

**Ingrid Filigrana Cantillo
Ana Jordà Gregori
María Carmen Puerto Ballester
Sara Sánchez Sánchez**

**RELACIÓN ENTRE LAS LESIONES DEL CORREDOR, SU BIOMECÁNICA Y
EL TIPO DE CALZADO EMPLEADO: ESTUDIO PILOTO**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**Dirigido por Néstor Muñoz
(Profesor asociado de la unidad de Medicina y Cirugía, URV)**

Grado de Fisioterapia



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Reus

2017



ÍNDICE

Agradecimientos	3
Resumen	4
Introducción	5
Material y métodos	9
Resultados	11
Discusión	12
Bibliografía	15
Anexo 1	17
Anexo 2	18
Anexo 3	20



AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial debemos a Néstor Muñoz Claret, profesor asociado a la unidad de Medicina y Cirugía de la Universidad Rovira i Virgili, por aceptar tutorizar nuestro trabajo de fin de grado y dejarnos hacer uso de su clínica *Aleus Clinic*. Nos ha orientado, apoyado y corregido en nuestra labor científica con un interés y una entrega que han sobrepasado todas las expectativas que, como alumnas, depositamos en su persona. Además le damos las gracias por su disponibilidad y paciencia, ya que hemos podido contar con él siempre que nos han surgido dudas.

Agradecemos también a los voluntarios que han participado en nuestro estudio. Sin ellos no hubiera sido posible realizar esta investigación.

Además, no podemos obviar el apoyo de nuestras familias y amigos, quienes han depositado su confianza en nosotras desde los inicios de nuestra carrera profesional y gracias a esto hemos logrado alcanzar el final con excelentes resultados. Entre todos ellos destacamos a nuestra compañera Núria Molina, por orientarnos y aconsejarnos en la elaboración del *abstract*.

Por último y no menos importante, damos las gracias a la Universidad Rovira i Virgili y todos sus docentes, por formarnos como futuras fisioterapeutas y brindarnos la oportunidad de formar parte de un proyecto de investigación.



RESUMEN

Introducción: En los últimos años surge una nueva tendencia en el calzado de “running”: el minimalismo, el cual se caracteriza principalmente por la eliminación de los sistemas de amortiguación y estabilidad del calzado. Por una parte, se piensa que el calzado minimalista puede causar lesiones en los corredores como fascitis plantar, tendinitis aquilea o lesiones por estrés en tibia y metatarsianos. Por otra parte, se cree que este calzado puede ser beneficioso ya que induce una biomecánica menos lesiva aumentando la cadencia y cambiando el patrón de pisada. **Objetivos:** se plantea diseñar un protocolo de análisis de la carrera específico para determinar las variaciones biomecánicas al correr con calzado o descalzo, aplicar dicho protocolo y comprobar si además de retirar el calzado es necesaria una adaptación para comenzar a correr sin él. **Material y métodos:** se analizó la biomecánica de 3 corredores, mediante un protocolo diseñado específicamente para estudiar diversas variables como la cadencia de paso, el modo de apoyo del pie con el suelo, la verticalidad de la tibia y los ángulos de tobillo y rodilla. **Resultados:** Al retirar el calzado se detecta una disminución del ángulo de inclinación del pie en el apoyo inicial, lo que conlleva a cambiar el patrón de ataque de retropié a mediopié reduciendo así la fuerza de impacto en todos los sujetos. **Discusión:** El correr descalzo sin una adaptación adecuada puede aumentar el riesgo de sufrir lesiones. Por el contrario tras la aplicación de un protocolo de evaluación específico para la biomecánica del corredor y una intervención progresiva se observa un estilo de carrera más eficiente y menos lesivo.

Palabras clave: minimalismo, descalzo, carrera, corredor, lesión, biomecánica y marcha.

