbearing radiographs. *Foot Ankle Int.* **2004**, *25*, 251–255. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Faber, F.W.; Kleinrensink, G.J.; Verboog, M.W.; Vijn, A.H.; Snijders, C.J.; Mulder, P.G.; Verhaar, J.A. Mobility of the first tarsometatarsal joint in relation to hallux valgus deformity: Anatomical and biomechanical aspects. *Foot Ankle Int.* **1999**, *20*, 651–656. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Xu, C.; Li, M.; Wang, C.; Liu, H. Range of Motion of the First Metatarsophalangeal Joint After Different Capsulorrhaphies: A Comparative Cadaver Study. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2019**, *109*, 266–271. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Van Gheluwe, B.; Dananberg, H.J.; Hagmar, F.; Vanslaen, K. Effects of hallux limitus on plantar foot pressure and foot kinematics during walking. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2006**, *96*, 428–436. [[CrossRef](#)]
46. Park, C.H.; Chang, M.C. Forefoot disorders and conservative treatment. *Yeungnam Univ. J. Med.* **2019**, *36*, 92. [[CrossRef](#)]

7.4. Otras contribuciones derivadas de la tesis doctoral

7.4.1. Póster

“V JORNADAS DOCTORALES DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA”

TITULO: Estudio epidemiológico de las lesiones en el pie asociadas a la escalada en Rocódromo.



D. Eduardo Ortega Rincón, director de la Escuela Internacional de Postgrado (EIP) de la Universidad de Extremadura CERTIFICA que

Paula Cobos Moreno

ha presentado el póster titulado “Estudio epidemiológico de las lesiones en el pie asociadas a la escalada en Rocódromo” en las V Jornadas Doctorales de la Universidad de Extremadura organizadas por el Vicerrectorado de Planificación Académica, la Escuela Internacional de Postgrado y la Asociación de Doctorandos de la Universidad de Extremadura y que, dentro del Plan de Actividades Formativas Transversales de los Programas de Doctorado, se han celebrado el día 5 de noviembre de 2021 de forma híbrida.

Y para que conste y surta los efectos oportunos, se expide la presente certificación en Badajoz, a 5 de noviembre de 2021.

La Vicerrectora de Planificación Académica El Director de la Escuela Internacional de Postgrado

Dra. D^a. Pilar Suárez Marcelo

Dr. D. Eduardo Ortega Rincón



Código Seguro De Verificación:	JmCaNQB3o3x51yI+u8gn4Q==	Estado	Fecha y hora	
Firmado Por	María Pilar Suárez Marcelo - Sede - Vicerrectora de Planificación Académica	Firmado	11/11/2021 11:51:08	
	Eduardo Ortega Rincón - U00200018 - Director de la Escuela Internacional de Postgrado	Firmado	10/11/2021 18:13:20	
Observaciones		Página	1/1	
URI De Verificación	https://uex09.unex.es/vfirma/code/JmCaNQB3o3x51yI+u8gn4Q==			

4.4.2. Póster

“51 CONGRESO NACIONAL DE PODOLOGÍA

TITULO: Plataforma de presiones plantares Podoprint®: evaluación de fiabilidad, repetibilidad y determinación de parámetros de normalidad

51 CONGRESO NACIONAL DE PODOLOGÍA
PALACIO DE CONGRESOS

VALENCIA
18-19 NOVIEMBRE 2022

Ha presentado como coautora la comunicación póster “Plataforma de presiones plantares Podoprint®: Evaluación de fiabilidad, repetibilidad y determinación de parámetro de normalidad” que **ha sido aceptada** para el Programa del **51 Congreso Nacional de Podología** que tendrá lugar el 18 y 19 de noviembre de 2022.

Y para que así conste se expide el siguiente certificado en Valencia a 15 de julio de 2022.

D.ª Elena Carrascosa Romero
Presidenta del Consejo General de Colegios Oficiales de Podólogos

D.ª María Teresa García Martínez
Secretaria General del Congreso y Presidenta del Ilustre Colegio Oficial de Podólogos de la Comunidad Valenciana

7.4.3. Comunicación Ora

“VII JORNADAS DOCTORALES DE LA ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA”

TITULO: Comportamiento fisiopatológico del pie de escalador frente a la población general. Estudio observacional



UNIVERSIDAD DE MURCIA ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

MARIA PILAR MARTINEZ GARCIA, SECRETARIA DE LA ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

CERTIFICA QUE:

Dña. Paula Cobos Moreno, ha participado presentando una comunicación en formato oral titulada: **“Comportamiento fisiopatológico del pie de escalador frente a la población general. Estudio observacional”** en las VII Jornadas Doctorales de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Murcia que se desarrollaron durante los días 4, 5 y 6 de julio de 2022.

Y para que conste y surta los efectos oportunos donde proceda, se expide y firma la presente en

Murcia, a 18 de julio de 2022

Firmado con certificado electrónico reconocido.
La información sobre el firmante, la fecha de firma y el código de verificación del documento se encuentran disponibles en los márgenes izquierdo e inferior

Firmante: MARIA DEL PILAR MARTINEZ GARCIA Fecha hora: 18/07/2022 09:23:06 Emisor del certificado: CN=MC, FNMT, Usuario: O=C=Centro de Firmas y Certificados



Edificio Rector Soler, Campus de Espinardo, 30100 Murcia

Código seguro de verificación: RUXFMgTX-eE+Ifs3h-HEduFaIE-aaDR4I8o

COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento administrativo electrónico archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2015, de 1 de octubre. Su autenticidad puede ser contrastada a través de la siguiente dirección: <https://sede.um.es/validador/>

CAPÍTULO 8: Conclusiones

En función de los resultados obtenidos y en relación a los objetivos previamente marcados en esta investigación, detallamos a continuación las conclusiones alcanzadas.

1. PRIMERA. - Con respecto a la determinación de la fiabilidad y repetibilidad de la plataforma de presiones Podoprint®, utilizada para obtener y analizar las variables del estudio, podemos concluir que:
 - A. El presente estudio ha demostrado que la plataforma de presión Podoprint® es una herramienta fiable para evaluar la distribución de las presiones plantares en el estudio dinámico de la marcha humana descalza en individuos sanos.
 - B. Los ICC y CV indicaron excelencia de las medidas para todas las áreas del pie evaluadas.
 - C. Se identificaron valores medios de presión plantar comparables con parámetros de normalidad, los cuales pueden servir como referentes contra los cuales establecer valores patológicos, brindando así una herramienta invaluable para la práctica clínica diaria
2. SEGUNDA. - Con respecto a la identificar las lesiones crónicas del pie relacionadas con la práctica de la escalada deportiva en rocódromo:

- A. las lesiones más frecuentes en la práctica de la escalada son los dedos en garra, alteraciones dérmicas como bursitis del primer dedo, hallux limitus seguido del hallux valgus.
 - B. La aparición de lesiones crónicas en el pie era más frecuente en aquellas personas que llevaban mas años escalando.
3. TERCERA. - Con respecto a la Análisis de las diferencias morfo-funcionales, si existen, del pie del escalador frente a un grupo no escaladores (grupo control), podemos concluir que:
- A. El grupo de escaladores tienen los valores de presión máxima con valores inferiores que los del grupo control.
 - B. De igual forma se evidencia como en el grupo de escaladores la presión máxima se encontraba debajo de la primera cabeza metatarsal frente a la población normal que la localizaba en la segunda cabeza metatarsal.
 - C. El primer radio presenta ROM disminuido en el grupo de escaladores frente al grupo control, donde se observa un aumento de la flexión dorsal.
 - D. La primera articulación metatarsofalangica se encuentra limitada, ya que los valores estaban muy por debajo del valor normal, que es necesario para una buena propulsión del pie.