ABSTRACT

Introduction: in the last few years, it has emerged a new trend on the races: the minimalism, which is characterized basically for the elimination of the cushioning and stability systems of the footwear. On one side, it is thought that the minimalist footwear can cause injuries on the runners such as plantar fasciitis, Achilles tendinitis or tibial stress fractures and metatarsals bones fractures. On the other side, it is believed that this footwear can be beneficial because it causes a less damaging biomechanics because it increases the cadence and it changes the strike patron on the runners. **Objectives:** it is suggested to design a specific race analysis protocol in order to determinate the biomechanical variations when using or not footwear, apply that protocol and verify if as well as removing the footwear, it is necessary an adaption to start running barefooted. **Material and methods:** the biomechanics of 3 runners was analyzed with a protocol designed specifically to study different variables, such as the cadence



of the step, the way of support of the foot with the ground, the tibial verticality, and the knees and ankles degrees. **Results:** when the footwear is removed, it is observed a decrease in the inclination degree of the foot on the first support, which brings us to change the attacked pattern from the hind foot to the mid foot, decreasing this way, the strength of the impact in all the individuals. **Discussion:** running without footwear without an appropriate adaptation can increase the risk of causing injuries. On the contrary, after the application of a specific evaluation protocol for the biomechanics of the runner and a progressive intervention, it is observed a race style more productive and less damaging.

Keywords: minimalism, barefoot, running, runner, injury, biomechanics and gait.

INTRODUCCIÓN

Hace millones de años se produjeron adaptaciones físicas y fisiológicas en los homínidos primitivos que les permitieron tener una resistencia bípeda y alcanzar tanto la marcha como la carrera para poder llegar a cazar y evitar ser cazados, proporcionando así la evolución del ser humano y permitiendo la supervivencia del individuo¹. Según Altman AR y Davis IS², aunque correr puede haber sido necesario para la supervivencia, no hay datos que reflejen las lesiones corrientes en estas primeras poblaciones de Homo que corrían sin calzado.

Como mencionábamos anteriormente, el objetivo inicial de la carrera fue la caza de animales, pero ya en la antigua Grecia ésta se convirtió en un ejercicio recreativo y de competición con la invención de los juegos olímpicos, pero es durante los últimos 40 años del siglo XX la época en que esta tendencia deportiva conocida como *running* ha ganado más adeptos convirtiéndose en la actualidad como uno de los deportes más practicados por la sociedad.^{1,3}

Definimos la marcha humana como un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano, en posición erguida, se mueve hacia adelante, siendo su peso soportado por una sucesión de dobles apoyos y apoyos monopodales. Al aumentar el individuo su velocidad, dichos periodos de apoyo bipodal se reducen progresivamente, en relación al ciclo de la marcha, hasta que el sujeto comienza a correr, siendo entonces reemplazados estos periodos de apoyo bipodal por breves intervalos de tiempo llamados fases de vuelo en los que ambos pies se encuentra en el aire.⁴

Como diferencias entre la marcha y la carrera encontramos que en la carrera, la velocidad y las fuerzas de reacción del suelo se ven incrementadas respecto a la marcha, desaparece la fase de apoyo bipodal y aparece la fase de vuelo mencionada anteriormente. También encontramos un aumento de la cadencia (número de pasos por fracción de tiempo), así como



de la longitud de paso y la zancada. También se ven aumentados los movimientos angulares de los tobillos, las rodillas y las caderas, los cuales son mayores en la carrera que en la marcha. Entre las variaciones que encontramos destacamos, por ejemplo, que el rango articular de flexión dorsal–flexión plantar del tobillo al caminar es de 30º y al correr este aumenta a 50º. Respecto a la flexión de rodilla, en la fase de oscilación ésta alcanza los 60º al caminar, mientras que al correr, la flexión aumenta hasta llegar a los 90º pudiendo alcanzar hasta los 130º en los grandes velocistas. Por último, la articulación de la cadera obtiene un rango articular de flexo – extensión de 60º durante la carrera, respecto a los 40º que se alcanzan durante la marcha.⁵ Además de los movimientos descritos anteriormente, también se ven aumentados los movimientos de torsión de la cintura pélvica y escapular. Otro aspecto a destacar es la distancia del ancho de paso: si trazáramos una línea siguiendo los sucesivos apoyos de cada pie, se comprueba que en la marcha la trayectoria de apoyo de cada extremidad está ligeramente separada de la línea media, mientras que en la carrera el apoyo interno de cada pie coincide con esta línea.⁴

En cuanto al calzado usado en esta práctica deportiva, el primer zapato con fines atléticos emergió en el año 1800. Aun así, en los últimos 40 años numerosas empresas comerciales han ido desarrollando su diseño, añadiéndole cada vez más sistemas de amortiguación, de estabilidad y comodidad, dando como resultado lo que hoy conocemos como calzado convencional.⁶ Contrariamente a este tipo de zapato encontramos el minimalista, el cual ha sido definido como un calzado que proporciona la mínima interferencia con el movimiento natural del pie debido a su alta flexibilidad, su escasa diferencia entre la altura del talón respecto al antepié, su bajo peso y escasa altura de la suela, además de la ausencia de control de movimiento y dispositivos de estabilidad, permitiendo así la máxima propiocepción del pie. El minimalismo es considerado como la forma de correr más similar a la tendencia de correr descalzo o *barefoot running* y tiene como objetivo volver al origen de la carrera y, por tanto, a la forma más natural de correr.⁷