BIBLIOGRAFÍA

- Annual Report IFSC. (2019). *International federation of sport climbing*;
- Antonioli, F. (1998). *Escalada Libre. Moverse con facilidad en paredes con cien ejercicios progresivos*. (Barcelona: Grijalbo.).
- Argimón J, & Jiménez J. (2013). *Métodos de investigación clínica y epidemiológica* (Elsevier;; Ed.; 4o Edición).
- Astasio-Picado, Á., Cobos-Moreno, P., Gómez-Martín, B., Zabala-Baños, M. D. C., & Aranda-Martín, C. (2022). Clinical Management of Intraosseous Access in Adults in Critical Situations for Health Professionals. *Healthcare*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE10020367>
- Bankoff, A. D. P., Bekedorf, R. G., Schmidt, A., Ciol, P., & Zamai, C. A. (2006). Análise do equilíbrio corporal estático através de um baropodômetro eletrônico. *Conexões*, 4(2), 19–30. <https://doi.org/10.20396/CONEX.V4I2.8637971>
- Bannister, P., & Foster, P. (1986). Upper limb injuries associated with rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 20(2), 55. <https://doi.org/10.1136/BJSM.20.2.55>
- Benhamú S. (2011). *Factores podológicos predictivos de la laxitud ligamentosa en la población adulta* - Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=119613>
- Bertuzzi, R. C. de M., Franchini, E., Kokubun, E., & Kiss, M. A. P. D. M. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of*

Applied Physiology, 101(3), 293–300. [https://doi.org/10.1007/S00421-007-0501-](https://doi.org/10.1007/S00421-007-0501-0)

0

Bierman, R. A., Christensen, J. C., & Johnson, C. H. (2001). Biomechanics of the first ray. Part III. Consequences of Lapidus arthrodesis on peroneus longus function: a three-dimensional kinematic analysis in a cadaver model. *The Journal of Foot and Ankle Surgery : Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 40(3), 125–131. [https://doi.org/10.1016/S1067-2516\(01\)80077-6](https://doi.org/10.1016/S1067-2516(01)80077-6)

Bojsen-Møller, F., & Lamoreux, L. (1979). Significance of free-dorsiflexion of the toes in walking. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 50(4), 471–479. <https://doi.org/10.3109/17453677908989792>

Bollen, S. R. (1988). Soft tissue injury in extreme rock climbers. *British Journal of Sports Medicine*, 22(4), 145–147. <https://doi.org/10.1136/BJSM.22.4.145>

Buell, T., Green, D. R., & Risser, J. (1988). Measurement of the first metatarsophalangeal joint range of motion. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 78(9), 439–448. <https://doi.org/10.7547/87507315-78-9-439>

Bus, S. A., Ulbrecht, J. S., & Cavanagh, P. R. (2004). Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity. *Clinical Biomechanics*, 19(6), 629–638. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.02.010>

- Camp A, Montiel E, Poveda D, Salvador I, & Orgilés C. (2006a). *Estudio dinámico de la presión en el pie: podobarografía* |. 22. <https://pesquisa.bvsalud.org/ses/resource/pt/ibc-050229>
- Camp A, Montiel E, Poveda D, Salvador I, & Orgilés C. (2006b). *Estudio dinámico de la presión en el pie: podobarografía* | *Av. diabetol*;22(1): 54-61, ene.-mar. 2006. *ilus, tab* | *IBECS* | *Secretaria de Estado da Saúde - BVS*. <https://pesquisa.bvsalud.org/ses/resource/pt/ibc-050229>
- Canalejo Couceiro, J. (2010). *Perfil antropométrico y respuesta psico-fisiológica en escalada deportiva en roca: diferencias entre modalidades*. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte- INEF.
- Cancilleri, F., Marinozzi, A., Martinelli, N., Ippolito, M., Spiezia, F., Ronconi, P., & Denaro, V. (2008). Comparison of plantar pressure, clinical, and radiographic changes of the forefoot after biplanar Austin osteotomy and triplanar Boc osteotomy in patients with mild hallux valgus. *Foot & Ankle International*, 29(8), 817–824. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.0817>
- Castro, M., Abreu, S., Sousa, H., Machado, L., Santos, R., & Vilas-Boas, J. P. (2013). Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occasional loaded gait. *Applied Ergonomics*, 44(3), 503–509. <https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2012.10.016>
- Castro, M. P. D., Meucci, M., Soares, D. P., Fonseca, P., Borgonovo-Santos, M., Sousa, F., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2014). Accuracy and repeatability

- of the gait analysis by the WalkinSense system. *BioMed Research International*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/348659>
- CM, M., RA, R., SM, M., & VH, H. (1997). Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 31(3), 224–228. <https://doi.org/10.1136/BJSM.31.3.224>
- Cobos-Moreno, P., Astasio-Picado, Á., & Gómez-Martín, B. (2022). *Epidemiological Study of Foot Injuries in the Practice of Sport Climbing*. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074302>
- Comín CM. (1999). Factores que influyen en las presiones plantares. *Medicina de Rehabilitación*, 12(3), 31–39.
- Cornwall, M. W., & McPoil, T. G. (2002). Motion of the calcaneus, navicular, and first metatarsal during the stance phase of walking. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 92(2), 67–76. <https://doi.org/10.7547/87507315-92-2-67>
- de Geus, B., O'Driscoll, S. V., & Meeusen, R. (2006). Influence of climbing style on physiological responses during indoor rock climbing on routes with the same difficulty. *European Journal of Applied Physiology*, 98(5), 489–496. <https://doi.org/10.1007/S00421-006-0287-5>
- Domingo LJ. (1998). Contribución y límites de la baropodometría electrónica. *Rev Ortop Traumatol*, 34(1), 189–192.

- Donahoe Topher LC. (2014). *Rock climbing: mastering basic skills [Internet]*.
Monteiners Books.
- Draper, N., Dickson, T., Blackwell, G., Fryer, S., Priestley, S., Winter, D., & Ellis, G. (2011). Self-reported ability assessment in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 851–858. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.565362>
- Draper, N., Giles, D., Schöffl, V., Konstantin Fuss, F., Watts, P., Wolf, P., Baláš, J., Espana-Romero, V., Blunt Gonzalez, G., Fryer, S., Fanchini, M., Vigouroux, L., Seifert, L., Donath, L., Spoerri, M., Bonetti, K., Phillips, K., Stöcker, U., Bourassa-Moreau, F., ... Abreu, E. (2016). Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: International Rock Climbing Research Association position statement. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/19346182.2015.1107081*, 8(3–4), 88–94. <https://doi.org/10.1080/19346182.2015.1107081>
- Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C., & Blackwell, G. (2008). Effect of an On-Sight Lead on the Physiological and Psychological Responses to Rock Climbing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(4), 492. </pmc/articles/PMC3761930/>
- Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C. I., & Blackwell, G. (2009). Physiological and psychological responses to lead and top rope climbing for intermediate rock climbers. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/17461390903108125*, 10(1), 13–20. <https://doi.org/10.1080/17461390903108125>

Dupuy C, & Ripoll H. (1989). Analyse des strategies visuo-motrices en escalade.

Sci Mot., 7, 18–24.

Durrant, B., & Chockalingam, N. (2009). Functional hallux limitus: a review.

Journal of the American Podiatric Medical Association, 99(3), 236–243.

<https://doi.org/10.7547/0980236>

Elvira, Vera-García, ;, Meana, ;, & García, ; (2008). ANÁLISIS BIOMECÁNICO

DEL APOYO PLANTAR EN LA MARCHA ATLÉTICA. RELACIÓN

ENTRE LA HUELLA PLANTAR, ÁNGULOS DE LA ARTICULACIÓN

SUBASTRAGALINA Y PRESIONES PLANTARES. *European Journal of*

Human Movement, 20, 41–60.

Faber, F. W. M., Kleinrensink, G. J., Verhoog, M. W., Vijn, A. H., Snijders, C. J.,

Mulder, P. G. H., & Verhaar, J. A. N. (1999). Mobility of the first

tarsometatarsal joint in relation to hallux valgus deformity: anatomical and

biomechanical aspects. *Foot & Ankle International*, 20(10), 651–656.

<https://doi.org/10.1177/107110079902001007>

Ferrand, C., Tetard, S., & Fontayne, P. (2007). Self-Handicapping in Rock

Climbing: A Qualitative Approach.

[Http://Dx.Doi.Org/10.1080/10413200600830331](http://Dx.Doi.Org/10.1080/10413200600830331), 18(3), 271–280.

<https://doi.org/10.1080/10413200600830331>

- Frirstch C, & Hasbelck M. (2004). Significance of pedography in the diagnosis and treatment of the diabetic foot syndrome. . *MMW Fortschr Med*, 146(26), 51–54.
- Fritz, G. R., & Prieskorn, D. (1995). First metatarsocuneiform motion: a radiographic and statistical analysis. *Foot & Ankle International*, 16(3), 117–123. <https://doi.org/10.1177/107110079501600302>
- Fryer, S., Stoner, L., Stone, K., Giles, D., Sveen, J., Garrido, I., & España-Romero, V. (2016). Forearm muscle oxidative capacity index predicts sport rock-climbing performance. *European Journal of Applied Physiology*, 116(8), 1479–1484. <https://doi.org/10.1007/S00421-016-3403-1>
- Fuster i Matute, J. , & Elizalde Agurruza, B. (1995). Riesgo y actividades físicas en el medio natural: un enfoque multidimensional. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 41, 94–107.
- Geng, X., Wang, C., Ma, X., Wang, X., Huang, J., Zhang, C., Xu, J., & Yang, J. (2015). Mobility of the first metatarsal-cuneiform joint in patients with and without hallux valgus: in vivo three-dimensional analysis using computerized tomography scan. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/S13018-015-0289-2>
- Giacomozzi, C., Martelli, F., Nagel, A., Schmiegel, A., & Rosenbaum, D. (2009). Cluster analysis to classify gait alterations in rheumatoid arthritis using peak pressure curves. *Gait & Posture*, 29(2), 220–224. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2008.08.004>