Entre estas modalidades de *running* no solo encontramos diferencias en lo que se refiere al calzado sino que también existen diferencias en los aspectos biomecánicos de la carrera. Entre los corredores que usan calzado convencional, al menos un 88,9% de los corredores realizan el primer contacto en la fase inicial de apoyo con la parte posterior del pie, más conocido como retropié. Esto es debido posiblemente al talón del zapato amortiguado y elevado. El otro 3,4% de los corredores impactan con la parte medial del pie (pie plano) y solo un 1,8% lo hacen contactando primero con el antepié.²



El aterrizaje con retropié resulta muy definido en la fuerza de reacción vertical del suelo durante el contacto, que precede al pico de propulsión. Esto se traduce en altas tasas de carga en la postura inicial del corredor, siendo un posible desencadenante de un aumento del estrés mecánico en los tejidos, y por lo tanto un posible origen de lesiones.²

En cambio, al correr descalzo, en la fase de contacto inicial se fomenta un patrón de huella delantera, es decir, el pie realiza el primer impacto contra el suelo a través del antepié. Correr sin calzado también se asocia con una longitud de zancada más corta, y un aumento en la cadencia de paso, lo que implica directamente una disminución del desplazamiento vertical del centro de gravedad en la fase de vuelo, además de una función propioceptiva más desarrollada que conlleva a una musculatura de pie y tobillo más fuerte.^{8,9}

Se ha demostrado que aumentar un 10% la cadencia puede reducir la excursión vertical del centro de masas así como el impulso de frenada y la energía absorbida por la rodilla y, aunque no se hayan determinado los valores óptimos exactos, se cree que una cadencia aproximada a 180 ppm reduce la longitud de zancada y da como resultado la disminución de cargas experimentadas por el cuerpo pudiendo proteger al corredor de las lesiones relacionadas con el impacto.^{10,11,12,13} Otro aspecto a destacar de la carrera sin calzado es que permite una fácil entrada sensorial al sistema neuromuscular consiguiendo un mayor equilibrio estático cuando se está de pie descalzo y así mejorar la propiocepción.

Independientemente de la biomecánica habitual de cada uno de estos estilos, convencional y minimalista, otros aspectos biomecánicos pueden ser clave en el desarrollo de lesiones y, por tanto, habría que tenerlos en cuenta al estudiar la biomecánica de cualquier corredor. Entre las variables más importantes analizables desde una visión lateral encontramos el ángulo de inclinación del pie en el contacto inicial (o ángulo formado entre la suela del zapato y la superficie por la que se corre), la alineación del eje de la tibia respecto al eje vertical en el campo de visión justo al finalizar el contacto inicial, el ángulo máximo de flexión de rodilla durante la fase de apoyo, el ángulo de extensión de cadera en la fase final de apoyo, la inclinación del tronco y el desplazamiento vertical del centro de masas. Desde una visión posterior, se debe tener en cuenta la anchura de la base de apoyo de ambos pies, los grados de eversión-inversión, la distancia entre ambas rodillas y la alineación de la pelvis.¹¹

La aparición del calzado minimalista ha conllevado a abrir un gran debate entre los riesgos y beneficios que éste tipo de calzado puede ofrecer a los corredores en cuanto a las lesiones y la biomecánica comparándolo con el calzado convencional.



La incidencia de lesiones anualmente se aproxima a un 79% de los corredores, las cuales se localizan principalmente en rodilla y pierna. Esta alta incidencia se ha mantenido a lo largo de los años a pesar de los intentos para mejorar el calzado, y por este motivo se ha planteado el calzado minimalista como una opción para reducir lesiones ganando así popularidad en los últimos 10 años.² Brunk et al¹⁴ sugieren en su estudio que las lesiones más prevalentes entre los corredores en general son tendinitis aquilea, fascitis plantar y el síndrome de estrés medial de la tibia, las cuales suman el 25% del número total de lesiones anuales. Debido a las diferencias biomecánicas que se dan al correr descalzo o con zapato minimalista frente al uso del calzado convencional, podemos encontrar diferentes lesiones asociadas a cada estilo de carrera de las cuales hablaremos a continuación.

Por un lado, el estilo minimalista debido a que el patrón de aterrizaje es de antepié conlleva a un mayor trabajo del pie en la posición de flexión plantar, el cual se asocia con frecuencia al riesgo de sufrir lesiones musculares en el tríceps sural y tendón de Aquiles, pero sobre todo se relaciona con fracturas por estrés de la tibia y los metatarsianos.^{15,16} A diferencia de esta nueva tendencia, correr con calzado convencional se relaciona a menudo con el riesgo de sufrir lesiones musculares predominantemente en el compartimento anterior de la tibia, debido a un mayor trabajo del pie en flexión dorsal provocado por el patrón de ataque de retropié. Además, el uso del calzado convencional se asocia con frecuencia con otras lesiones como fascitis plantar, fractura de estrés tibial o dolor patelofemoral.

A pesar del gran número de artículos que relacionan el calzado minimalista con un alto riesgo de lesiones en la pierna y el pie y, especialmente, con las fracturas por estrés de los metatarsianos y las tendinitis de Aquiles,^{15,16,17} solo un número reducido de ellos, como el de Cauthon DJ et al.¹⁵ tienen en cuenta la falta de un período de transición como causa de las lesiones y como consecuente, la importancia de una buena adaptación para la prevención de estas.

Así pues una de las barreras que más limita a los corredores al cambio de calzado convencional a minimalista es el riesgo de sufrir lesiones, ya que se ha demostrado que uno de los errores más comunes es hacer el cambio sin una transición previa que no les permite hacer una adaptación a la nueva biomecánica, absolutamente necesaria, puesto que si se aplica una carga excesiva en las extremidades inferiores sin un acondicionamiento, se aumenta notablemente el riesgo de sufrir lesiones por estrés biomecánico tales como las anteriormente mencionadas.¹⁸



De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este estudio surge por la falta de unanimidad al respecto del calzado más apropiado para correr, su relación con la biomecánica y técnica de carrera, y las lesiones asociadas a cada una de ellas. Estas dudas que se plantean nos llevan a marcarnos los siguientes objetivos:

- Diseñar un protocolo de análisis de la carrera específico para analizar las variaciones biomecánicas al correr con calzado o descalzo.
- Aplicar dicho protocolo a un número determinado de sujetos corredores.
- Comprobar si además de retirar el calzado es necesaria una adaptación para comenzar a correr sin calzado.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron para el estudio y fueron analizados 3 corredores varones estudiantes de la universidad Rovira i Virgili de Reus (Tarragona) que cumplían los siguientes criterios de inclusión: rango de edad entre 18 y 25 años, IMC inferior a 25 y que tuvieran una práctica deportiva de carrera superior a 2horas/semanales. Los criterios de exclusión fueron: sufrir lesiones relevantes del sistema musculoesquelético en los últimos dos años y que tuvieran experiencia previa en la modalidad descalza o minimalista de carrera. Antes de empezar se les dio una explicación de la finalidad del estudio y del procedimiento que se iba a aplicar, y después de realizar las preguntas que creyeron necesarias, todos los sujetos firmaron el consentimiento informado por escrito.

El objetivo de análisis fueron las siguientes variables: el tipo de contacto de pie y el ángulo de inclinación del pie en el contacto inicial, la alineación de la tibia en carga y la flexión máxima de rodilla durante la fase de apoyo. Se analizaron dichas variables por su gran relación con el aumento de la fuerza de impacto, lo cual se asocia directamente con un mayor riesgo de lesión.

En primer lugar, dependiendo del tipo de contacto de pie en la fase de apoyo inicial podemos encontrar los siguientes patrones: retropié, mediopié y antepié, cuya relación con posibles lesiones ya ha sido explicada anteriormente. En segundo lugar, el ángulo de inclinación del pie es el ángulo que se forma entre la suela del calzado y la superficie por la que se corre durante la fase de contacto inicial y solamente es analizable en corredores cuyo patrón de ataque sucede a través del retropié. Un aumento de este ángulo se relaciona con un aumento de la extensión de rodilla, de la energía sufrida por ésta, de las fuerzas de reacción del suelo y del impulso de frenado durante la carrera, por lo que puede ser el origen de muchas lesiones. No