- Giles, L. v., Rhodes, E. C., & Taunton, J. E. (2006). The physiology of rock climbing. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(6), 529–545. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636060-00006>
- Glasoe, W. M., Nuckley, D. J., & Ludewig, P. M. (2010). Hallux valgus and the first metatarsal arch segment: a theoretical biomechanical perspective. *Physical Therapy*, 90(1), 110–120. <https://doi.org/10.2522/PTJ.20080298>
- Glasoe, W., Pena, F., Phadke, V., & Ludewig, P. M. (2008). Arch height and first metatarsal joint axis orientation as related variables in foot structure and function. *Foot & Ankle International*, 29(6), 647–655. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.0647>
- Grant, S. , Hasler, T. , Davies, C. , Aitchison, C. T. , Wilson, J., & Whittaker, A. (2001). A comparison of the anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. *Journal of Sports Sciences*, 19, 499–505.
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., & Aitchison, T. (1996a). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 301–309. <https://doi.org/10.1080/02640419608727715>
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., & Aitchison, T. (1996b). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational

-
- climbers. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 301–309.
<https://doi.org/10.1080/02640419608727715>
- Grønhaug, G. (2018a). Self-reported chronic injuries in climbing: who gets injured when? *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 4(1), e000406.
<https://doi.org/10.1136/BMJSEM-2018-000406>
- Grønhaug, G. (2018b). Self-reported chronic injuries in climbing: who gets injured when? *BMJ Open Sport – Exercise Medicine*, 4(1), 406.
<https://doi.org/10.1136/BMJSEM-2018-000406>
- Grønhaug, G., & Norberg, M. (2016a). First overview on chronic injuries in sport climbing: proposal for a change in reporting of injuries in climbing. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, 2(1). <https://doi.org/10.1136/BMJSEM-2015-000083>
- Grønhaug, G., & Norberg, M. (2016b). First overview on chronic injuries in sport climbing: proposal for a change in reporting of injuries in climbing. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, 2(1). <https://doi.org/10.1136/BMJSEM-2015-000083>
- Gurney, J. K., Kersting, U. G., & Rosenbaum, D. (2008). Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. *Gait & Posture*, 27(4), 706–709.
<https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2007.07.002>

- Hafer, J. F., Lenhoff, M. W., Song, J., Jordan, J. M., Hannan, M. T., & Hillstrom, H. J. (2013). Reliability of plantar pressure platforms. *Gait & Posture*, 38(3), 544. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2013.01.028>
- Hasler, R. M., Bach, P., Brodmann, M., Heim, D., Spycher, J., Schotzau, A., Evangelopoulos, D. S., Zimmermann, H., & Exadaktylos, A. K. (2012). A pilot case-control study of behavioral aspects and risk factors in Swiss climbers. *European Journal of Emergency Medicine: Official Journal of the European Society for Emergency Medicine*, 19(2), 73–76. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0B013E328348B460>
- Hawrylak, A., Brzeźna, A., & Chromik, K. (2021). Distribution of Plantar Pressure in Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/IJERPH18084173>
- Heise-Flecken D. (2016). *Rock Climbing: Technique | Equipment* (Meyer & Meyer Verlag, Ed.; 2nd ed). https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=H6hiCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Flecken+G.+Rock+climbing+&ots=E_GLl8L60y&sig=rx6Cs94lY58Mo#v=onepage&q&f=false
- Heise-Flecken D. FG. (2016). *Rock Climbing* (Meyer & Meyer Verlag, Ed.).
- Henry J, & Hernando M. (2013). Bases para el entendimiento del proceso de la marcha humana. *Archivos de Medicina*, 13(1), 88–96.

-
- Hernández-Sampieri R. (2013). *Metología de la investigación*. (Mc Graw Hill, Ed.; 6a edición.).
- Heuter C. (1983). *Klinik der Gelenkrankheiten mit Einschuluss der Orthopadie*.
- Hicks JH. (1953). The mechanics of the foot. . *J Anat.*, 87(4), 345–357.
- Hosaini, S. A., Atri, A. E., & Kavosi, A. (2013). Injuries at the Iranian championship in indoor rock climbing. *Wilderness & Environmental Medicine*, 24(2), 167–168. <https://doi.org/10.1016/J.WEM.2012.08.016>
- Huang, H., Qiu, J., Liu, T., Yu, Y., Guo, Q., Luo, D., & Ao, Y. (2017). Similarity of Center of Pressure Progression during Walking and Jogging of Anterior Cruciate Ligament Deficient Patients. *PLoS ONE*, 12(1). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0169421>
- Hughes, J., Clark, P., Linge, K., & Klenerman, L. (1993). A comparison of two studies of the pressure distribution under the feet of normal subjects using different equipment. *Foot & Ankle*, 14(9), 514–519. <https://doi.org/10.1177/107110079301400905>
- Hughes, J., Pratt, L., Linge, K., Clark, P., & Klenerman, L. (1991). Reliability of pressure measurements: the EM ED F system. *Clinical Biomechanics*, 6(1), 14–18. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(91\)90036-P](https://doi.org/10.1016/0268-0033(91)90036-P)
- Hurtado A. (2006). *Uso de la baropodometría*. Medigraphic.
- Izquierdo-Renau, M., Pérez-Soriano, P., Ribas-García, V., & Queralt, A. (2017a). Intra and intersession repeatability and reliability of the S-Plate® pressure

platform. *Gait & Posture*, 52, 224–226.

<https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2016.12.001>

Izquierdo-Renau, M., Pérez-Soriano, P., Ribas-García, V., & Queralt, A. (2017b).

Intra and intersession repeatability and reliability of the S-Plate® pressure

platform. *Gait & Posture*, 52, 224–226.

<https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2016.12.001>

Jeans, K. A., Erdman, A. L., & Karol, L. A. (2017). Plantar Pressures After

Nonoperative Treatment for Clubfoot: Intermediate Follow-up at Age 5

Years. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 37(1), 53–58.

<https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000589>

Johnson, C. H., & Christensen, J. C. (1999). Biomechanics of the first ray. Part I.

The effects of peroneus longus function: a three-dimensional kinematic

study on a cadaver model. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official*

Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons, 38(5), 313–321.

[https://doi.org/10.1016/S1067-2516\(99\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S1067-2516(99)80002-7)

Johnson, K. L., Degnan, K. A., Ross Walker, J., & Ingram, G. C. (2005).

Biomechanics of the first ray part V: The effect of equinus deformity. A 3-

dimensional kinematic study on a cadaver model. *The Journal of Foot and*

Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle

Surgeons, 44(2), 114–127. <https://doi.org/10.1053/J.JFAS.2005.01.003>

- Jones, G., Asghar, A., & Llewellyn, D. J. (2008). The epidemiology of rock-climbing injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 42(9), 773–778. <https://doi.org/10.1136/BJSM.2007.037978>
- Josephsen, G., Shinneman, S., Tamayo-Sarver, J., Josephsen, K., Boulware, D., Hunt, M., & Pham, H. (2007). Injuries in bouldering: a prospective study. *Wilderness & Environmental Medicine*, 18(4), 271–280. <https://doi.org/10.1580/06-WEME-OR-071R1.1>
- JR Landis, & GG Koch. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Kelikian H. (1965). *Hallux Valgus, allied deformities of the forefoot and metatarsalgia*.
- Kelso, S. F., Richie, D. H., Cohen, I. R., Weed, J. H., & Root, M. (1982). Direction and range of motion of the first ray. *Journal of the American Podiatry Association*, 72(12), 600–605. <https://doi.org/10.7547/87507315-72-12-600>
- Kenny, V. V. M., Verónica, N., & Fabricio, A. (2012). Preventive and curative importance of the baropodometric analysis for ergonomics and occupational health. *Work*, 41(Supplement 1), 1896–1899. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0404-1896>
- Kim, J. Y., Seung, K. H., Kyung, T. L., Ki, W. Y., & Ju, S. J. (2008). A simpler device for measuring the mobility of the first ray of the foot. *Foot & Ankle International*, 29(2), 213–218. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.0213>
- King, D. M., & Toolan, B. C. (2004). Associated deformities and hypermobility in hallux valgus: an investigation with weightbearing radiographs. *Foot &*

Ankle International, 25(4), 251–255.

<https://doi.org/10.1177/107110070402500410>

Kinner, B. J., Best, R., Falk, K., & Thon, K. P. (2002). Is there a reliable outcome measurement for displaced intra-articular calcaneal fractures? *The Journal of Trauma*, 53(6), 1094–1102. <https://doi.org/10.1097/00005373-200212000-00011>

Kirby KA. (1997). *Foot and lower extremity biomechanics: a ten year collection of Precision Intricast newsletters* (A. P. I. 1997. Payson, Ed.).

Koenig, A., Omlin, X., Novak, D., & Riener, R. (2011). A review on bio-cooperative control in gait rehabilitation. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics: [Proceedings]*, 2011. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2011.5975454>

Laffaye, G., Levernier, G., & Collin, J. M. (2016). Determinant factors in climbing ability: Influence of strength, anthropometry, and neuromuscular fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(10), 1151–1159. <https://doi.org/10.1111/SMS.12558>

Lafuente G. (2006). *Patrón rotador de la extremidad inferior. Un nuevo parámetro exploratorio. Relación con el Hallux limitus - Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=55091>

-
- Lafuente R, Doñate JJ, Poveda R, Garcia A, & Soler C. (2005). Valoración evolutiva de fracturas de calcáneo mediante el análisis biomecánico de la marcha. . *Mapfre Medicina*, 22(107), 177–185.
- Lambrinudi C. (1938). Metatarsus primus elevatus. . *Proc R Soc Med.* 1, 31(11), 1273.
- Lion, A., van der Zwaard, B. C., Remillieux, S., Perrin, P. P., & Buatois, S. (2016). Risk factors of hand climbing-related injuries. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(7), 739–744. <https://doi.org/10.1111/SMS.12505>
- López, E. (2014). *Efectos de diferentes métodos de entramiento de fuerza y resistencia de agarre en escaladores deportivos de distintos niveles.* <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/5402>
- Luger, E. J., Nissan, M., Karpf, A., Steinberg, E. L., & Dekel, S. (1999). Patterns of weight distribution under the metatarsal heads. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 81(2), 199–202. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.81B2.9353>
- MacLeod, D. (2015). *Make or break. Don't let climbing injuries dictate your success.*
- Maestro, M., Besse, J.-L., & Leemrijse, T. (2008). Biomecánica del gran artejo o hallux. *EMC - Podología*, 10(4), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S1762-827X\(08\)70692-8](https://doi.org/10.1016/S1762-827X(08)70692-8)

Maetzler, M., Bochdansky, T., & Abboud, R. J. (2010). Normal pressure values and repeatability of the Emed® ST2 system. *Gait & Posture*, 32(3), 391–394.

<https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2010.06.023>

Maitland, M. (1992a). Injuries associated with rock climbing. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 16(2), 68–73.

<https://doi.org/10.2519/JOSPT.1992.16.2.68>

Maitland, M. (1992b). Injuries associated with rock climbing. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 16(2), 68–73.

<https://doi.org/10.2519/JOSPT.1992.16.2.68>

Marc, J., Ceci, L. A., & Parreira, R. B. (2015). Nociceptive capacity of plantar irritating stimulus reduction influences postural control in children, teenagers, and adults. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*, 13, 298.

<https://doi.org/10.17784/MTPREHABJOURNAL.2015.13.298>

Martínez MA. (1998). *Tratamiento ortopédico de las metatarsalgias y su valoración mediante baropodometría electrónica.* 43(5).

<https://1library.co/document/zp7ww94z-tratamiento-ortop%C3%A9dico-metatarsalgias-valoraci%C3%B3n-mediante-baropodometr%C3%ADa-electr%C3%B3nica.html>

Martínez-Nova, A., Cuevas-García, C., Pascual-Huerta, J., & Sánchez-Rodríguez, R. (2007). *BioFoot ® in-shoe system: Normal values and assessment of the reliability and repeatability.* <https://doi.org/10.1016/j.foot.2007.04.002>

-
- Martínez-Nova, A., Cuevas-García, J. C., Sánchez-Rodríguez, R., Pascual-Huerta, J., & Sánchez-Barrado, E. (2008). Estudio del patrón de presiones plantares en pies con hallux valgus mediante un sistema de plantillas instrumentadas. *Rev. Esp. Cir. Ortop. Traumatol.* , 52(2), 94–98.
- Martínez-Nova, A., Sánchez-Rodríguez, R., Cuevas-García, J. C., & Sánchez-Barrado, E. (2007). Estudio baropodométrico de los valores de presión plantar en pies no patológicos. *Rehabilitación*, 41(4), 155–160.
[https://doi.org/10.1016/S0048-7120\(07\)75509-3](https://doi.org/10.1016/S0048-7120(07)75509-3)
- McHenry, R. D., Arnold, G. P., Wang, W., & Abboud, R. J. (2015). Footwear in rock climbing: Current practice. *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 25(3), 152–158.
<https://doi.org/10.1016/J.FOOT.2015.07.007>
- Menadue, C., Raymond, J., Kilbreath, S. L., Refshauge, K. M., & Adams, R. (2006). Reliability of two goniometric methods of measuring active inversion and eversion range of motion at the ankle. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 7.
<https://doi.org/10.1186/1471-2474-7-60>
- Mermier, C. M. (1997). Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 31(3), 224–228.
<https://doi.org/10.1136/BJSM.31.3.224>
- Michailov, L. M. (2014). Workload characteristic, performance limiting factors and methods for strength and endurance training in rock climbing. *Medicina Sportiva*, 18(3), 97–106.

Michaud T. (1996). *Foot orthoses and others forms of conservative foot care.*

Massachusetts (Williams and Wilkins, Ed.).

Miranda JM. (2002). Las direcciones de la preparación física en la escalada deportiva. *Revista Digital*, 1.

Montañola A. (2014). *Medida del equilibrio estático en corredores de maratón mediante baropodometría optométrica.* Facultad de Psicología y ciencias de la educación y el deporte Blanquerna.

Morenas Martín, J., del Campo, V. L., Leyton Román, M., Gómez-Valadés Horrillo, J. M., & Gómez Navarrete, J. S. (2013). Description of the finger mechanical load of climbers of different levels during different hand grips in sport climbing. *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1713–1721.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2013.797592>

Morton D. (1948). *The human foot.* (1a Ed.).

Munteanu, S. E., & Basset, A. D. (2006). Effect of foot posture and inverted foot orthoses on hallux dorsiflexion. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(1), 32–37. <https://doi.org/10.7547/0960032>

Munuera PV. (2009). *El primer radio. Biomecánica y Ortopodología.* (2a edición.).

Munuera, P. v., Domínguez, G., Palomo, I. C., & Lafuente, G. (2006). Effects of rearfoot-controlling orthotic treatment on dorsiflexion of the hallux in feet with abnormal subtalar pronation: a preliminary report. *Journal of the*

-
- American Podiatric Medical Association*, 96(4), 283–289.
<https://doi.org/10.7547/0960283>
- Munuera-Martínez, P. v., Távora-Vidalón, P., Monge-Vera, M. A., Sáez-Díaz, A., & Lafuente-Sotillos, G. (2020). The Validity and Reliability of a New Simple Instrument for the Measurement of First Ray Mobility. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(8). <https://doi.org/10.3390/S20082207>
- Muro, I., Vila, R., Vives, J., & Gutiérrez J antonio. (1994). *Estudi médicesportiu de l'escalada esportiva Estudio médico-deportivo de la escalada deportiva*. XXXI.
- Nagel, A., Fernholz, F., Kibele, C., & Rosenbaum, D. (2008). Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: a barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait & Posture*, 27(1), 152–155. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2006.12.012>
- Nelson, N. G., & McKenzie, L. B. (2009). Rock climbing injuries treated in emergency departments in the U.S., 1990-2007. *American Journal of Preventive Medicine*, 37(3), 195–200.
<https://doi.org/10.1016/J.AMEPRE.2009.04.025>
- Neto, H. P., Grecco, L. A. C., Braun Ferreira, L. A., Christovão, T. C. L., Duarte, N. de A. C., & Oliveira, C. S. (2015). Clinical analysis and baropodometric evaluation in diagnosis of abnormal foot posture: A clinical trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(3), 429–433.
<https://doi.org/10.1016/J.JBMT.2014.09.007>

- Neuhof, A., Hennig, F. F., Schöffl, I., & Schöffl, V. (2011). Injury risk evaluation in sport climbing. *International Journal of Sports Medicine*, 32(10), 794–800.
<https://doi.org/10.1055/S-0031-1279723>
- Noé, F., Quaine, F., & Martin, L. (2001). Influence of steep gradient supporting walls in rock climbing: biomechanical analysis. *Gait & Posture*, 13(2), 86–94.
[https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00098-9](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00098-9)
- Novel Martí V, & Ogalla Rodríguez JM. (1993). *Goniometría - Dialnet*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2520716>
- Oliveira GS, Greve JM, Imamura M, & Bollinger R. (1998). Interpretação das variáveis quantitativas da baropodometria computadorizada em indivíduos. *Rev Hosp Clin.*, 53, 16–20.
- Padilla Urrea, V., Orejana García, Á. M., Mendez Montaña, M., Santos, A. M., Moreno Martín, F. J., Melo, S. S., Carmen, M., & Caballero, T. (2011). HALLUX LIMITUS FUNCIONAL Y ASOCIACIONES CLÍNICAS. *Revista Española 190 de Podología*, XXII(5), 190–194.
- Paige, E. T. , Fiore, C. D. , & Houston, D. J. (1998). Injury in traditional and sport rock climbing. *Wilderness and Environmental Medicine*, 9, 2–7.
- Park, C. H., & Chang, M. C. (2019). Forefoot disorders and conservative treatment. *Yeungnam University Journal of Medicine*, 36(2), 92.
<https://doi.org/10.12701/YUJM.2019.00185>