hay unos valores establecidos para determinar que un ángulo de inclinación de pie sea patológico, pero se entiende que cuanto más elevado sea éste más lesivo es el impacto. Respecto a la alineación de la tibia en carga, podemos encontrar una tibia flexionada cuando la parte proximal de ésta se encuentra en una posición anterior respecto la parte más distal (usando como referencia la cabeza del peroné y el maléolo externo). Se habla de una tibia alineada en el caso de que tanto la cabeza del peroné como el maléolo externo coincidan formando un línea completamente vertical y, por último, encontramos una tibia extendida si la cabeza del peroné es posterior al maléolo lateral. Una tibia vertical o flexionada permite disipar más fácilmente la energía absorbida durante la fase de apoyo inicial, en cambio, una tibia extendida se relaciona a menudo con lesiones por impacto. Finalmente, la flexión máxima de rodilla durante el apoyo, es una variable que nos puede alertar de la aparición de lesiones. Se considera que unos valores de flexión de rodilla inferiores a 40º pueden estar relacionados con una disminución de la amortiguación de impactos y, en muchos casos, con dolor patelofemoral.¹¹

Con tal de poder analizar las variables explicadas se utilizaron las siguientes referencias anatómicas laterales: trocánter mayor, cabeza del peroné, maléolo externo y cabeza del 5º metatarsiano, señaladas mediante marcadores adhesivos visibles con el objetivo de facilitar el posterior análisis biomecánico.

Para la realización de los análisis se usó una cinta de correr de la marca FITFIU 2500W® la cual permite alcanzar velocidades de carrera de hasta 22km/h.

Se realizó el estudio de los sujetos en Aleus Clínic (Reus, Tarragona) siguiendo el protocolo previamente establecido, el cual se dividió en 3 fases. Previamente a la fase 1 todos los participantes realizaron un calentamiento de 5 minutos con el calzado de deporte habitual en una cinta de correr sin pendiente y a su velocidad habitual con el fin adaptarse al uso de la cinta y coger el ritmo habitual de carrera. Sin pausa entre las fases ni cambios en la velocidad autoseleccionada y la pendiente, la primera consistió en correr 3 minutos con calzado convencional, en la cual además de los movimientos angulares, también se registró la cadencia de paso; la segunda, 3 minutos sin calzado ni calcetines; y la tercera, nuevamente 3 minutos descalzos, pero en este caso, se modificó la cadencia de los corredores a 180 ppm (pasos por minuto) que fue marcada mediante estímulos sonoros mediante un metrónomo digital.

En cada fase se filmó el primer y último minuto desde la vista lateral derecha, obteniendo únicamente imágenes de la extremidad derecha de cada sujeto. Las imágenes fueron registradas mediante un dispositivo iPad colocado a 2'5 metros del corredor, en el plano



sagital, en una posición fija mediante la utilización de trípodes. Para facilitar el posterior análisis secuencial de las imágenes el registro se realizó utilizando la aplicación “HUDL Urbensense”.

Posteriormente a la práctica deportiva, se les preguntó sobre las sensaciones que habían tenido al retirar el calzado y sobre cómo había reaccionado su cuerpo a este cambio.

RESULTADOS

En la tabla encontramos las variables analizadas. De estas variables, el ángulo de inclinación del pie en contacto inicial, sólo puede analizarse en los sujetos que atacan de retropié.

SUJETO 1

		TIPO DE CONTACTO	ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PIE	ALINEACIÓN TIBIA EN CARGA	MAXIMA FLEXIÓN DE RODILLA EN LA FASE DE APOYO	VELOCIDAD (km/h)	CADENCIA (ppm)
Con calzado convencional 3 minutos	1'	Retropié	21º	Extendida	44º	8'1	160
	3'	Retropié	16º	Extendida	45º	8'1	160
Sin calzado: 1ª intervención 3 minutos	1'	Mediopié		Extendida	42º	8'1	167
	3'	Antepié		Extendida	37º	8'1	167
Sin calzado: 2ª intervención 3 minutos	1'	Antepié		Vertical	31º	8'1	180
	3'	Antepié		Vertical	33º	8'1	180

(Tabla 1)

SUJETO 2

		TIPO DE CONTACTO	ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PIE	ALINEACIÓN TIBIA EN CARGA	MAXIMA FLEXIÓN DE RODILLA EN LA FASE DE APOYO	VELOCIDAD (km/h)	CADENCIA (ppm)
Con calzado convencional 3 minutos	1'	Retropié	10º	Extendida	34º	11	150
	3'	Retropié	11º	Extendida	27º	11	150
Sin calzado: 1ª intervención 3 minutos	1'	Mediopié		Extendida	35º	11	160
	3'	Mediopié		Vertical	36º	11	160
Sin calzado: 2ª intervención 3 minutos	1'	Mediopié		Vertical	28º	11	180
	3'	Mediopié		Vertical	27º	11	180

(Tabla 2)



SUJETO 3

		TIPO DE CONTACTO	ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PIE	ALINEACIÓN TIBIA EN CARGA	MAXIMA FLEXIÓN DE RODILLA EN LA FASE DE APOYO	VELOCIDAD (km/h)	CADENCIA (ppm)
Con calzado convencional 3 minutos	1'	Retropié	9º	Extendida	40º	9'5	149
	3'	Mediopié		Flexionada	47º	9'5	149
Sin calzado: 1ª intervención 3 minutos	1'	Mediopié		Flexionada	46º	9'5	156
	3'	Mediopié		Flexionada	46º	9'5	156
Sin calzado: 2ª intervención 3 minutos	1'	Mediopié		Flexionada	44º	9'5	180
	3'	Mediopié		Flexionada	42º	9'5	180

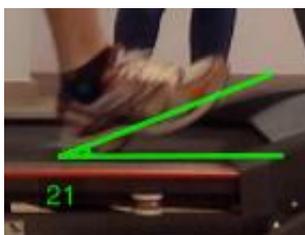
(Tabla 3)

Respecto a las preguntas realizadas posteriormente, los sujetos 1 y 2 afirmaban haber notado diferentes sensaciones al correr descalzos que al principio fueron molestas pero a las cuales se acostumbraron rápidamente. El sujeto 3 tuvo molestias constantes en el tibial anterior durante todo el proceso, que pueden ser atribuidas a que era la primera vez que corría en cinta. Dos de ellos tuvieron dificultades en mantener el aumento de cadencia a 180 ppm, hecho que debería ser tomado en cuenta a la hora de hacer una reeducación con un paciente real para ir incidiendo en el ritmo y hacer un seguimiento continuo.

DISCUSIÓN

Por lo que refiere a la variable de tipo de contacto, debido a las dos intervenciones, los tres participantes cambian su patrón de ataque de retropié (imagen 1) a mediopié (imagen 2) y el primer sujeto llega a un patrón de antepié.

Antes de realizar las intervenciones los tres sujetos adoptan una biomecánica espontánea con mayor fuerza de impacto y de frenada, dado que adoptan un patrón de ataque de retropié, lo cual podría aumentar el gasto energético y el riesgo de lesión. Sus ángulos de inclinación del pie en el contacto inicial son: 21º y 16º en el primer sujeto, 9º en el segundo, 10º y 11º en el tercero.



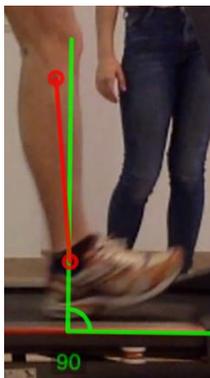
Ángulo del pie en el contacto inicial. (Imagen 1)



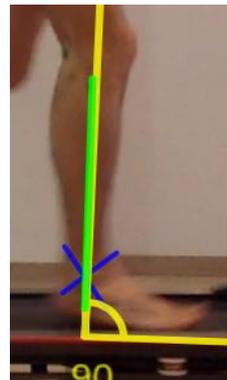
Tipo de contacto (Imagen 2)



Por lo que respecta a la alineación de la tibia en carga, la tendencia de los tres sujetos es cambiar la posición extendida de la tibia (imagen 3), a una posición flexionada o vertical (imagen 4), lográndose un cambio destacable en el riesgo de lesiones ya que una tibia vertical o flexionada disipa más fácilmente la energía absorbida durante la fase de apoyo inicial.