- Pasarín A, Puig-Dellivol J, & Bosch J. (2005). Anomalías baropodométricas en jugadores de baloncesto de élite. *Arch. Med. Deporte.*, 22(107), 177–185.
- Pereiro-Buceta, H., Calvo-Lobo, C., Becerro-De-bengoa-vallejo, R., Losa-Iglesias, M. E., Romero-Morales, C., López-López, D., & Martínez-Jiménez, E. M. (2021). Intra and intersession repeatability and reliability of dynamic parameters in pressure platform assessments on subjects with simulated leg length discrepancy. A cross-sectional research. *Sao Paulo Medical Journal = Revista Paulista de Medicina*, 139(5), 424–434. <https://doi.org/10.1590/1516-3180.2020.0791.R1.110321>
- Pérez-Soriano, P., Llana-Belloch, S., Encarnación-Martínez, A., Martínez-Nova, A., & Morey-Klapsing, G. (2011). Nordic walking practice might improve plantar pressure distribution. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(4), 593–599. <https://doi.org/10.1080/02701367.2011.10599795>
- Peters P. (2001). Orthopedic problems in sport climbing. *Wilderness Environ Med*, 12(2), 100–110.
- Pieber, K., Angelmaier, L., Csapo, R., & Herceg, M. (2012). Acute injuries and overuse syndromes in sport climbing and bouldering in Austria: a descriptive epidemiological study. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 124(11–12), 357–362. <https://doi.org/10.1007/S00508-012-0174-5>
- Portela, P. M., Rico, S. R., Baena Extremera, A., Teresa, M., León, M., Alfonso, M., & Marín, M. (2013). Análisis del perfil sociodemográfico, deportivo y psicológico en una práctica de escalada deportiva de estudiantes

universitarios (Analysis of sociodemographic, sport and psychological profile in a rock-climbing experience on university students). *Retos*, 24(24), 9–15. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V0I24.34513>

Pumares Núñez, J. M. (2018). *Facultade de Enfermaría e Podoloxía TRABAJO DE FIN DE GRADO EN PODOLOGÍA “Estudio de la primera articulación metatarsfalángica y su relación con el salto de valla.”*

Quaine, F., & Martin, L. (1999). A biomechanical study of equilibrium in sport rock climbing. *Gait & Posture*, 10(3), 233–239. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(99\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(99)00024-7)

Quaine, F., Martin, L., & Blanchi, J. P. (1997). The Effect of Body Position and Number of Supports on Wall Reaction Forces in Rock Climbing. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(1), 14–23. <https://doi.org/10.1123/JAB.13.1.14>

Quaine, F., Vigouroux, L., & Martin, L. (2003). Effect of simulated rock climbing finger postures on force sharing among the fingers. *Clinical Biomechanics*, 18(5), 385–388. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(03\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(03)00045-7)

Ramanathan, A. K., Kiran, P., Arnold, G. P., Wang, W., & Abboud, R. J. (2010). Repeatability of the Pedar-X® in-shoe pressure measuring system. *Foot and Ankle Surgery*, 16(2), 70–73. <https://doi.org/10.1016/J.FAS.2009.05.006>

Rogind, H., Simonsen, H., Era, P., & Bliddal, H. (2003). Comparison of Kistler 9861A force platform and Chattecx Balance System® for measurement of postural sway: correlation and test–retest reliability. *Scandinavian Journal of*

Medicine & Science in Sports, 13(2), 106–114. <https://doi.org/10.1034/J.1600-0838.2003.01139.X>

Rohrbough, J. T., Mudge, K. M., & Schilling, R. C. (2000a). Overuse injuries in the elite rock climber. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(8), 1369–1372. <https://doi.org/10.1097/00005768-200008000-00002>

Rohrbough, J. T., Mudge, K. M., & Schilling, R. C. (2000b). Overuse injuries in the elite rock climber. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(8), 1369–1372. <https://doi.org/10.1097/00005768-200008000-00002>

ROOT ML, ORIEN WP, WEED JH, & HUGHES RJ. (1991). *Exploración Biomecánica del Pie. Volumen 1* (Ortocen Editores, Ed.).

Rosenbaum, D., Schmiegel, A., Meermeier, M., & Gaubitz, M. (2006). Plantar sensitivity, foot loading and walking pain in rheumatoid arthritis. *Rheumatology (Oxford, England)*, 45(2), 212–214. <https://doi.org/10.1093/RHEUMATOLOGY/KEI137>

Roukis, T. S., & Landsman, A. S. (2003). Hypermobility of the first ray: a critical review of the literature. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 42(6), 377–390. <https://doi.org/10.1053/J.JFAS.2003.09.010>

Roukis, T. S., Scherer, P. R., & Anderson, C. F. (1996). Position of the first ray and motion of the first metatarsophalangeal joint. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 86(11), 538–546. <https://doi.org/10.7547/87507315-86-11-538>

- Rush, S. M., Christensen, J. C., & Johnson, C. H. (2000). Biomechanics of the first ray. Part II: Metatarsus primus varus as a cause of hypermobility. A three-dimensional kinematic analysis in a cadaver model. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 39(2), 68–77. [https://doi.org/10.1016/S1067-2516\(00\)80030-7](https://doi.org/10.1016/S1067-2516(00)80030-7)
- Sanchez, X., Boschker, M. S. J., & Llewellyn, D. J. (2010). Pre-performance psychological states and performance in an elite climbing competition. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), 356–363. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2009.00904.X>
- Sánchez-Gómez, R., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., Losa-Iglesias, M. E., Calvo-Lobo, C., Navarro-Flores, E., Palomo-López, P., Romero-Morales, C., & López-López, D. (2020). Reliability Study of Diagnostic Tests for Functional Hallux Limitus. *Foot & Ankle International*, 41(4), 457–462. <https://doi.org/10.1177/1071100719901116>
- Sánchez-Rodríguez, R., Martínez-Nova, A., Escamilla-Martínez, E., & Pedrera-Zamorano, J. D. (2012). Can the Foot Posture Index or their individual criteria predict dynamic plantar pressures? *Gait & Posture*, 36(3), 591–595. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2012.05.024>
- Sánchez-Sáez, J. M., Palomo-López, P., Becerro-De-bengoa-vallejo, R., Calvo-Lobo, C., Losa-Iglesias, M. E., López-Del-amo-lorente, A., & López-López, D. (2019a). Stability of Three Different Sanitary Shoes on Healthcare

- Workers: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/IJERPH16122126>
- Sánchez-Sáez, J. M., Palomo-López, P., Becerro-De-bengoa-vallejo, R., Calvo-Lobo, C., Losa-Iglesias, M. E., López-Del-amo-lorente, A., & López-López, D. (2019b). Stability of Three Different Sanitary Shoes on Healthcare Workers: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/IJERPH16122126>
- Schad, R. (2000). Analysis of climbing accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 32(3), 391–396. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00026-3)
- Schöffl, V., Morrison, A., Schwarz, U., Schöffl, I., & Küpper, T. (2010). Evaluation of injury and fatality risk in rock and ice climbing. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(8), 657–679. <https://doi.org/10.2165/11533690-000000000-00000>
- Schöffl, V., & Küpper, T. (2013a). Feet injuries in rock climbers. *World Journal of Orthopedics*, 4(4), 218. <https://doi.org/10.5312/WJO.V4.I4.218>
- Schöffl, V., & Küpper, T. (2013b). Feet injuries in rock climbers. *World Journal of Orthopedics*, 4(4), 218. <https://doi.org/10.5312/WJO.V4.I4.218>
- Schöffl, V., Lutter, C., & Popp, D. (2016). The “Heel Hook”-A Climbing-Specific Technique to Injure the Leg. *Wilderness & Environmental Medicine*, 27(2), 294–301. <https://doi.org/10.1016/J.WEM.2015.12.007>
- Schöffl, V. R., & Kuepper, T. (2006). Injuries at the 2005 World Championships in Rock Climbing. *Wilderness & Environmental Medicine*, 17(3), 187–190. <https://doi.org/10.1580/PR26-05>

- Schöffl, V. ;, & Schöff, I I. (2012). Competition Climbing. *Sportortho Sporttrauma*, 28, 22–28.
- Schweizer, A. (2001). Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *Journal of Biomechanics*, 34(2), 217–223.
[https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00184-6)
- Seifert, L., Boulanger, J., Orth, D., & Davids, K. (2015). Environmental Design Shapes Perceptual-motor Exploration, Learning, and Transfer in Climbing. *Frontiers in Psychology*, 6(NOV). <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2015.01819>
- Seifert L, Orth D, Héroult R, & Davids K. (2013). *Metastability in perception and action in rock climbing*.
- Seifert L, W. P., & Schweizer A. (2016). *The science of climbing and mountaineering*.
- Sheldon D. (2014). Fantastic Feet. *Climbing*, 325, 32–33.
- Shibuya, N., Roukis, T. S., & Jupiter, D. C. (2017). Mobility of the First Ray in Patients With or Without Hallux Valgus Deformity: Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 56(5), 1070–1075.
<https://doi.org/10.1053/J.JFAS.2017.05.021>
- Shirk, C., Sandrey, M. A., & Erickson, M. (2006). Reliability of First Ray Position and Mobility Measurements in Experienced and Inexperienced Examiners. *Journal of Athletic Training*, 41(1), 93. /pmc/articles/PMC1421489/

- Small, L. F. , & Schutz, W. R. (1985). Physical fitness differences between athletes and nonathletes: do changes occur as a function of age and sex? *Human Movement Science*, 4(3), 189–202.
- Smith, C., Spooner, S. K., & Fletton, J. A. (2004). The effect of 5-degree valgus and varus rearfoot wedging on peak hallux dorsiflexion during gait. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 94(6), 558–564.
<https://doi.org/10.7547/0940558>
- Smith JW. (1984). *Biomecánica: estática y exploración*. (3ª Ed.).
- Stelzle, F. D., Gaulrapp, H., & Pfürringer, W. (2000). Acute injuries and chronic overuse syndroms due to rock climbing on artificial climbing walls. *Sportverletzung-Sportschaden*, 14(4), 128–133. <https://doi.org/10.1055/S-2000-8951/ID/22>
- Swanson, J. E., Stoltman, M. G., Oyen, C. R., Mohrbacher, J. A., Orandi, A., Olson, J. M., & Glasoe, W. M. (2016). Comparison of 2D-3D Measurements of Hallux and First Ray Sagittal Motion in Patients With and Without Hallux Valgus. *Foot & Ankle International*, 37(2), 227–232.
<https://doi.org/10.1177/1071100715604238>
- Sylvester, A. D., Christensen, A. M., & Kramer, P. A. (2006). Factors influencing osteological changes in the hands and fingers of rock climbers. *Journal of Anatomy*, 209(5), 597–609. <https://doi.org/10.1111/J.1469-7580.2006.00640.X>
- Távora Vidalón, P., Lafuente Sotillos, G., Manfredi Márquez, M. J., & Munuera Martínez, P. v. (2021). Movilidad normal del primer radio en los planos

sagital y frontal. *Revista Española de Podología*, 32.

<https://doi.org/10.20986/REVESPPOD.2021.1600/2021>

Tavara-Vidalón, S. P., Monge-Vera, M. Á., Lafuente-Sotillos, G., Domínguez-

Maldonado, G., & Munuera-Martínez, P. v. (2018). Static Range of Motion

of the First Metatarsal in the Sagittal and Frontal Planes. *Journal of Clinical*

Medicine, 7(11). <https://doi.org/10.3390/JCM7110456>

Tortora, J. G., & Nielsen, T. M. (2009). *The muscular system. Principles of Human*

Anatomy (11th Edition).

U Largiadèr, & O Oelz. (1993). [An analysis of overstrain injuries in rock

climbing]. *Schweiz Z Sportmed*, 41(3), 107–114.

Uroz D. (2008). *Influencia de la cirugía percutánea en hallux valgus sobre las presiones*

plantares en dinámica. . Ciencias de la Salud. Universidad de Granada.

Vallejo, R. B. de B., Iglesias, M. E. L., Zeni, J., & Thomas, S. (2013). Reliability and

repeatability of the portable EPS-platform digital pressure-plate system.

Journal of the American Podiatric Medical Association, 103(3), 197–203.

<https://doi.org/10.7547/1030197>

Vallotton, J., Echeverri, S., & Dobbelaere-Nicolas, V. (2010). Functional hallux

limitus or rigidus caused by a tenodesis effect at the retrotalar pulley:

description of the functional stretch test and the simple hoover cord

maneuver that releases this tenodesis. *Journal of the American Podiatric*

Medical Association, 100(3), 220–229. <https://doi.org/10.7547/1000220>

- van der Leeden, M., Dekker, J. H. M., Siemonsma, P. C., Lek-Westerhof, S. S., & Steultjens, M. P. M. (2004). Reproducibility of plantar pressure measurements in patients with chronic arthritis: a comparison of one-step, two-step, and three-step protocols and an estimate of the number of measurements required. *Foot & Ankle International*, 25(10), 739–744. <https://doi.org/10.1177/107110070402501008>
- van Gheluwe, B., Dananberg, H. J., Hagman, F., & Vanstaen, K. (2006). Effects of hallux limitus on plantar foot pressure and foot kinematics during walking. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(5), 428–436. <https://doi.org/10.7547/0960428>
- van Uden, C. J. T., & Besser, M. P. (2004). Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured with an instrumented walkway system (GAITRite). *BMC Musculoskeletal Disorders*, 5. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-5-13>
- Vigouroux, L., Quaine, F., Labarre-Vila, A., & Moutet, F. (2006). Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. *Journal of Biomechanics*, 39(14), 2583–2592. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2005.08.027>
- Viladot-Pericé A, & Viladot-Voegli A. (1990). La marcha humana. . *Rev Ortop Traumatol.*, 34(1), 99–108.
- Villani C. (2000). Valuación Baropodométrica de la Metatarsalgia. *Chir Piede.*, 24, 1–10.

- Viudas, R. B. (2011). Hallux limitus y su relacion con el pie pronado como factor etiologico. *Revista Internacional de Ciencias Podologicas*, 5(1), 21–28.
https://doi.org/10.5209/REV_RICP.2011.V5.N1.19428
- Wall, B. C. , Starek, E. J., Fleck, J. S., & Byrnes, C. W. (2004). Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *J Strength Cond Res .*, 18(1), 77–83.
- Wall CB, S. J. F. S. B. WC. (2004). Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *J Strength Cond Res.*, 18(1), 77–83.
- Watkins MP, & Portney L. (2009). *Foundations of clinical research: applications to practice*. (3rd ed.). Pearson Prentice .
- Wolfe LM. (2002). To the top. *American Fitness* , 20(4), 31.
- Wong, D. W. C., Zhang, M., Yu, J., & Leung, A. K. L. (2014). Biomechanics of first ray hypermobility: an investigation on joint force during walking using finite element analysis. *Medical Engineering & Physics*, 36(11), 1388–1393.
<https://doi.org/10.1016/J.MEDENGPHY.2014.03.004>
- Woollings, K. Y., McKay, C. D., & Emery, C. A. (2015). Risk factors for injury in sport climbing and bouldering: a systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 49(17), 1094–1099.
<https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2014-094372>

- Wright, D. M., Royle, T. J., & Marshall, T. (2001a). Indoor rock climbing: who gets injured? *British Journal of Sports Medicine*, 35(3), 181. <https://doi.org/10.1136/BJSM.35.3.181>
- Wright, D. M., Royle, T. J., & Marshall, T. (2001b). Indoor rock climbing: who gets injured? *British Journal of Sports Medicine*, 35(3), 181. <https://doi.org/10.1136/BJSM.35.3.181>
- Xu, C., Wen, X. X., Huang, L. Y., Shang, L., Cheng, X. X., Yan, Y. B., & Lei, W. (2017). Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan® platform system. *Journal of Foot and Ankle Research*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/S13047-017-0209-2>
- Xu, C., Yan, Y. B., Zhao, X., Wen, X. X., Shang, L., Huang, L. Y., & Lei, W. (2015). Pedobarographic Analysis Following Pemberton's Pericapsular Osteotomy for Unilateral Developmental Dysplasia of the Hip: An Observational Study. *Medicine*, 94(23), e932. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000932>
- Yabar LF, García DO, Condor C, & Villacencio E. (2006). *Estudio para el diseño de un sistema baropodométrico electrónico.*
- Yeo, B. K., & Bonanno, D. R. (2014). The effect of foot orthoses and in-shoe wedges during cycling: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/1757-1146-7-31>
- Zammit, G. v., Menz, H. B., & Munteanu, S. E. (2010). Reliability of the TekScan MatScan® system for the measurement of plantar forces and pressures

during barefoot level walking in healthy adults. *Journal of Foot and Ankle Research*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-11/COMMENTS>

Zijlstra, W. (2004). Assessment of spatio-temporal parameters during unconstrained walking. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1–2), 39–44. <https://doi.org/10.1007/S00421-004-1041-5>

ANEXO

ANEXO I: INFORMACIÓN AL PACIENTE

TÍTULO: Estudio epidemiológico de las lesiones del pie asociadas a la práctica de la escalada deportiva.

La participación en el estudio no supone ningún riesgo para Vd. y el beneficio obtenido permitirá la prevención y mejorar la calidad de vida de los escaladores.

1) IDENTIFICAR, DESCRIBIR Y OBJETIVOS DEL PROCEDIMIENTO

- Determinación de la prevalencia de lesiones en el pie relacionadas con la practica de la escalada deportivo en rocódromo en la provincia de Cáceres (Extremadura).
- El único procedimiento al que será sometido/a será a la valoración y estudio de las lesiones y secuelas más frecuentes provocadas por la practica del gesto deportivo de la escalada, cuyos datos serán recogidos en una hoja de recogida de datos.
- Se compromete a la realización de ejercicios que se le pautaran durante la etapa de duración del proyecto para poder evaluar los datos al final.
- Los datos que cede serán utilizados única y exclusivamente con finalidad investigadora sin ánimo de lucro.
- El investigador responsable se compromete a que la confidencialidad de los datos que se puedan obtener en este proyecto será escrupulosamente observada, y que los datos personales de los sujetos participantes serán conocidos únicamente por el investigador principal del proyecto.