Alineación de la tibia en carga (Imagen 3)



Alineación de la tibia en carga (Imagen 4)

Referido a la flexión de la rodilla, cabe destacar que al aplicar las dos intervenciones en los tres sujetos se observa una disminución de la flexión de rodilla, lo cual podría aumentar el riesgo de lesiones por impacto. No obstante, este dato habría que analizarlo con más detalle, ya que el hecho de acortar la longitud de zancada de los corredores, podría ser el motivo por el cual disminuyen los valores de flexión de rodilla. Además, altos valores de flexión de rodilla también puede ser lesivos, ya que están asociados a fracturas por estrés tibial.¹¹

Por lo que respecta a la cadencia, en los tres participantes aumenta quitándoles el calzado en la segunda fase, lo que significa que únicamente aplicando la primera intervención, es decir retirar el calzado, ya aparece un cambio en la biomecánica de la carrera. Pero a este cambio, en la segunda intervención, le añadimos el aumento de cadencia constante a 180 pasos por minuto que se sugiere que es la menos lesiva para el corredor^{10,11,12,13}. Cabe destacar que este cambio de cadencia en el momento de aplicarlo a un sujeto real tendríamos que tener en cuenta que debería ser progresivo, ya que no siendo así podrían estar sujetos a múltiples patologías por sobrecargas¹⁵.

Limitaciones

Algunas de las limitaciones del estudio son: al haber realizado un estudio piloto con una muestra de tres sujetos, no se pueden obtener datos concluyentes ni estadísticamente significativos; el hecho de que corrieran en cinta y no en su superficie de entrenamiento, lo



cual podría modificar su biomecánica habitual y por último, no se tiene en cuenta parámetros como la fatiga.

Líneas de futuro

Como líneas de futuro, proponemos realizar el estudio con un número de sujetos mayor, introducir la variable de la fatiga, establecer diferentes ángulos de filmación como la vista posterior y anterior y analizar más variables como la extensión de la cadera durante la fase final de apoyo o la inclinación de tronco durante todas las fases que nosotras no hemos tenido en cuenta.

Analizar más detalladamente el ángulo óptimo de flexión de rodilla para un corredor minimalista, dado que para éste la longitud de la zancada es menor y por tanto la flexión de rodilla necesaria disminuirá su valor.

CONCLUSIONES

- Es necesario diseñar un protocolo de análisis de la carrera específico para analizar las variaciones biomecánicas al correr con calzado o descalzo.
- El protocolo diseñado se puede aplicar en un espacio y tiempo asequible para poder ser realizado en una consulta de fisioterapia sin un gran número de requerimientos especiales
- Además de retirar el calzado es necesaria una adaptación para comenzar a correr sin calzado.



BIBLIOGRAFIA

1. Roth J, Neumann J, Tao M. Orthopaedic Perspective on Barefoot and Minimalist Running. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2016;24(3):180-187.
2. Altman A, Davis I. Barefoot Running. *Current Sports Medicine Reports*. 2012;11(5):244-250.
3. Murray A, Costa R. Born to run. Studying the limits of human performance. *BMC Medicine*. 2012;10(1).
4. Nicola T, Jewison D. The Anatomy and Biomechanics of Running. *Clinics in Sports Medicine*. 2012;31(2):187-201.
5. Dicharry J. Kinematics and Kinetics of Gait: From Lab to Clinic. *Clinics in Sports Medicine*. 2010;29(3):347-364.
6. Davis I. The Re-emergence of the Minimal Running Shoe. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2014;44(10):775-784.
7. Knapik JJ, Orr R, Pope R, Grier T. Injuries And Footwear (Part 2): Minimalist Running Shoes. *J Spec Oper Med*. 2016 Spring;16(1):89-96.
8. Johnson A, Myrer J, Mitchell U, Hunter I, Ridge S. The Effects of a Transition to Minimalist Shoe Running on Intrinsic Foot Muscle Size. *International Journal of Sports Medicine*. 2015;37(02):154-158.
9. Chen T, Sze L, Davis I, Cheung R. Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume. *Clinical Biomechanics*. 2016;36:8-13.
10. Schubert A, Kempf J, Heiderscheit B. Influence of Stride Frequency and Length on Running Mechanics. *Sports Health*. 2014;6(3):210-217.
11. Souza R. An Evidence-Based Videotaped Running Biomechanics Analysis. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2016;27(1):217-236.
- 12- Novacheck TF. The biomechanics of running. *Gait and Posture*. 1998;7:77-95.



13- McCallion C, Donne B, Fleming N, Blanksby B. Acute differences in foot strike and spatiotemporal variables for shod, barefoot or minimalist male runners. *J Sports Sci Med*. 2014 May 1;13(2):280-286.

14- Brund R, Rasmussen S, Nielsen R, Kersting U, Laessoe U, Voigt M. Medial shoe-ground pressure and specific running injuries: A 1-year prospective cohort study. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017.

15- Cauthon D, Langer P, Coniglione T. Minimalist shoe injuries: Three case reports. *The Foot*. 2013;23(2-3):100-103.