2) RIESGOS DERIVADOS DE LA PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO.

- Los riesgos asociados a la toma de datos son mínimos. Se empleará material estéril, individual, desechable y perfectamente higienizado con soluciones activas frente al Covid-19 y cualquier microorganismo. Todos los procedimientos están libres de riesgo de infección y contagio conforme a la ultima normativa de prevención de covid-19.

DECLARACIÓN DEL PARTICIPANTE.

He sido informado por el personal relacionado con el proyecto mencionado:

- De las ventajas e inconvenientes de este procedimiento.
- Del fin para el que se utilizarán mis datos.

- De que mis datos serán proporcionados de forma anónima a los investigadores del proyecto.
- De que en cualquier momento puedo solicitar información genérica sobre los estudios para los que se han utilizado mis datos.
- He comprendido la información recibida y he podido formular todas las preguntas que he creído oportunas.

Usted tiene derecho de participar o no en la investigación y de retirar su consentimiento en cualquier momento. En ningún caso su decisión de no participar en el proyecto le supondrá una rebaja en la calidad asistencial por parte de su médico.

SE ME HA PROPORCIONADO COPIA DEL PRESENTE DOCUMENTO. ACEPTO PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO.

Nombre:.....

Firma:

Declaración del investigador de que ha informado debidamente al participante.

Nombre: PAULA COBOS MORENO Firma:.....

Plasencia, a ____ de _____ de 20__

ANEXO II: CONSENTIMIENTO INFORMADO

**“ALTERACIONES PODOLÓGICAS DERIVADAS DE LA PRÁCTICA DE
ESCALADA DEPORTIVA EN LA ZONA NORTE DE EXTREMADURA”**

LEA DETENIDAMENTE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO Y ASEGÚRESE QUE ENTIENDE ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. POR FAVOR SI ESTA DE ACUERDO EN PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO, FIRME ESTE DOCUMENTO.

POR SU FIRMA RECONOCE QUE HA SIDO INFORMADO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO, DE SUS REQUISITOS Y SUS RIESGOS Y QUE ACEPTA LIBREMENTE PARTICIPAR EN ÉL.

INFORMACIÓN ACERCA DEL ESTUDIO:

El presente estudio de investigación está dirigido a la identificación, exploración y mejora de las alteraciones podológicas derivadas de la práctica de escalada deportiva sobre usuarios asiduos a este deporte.

El único procedimiento al que será sometido/a será a una breve exploración del pie y registro de presiones plantares mediante la plataforma de fuerzas, método indoloro e incruento.

Todos los datos que cede serán utilizados exclusivamente con fines científicos e investigadores y serán tratados con total confidencialidad de acuerdo con la Declaración de Helsinki y la Ley 14/2007, de Investigación biomédica, aunque los resultados de esta investigación pueden ser publicados en revistas biomédicas (no así los datos personales del sujeto).

Además se aplicará la legislación vigente sobre protección de datos de carácter personal (Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica, BOE 274 de 15 de noviembre de 2002; Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre de Protección de Datos Personales y garantía de derechos digitales, BOE 294 de 6 de diciembre de 2018), sobre investigación biomédica (Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica; BOE 159 de 4 de julio de 2007) y cualquier otra que resultara aplicable.

Usted tiene derecho de participar o no en la investigación y de retirar su consentimiento en cualquier momento.

ACEPTO PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO:

NOMBRE Y APELLIDOS: _____ DNI:

Firma del usuario/paciente :

REVOCACIÓN/RECHAZO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, D./Dña.con DNI consciente de mis actos, en forma libre y voluntaria, declaro que revoco la autorización dada, a través del Consentimiento Informada, firmado anteriormente para participar en este proyecto de investigación arriba descrito.

Firma del usuario/paciente

**“REGISTRO DE PRESIONES PLANTARES EN DINÁMICA MEDIANTE EL USO
DE LA PLATAFORMA DE PRESIONES PODOPRINT®”**

LEA DETENIDAMENTE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO Y ASEGÚRESE QUE ENTIENDE ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. POR FAVOR SI ESTA DE ACUERDO EN PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO, FIRME ESTE DOCUMENTO. POR SU FIRMA RECONOCE QUE HA SIDO INFORMADO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO, DE SUS REQUISITOS Y SUS RIESGOS Y QUE ACEPTA LIBREMENTE PARTICIPAR EN ÉL.

INFORMACIÓN ACERCA DEL ESTUDIO:

El presente estudio de investigación está dirigido a la validación científica de la plataforma PodoPrint® y el registro de presiones plantares sobre población sana.

El único procedimiento al que será sometido/a será a un registro de presiones plantares mediante la plataforma de fuerzas, método indoloro e incruento.

Todos los datos que cede serán utilizados exclusivamente con fines científicos e investigadores y serán tratados con total confidencialidad de acuerdo con la Declaración de Helsinki y la Ley 14/2007, de Investigación biomédica, aunque los resultados de esta investigación pueden ser publicados en revistas biomédicas (no así los datos personales del sujeto). Además se aplicará la legislación vigente sobre protección de datos de carácter personal (Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica, BOE 274 de 15 de noviembre de 2002; Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre de Protección de Datos Personales y garantía de derechos digitales, BOE 294 de 6 de diciembre de 2018), sobre investigación biomédica (Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica; BOE 159 de 4 de julio de 2007) y cualquier otra que resultara aplicable.

Usted tiene derecho de participar o no en la investigación y de retirar su consentimiento en cualquier momento.

ACEPTO PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO:

NOMBRE Y APELLIDOS: _____ DNI:

Firma del usuario/paciente :

REVOCACIÓN/RECHAZO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, D./Dña.con DNI
consciente de mis actos, en forma libre y voluntaria, declaro que revoco la autorización dada, a
través del Consentimiento Informada, firmado anteriormente para participar en este proyecto de
investigación arriba descrito.

Firma del usuario/paciente

ANEXO III: COMITÉ DE BIÓETICA



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

Campus Universitario
Avda de Elvas, s/n
06006 - BADAJOZ

Tel.: 924 28 93 05
Fax: 924 27 29 83

NºRegistro: 15//2021

D. JOÃO NUNO MEIRELES DA SILVA GONÇALVES RIBEIRO, SECRETARIO DE LA COMISIÓN DE BIOÉTICA Y BIOSEGURIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

INFORMA: Que una vez analizada por esta Comisión, en su sesión celebrada el 03/03/2021, la solicitud de Proyecto de Tesis titulado **“Secuelas podológicas derivadas de la práctica de escalada deportiva en la zona norte de Extremadura”**, cuya Directora es Dña. Beatriz Gómez Martín y cuya Investigadora Principal es Dña. Paula Cobos Moreno, ha decidido por unanimidad, valorar positivamente el precitado proyecto por considerar que se ajusta a las normas éticas esenciales cumpliendo con la normativa vigente al efecto.

Y para que conste y surta los efectos oportunos firmo el presente informe.

V.º B.º

Fdo.: Javier de Francisco Morcillo
Presidente por delegación de la
Comisión de Bioética y Bioseguridad



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

Campus Universitario
Avda de Elvas, s/n
06006 - BADAJOZ

Tel.: 924 28 93 05
Fax: 924 27 29 83

NºRegistro: 34//2021

D. JOÃO NUNO MEIRELES DA SILVA GONÇALVES RIBEIRO, SECRETARIO DE LA COMISIÓN DE BIOÉTICA Y BIOSEGURIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

INFORMA: Que una vez analizada por esta Comisión, en su sesión celebrada el 03/03/2021, la solicitud de Proyecto de Investigación titulado **“PodoPrint®: validación y valores normales de presiones del pie en población sana”**, cuya Investigadora Principal es Dña. Paula Cobos Moreno, ha decidido por unanimidad, valorar positivamente el precitado proyecto por considerar que se ajusta a las normas éticas esenciales cumpliendo con la normativa vigente al efecto.

Y para que conste y surta los efectos oportunos firmo el presente informe.



V.º B.º

Fdo.: Javier de Francisco Morcillo
Presidente por delegación de la
Comisión de Bioética y Bioseguridad

ANEXO IV: HOJA RECOGIDA DE DATO
CONTROLES

ESCALADORES

OMBRE					
APELLIDOS					
TELEFONO			CIUDAD		
EDAD		PESO		ALTURA	
SEXO	<input checked="" type="checkbox"/> MASCULNO	<input type="checkbox"/> FEMENINO	FEDERACIÓN	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
TALLA DEL PIE					

IZQUIERDO	DERECHO
MEDIDAS DEL PIE:	
Largo:	Largo:
Ancho antepié:	Ancho antepié:
FÓRMULA DIGITAL: A QUÉ DIBUJO SE PARECE MÁS TU PIE:	
 <p><u>Izquierdo</u></p> <p>1</p> <p>2</p>	 <p><u>Derecho</u></p> <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>
ALTERACIONES DIGITALES: SÍ / NO	
Dedo/s en maza: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5	Dedo/s en maza: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5
Dedo/s en martillo: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5	Dedo/s en martillo: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5
Dedo/s en garra: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5	Dedo/s en garra: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5
ALTERACIÓN EN LAS UÑAS: Sí / No	
Hematoma bajo la uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5	Hematoma bajo la uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5
Ausencia de uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5	Ausencia de uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5

INFECCIÓN DE ALGUNA UÑA:				
SÍ / NO		SÍ / NO		
Indique qué uña: 1 2 3 4 5		Indique qué uña: 1 2 3 4 5		
HIPERQUERATOSIS:				
¿HA SIDO DIAGNOSTICADO DE ALGUNA PATOLOGÍA EN EL PIE?				
1. Fractura de estrés dedos 2. Hallux valgus 3. Pie plano 4. Pie cavo 5. Hallux Rigidus		1. Fractura de estrés dedos 2. Hallux valgus 3. Pie plano 4. Pie cavo 5. Hallux rigidus		
ROM DEL PRIMER RADIO (MM)				
	FD	FP	FD	FP
1º Observador				
2º observador				
MOVILIDAD PRIMERA ARTICULACIÓN METATARSO FALÁNGICA (GRADOS)				
	FD	FP	FD	FP
1º Observador				
2º observador				

PRESIONES PLANTARES

PRESIÓN MAXIMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA
TALÓN						
1º CABEZA METATARSAL						
5º CABEZA METTARSAL						
PRIMER DEDO						
PRESIÓN MEDIA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA
TALÓN						
1º CABEZA METATARSAL						
5º CABEZA METTARSAL						
PRIMER DEDO						

ESCALADA



EDAD DE INICIO		
AÑOS ESCALANDO		
CATEGORIA		
	ROCODROMO	
	BOULDER	VIA
HORAS SEMANALES DE ENTRENO		
GRADO: ESCALA FRANCESA		
	PIE DE GATO	
MARCA		
TALLA		
LONGITUDA		
ANCHO		
	PIE DERECHO	PIE IZQUIERDO
LE DUELE LOS PIES ESCALANDO		
PIES ADORMECIDOS MIENTRAS ESCALAS		
PUNTOS DOLOROSOS EN LA PRACTICA DE LA ESCALADA		
LESIONES PROVOCADAS PRO EL PIE DE GATO		

ANEXO V: HOJA RECOGIDA DE DATOS CASOS

CONTROLES

IDENTIFICADOR	
NOMBRE	
APELLIDOS	
EDAD	
SEXO	<input type="checkbox"/> MASCULNO <input type="checkbox"/> FEMENINO

PESO	
ESTATURA	
IMC	

IZQUIERDO	DERECHO
MEDIDAS DEL PIE:	
Largo:	Largo:
Ancho antepié:	Ancho antepié:
FÓRMULA DIGITAL: A QUÉ DIBUJO SE PARECE MÁS TU PIE:	
 <u>Izquierdo</u> 1 ~	 <u>Derecho</u> 1 ~
ALTERACIONES DIGITALES: SÍ / NO	
Dedo/s en maza: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5	Dedo/s en maza: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5
Dedo/s en martillo: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5	Dedo/s en martillo: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5
Dedo/s en garra: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5	Dedo/s en garra: SÍ / NO Indique qué dedo/s: 1 2 3 4 5
ALTERACIÓN EN LAS UÑAS: Sí / No	
Hematoma bajo la uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5	Hematoma bajo la uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5
Ausencia de uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5	Ausencia de uña: SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5

INFECCIÓN DE ALGUNA UÑA:				
SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5		SÍ / NO Indique qué uña: 1 2 3 4 5		
HIPERQUERATOSIS:				
¿HA SIDO DIAGNOSTICADO DE ALGUNA PATOLOGÍA EN EL PIE?				
6. Fractura de estrés dedos 7. Hallux valgus 8. Pie plano 9. Pie cavo 10. Hallux Rigidus		6. Fractura de estrés dedos 7. Hallux valgus 8. Pie plano 9. Pie cavo 10. Hallux rigidus		
ROM DEL PRIMER RADIO (MM)				
	FD	FP	FD	FP
1º Observador				
2º observador				
MOVILIDAD PRIMERA ARTICULACIÓN METATARSO FALÁNGICA (GRADOS)				
	FD	FP	FD	FP
1º Observador				
2º observador				
IZQUIERDO		DERECHO		
MEDIDAS DEL PIE:				
Largo:		Largo:		
Ancho antepié:		Ancho antepié:		

PRIMERA TOMA: (FECHA)

PRESIÓN MAXIMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA
TALÓN						
1º CABEZA METATARSAL						
5º CABEZA METTARSAL						

PRIMER DEDO						
PRESIÓN MEDIA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA
TALÓN						
1º CABEZA METATARSAL						
5º CABEZA METTARSAL						
PRIMER DEDO						

SEGUNDA TOMA: (FECHA)

PRESIÓN MAXIMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA
TALÓN						
1º CABEZA METATARSAL						
5º CABEZA METTARSAL						
PRIMER DEDO						
PRESIÓN MEDIA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA	PRIMERA TOMA	SEGUNDA TOMA	TERCERA TOMA
TALÓN						
1º CABEZA METATARSAL						
5º CABEZA METTARSAL						
PRIMER DEDO						

ANEXO VI: ESCALA DE MANCHESTER

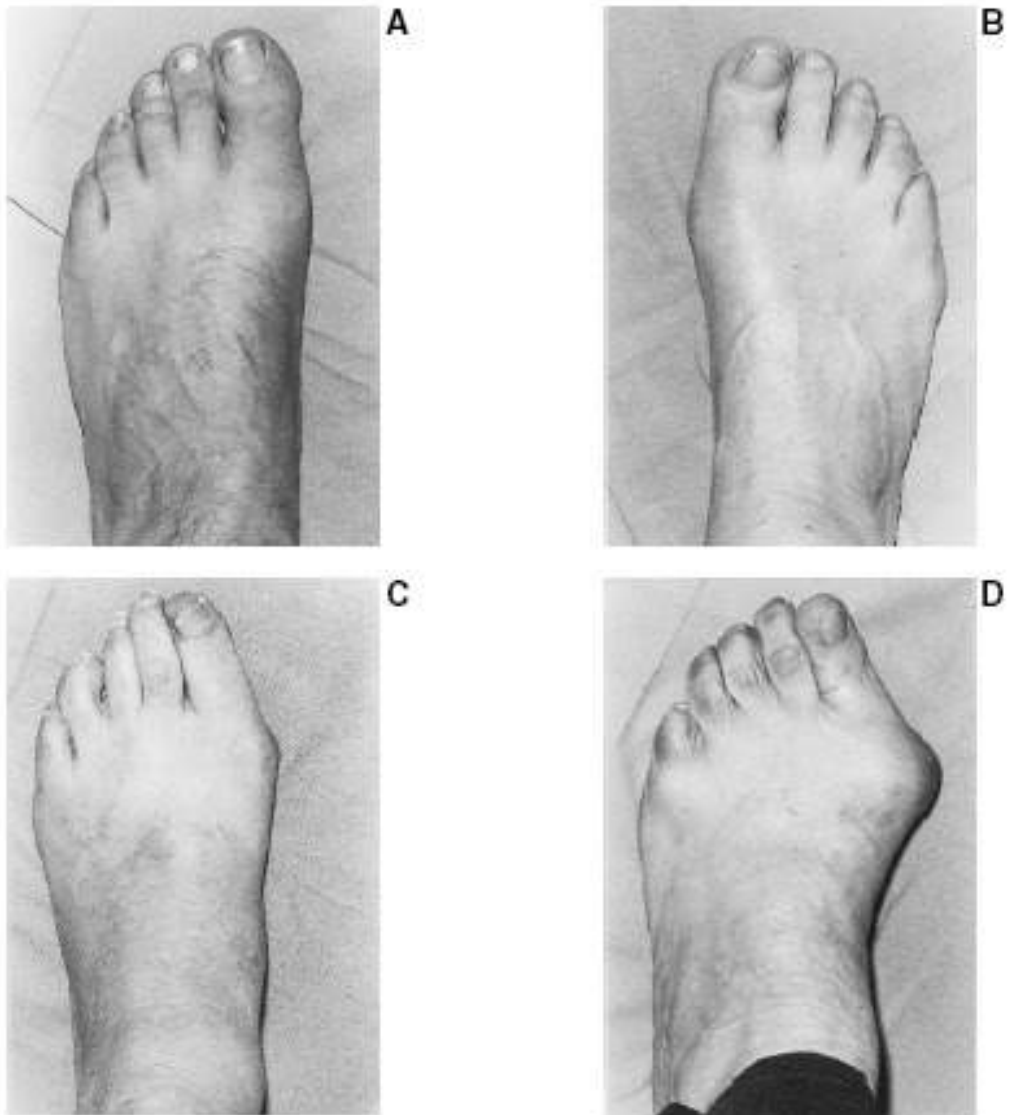


Figure 2. Hallux valgus grading photographs. A, Grade 1 (no deformity); B, grade 2 (mild deformity); C, grade 3 (moderate deformity); D, grade 4 (severe deformity).