16- Salzler M, Kirwan H, Scarborough D, Walker J, Guarino A, Berkson E. Injuries observed in a prospective transition from traditional to minimalist footwear: correlation of high impact transient forces and lower injury severity. *The Physician and Sportsmedicine*. 2016;44(4):373-379.

17- Salzler M, Bluman E, Noonan S, Chiodo C, de Asla R. Injuries Observed in Minimalist Runners. *Foot & Ankle International*. 2012;33(4):262-266.

18- Dowling G, Murley G, Munteanu S, Smith M, Neal B, Griffiths I et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2014;7(1).



ANEXO 1: CONSENTIMIENTO INFORMADO

CONSENTIMIENTO INFORMADO

_____ con DNI _____

Dirección _____

Ciudad y CP _____

Hace constar que:

1. Accede a ser explorado e intervenido mediante técnicas de fisioterapia inocuas por cuatro alumnas del 4º curso del Grado de Fisioterapia dentro de la asignatura *Treball de Fi de Grau*.
2. Que no presenta ningún problema médico conocido que le imposibilite ser evaluado y participar en una intervención de fisioterapia.
3. Hay que tener en cuenta, dentro de su Historia Clínica, los siguientes antecedentes que el paciente considera relevantes:

4. Ha recibido adecuada y suficiente información, por parte de las alumnas de Fisioterapia, respecto al funcionamiento del trabajo y la naturaleza del procedimiento que se le propondrá, así como de los riesgos derivados.
5. Ha recibido respuesta satisfactoria a todas las preguntas que ha querido plantear, y por tanto autoriza la exploración y aplicación de la intervención, teniendo conocimiento de que en cualquier momento puede abandonar libremente la participación en esta actividad si así lo considera.

_____, a _____ de _____ de 20__

Firma:



ANEXO 2: PROTOCOLO DE ANÁLISIS

PROTOCOLO DEL ANÁLISIS DE LA CARRERA

1. RECOGER DATOS DEL PACIENTE:

- Nombre y apellidos:
- Edad:
- Correo electrónico:
- Práctica deportiva (horas semanales que dedica a correr):
- Peso (kg):
- IMC:
- Talla (cm):
- Tipo de calzado habitual
- Superficie habitual de carrera

2. COLOCACIÓN DE MARCADORES ANATÓMICOS:

Marcadores laterales:

- Trocánter mayor
- Cabeza peroné
- Maléolo externo
- Cabeza del 5º metatarsiano.

3. CALENTAMIENTO SOBRE LA CINTA DE CORRER:

- Tiempo: 5 minutos
- Velocidad: la que habitualmente alcanza el sujeto
- Características: uso del calzado habitual del sujeto



4. FASE 1: CARRERA HABITUAL

-Tiempo: 3 min

-Velocidad: la que habitualmente alcanza el sujeto (sin modificarla)

-Características: uso del calzado habitual del sujeto

Se graba al sujeto desde la vista lateral derecha mediante un dispositivo iPad. Se grabarán los minutos 1 y 3.

5. FASE 2: INTERVENCIÓN 1

-Tiempo: 3 min

-Velocidad: la que habitualmente alcanza el sujeto (sin modificarla)

-Características: sujeto descalzo

Se graba al sujeto desde la vista lateral derecha mediante un dispositivo iPad. Se grabarán los minutos 1 y 3.

6. FASE 3: INTERVENCIÓN 2

-Tiempo: 3 minutos

-Velocidad: preferida por el sujeto (sin modificarla)

-Características:

- Sujeto descalzo
Le pediremos al sujeto que realice estos cambios en su técnica al correr:
- Aumento de la cadencia a 180ppm.

Se graba al sujeto desde la vista lateral derecha mediante un dispositivo iPad. Se grabarán los minutos 1 y 3.



ANEXO 3: FOTOS DEL ANÁLISIS

FOTOS ANALISIS

(Las fotos están ordenadas de izquierda a derecha primer sujeto, segundo, y tercero. Las de arriba de cada apartado corresponden al minuto 5 y las de abajo al 7)

TIPO DE CONTACTO

- Tipo de contacto con calzado convencional



Imagen 1.1

Imagen 1.2

Imagen 1.3



Imagen 1.4

Imagen 1.5

Imagen 1.6

- Tipo de contacto sin intervención



Imagen 1.7

Imagen 1.8

Imagen 1.9



Imagen 1.10

Imagen 1.11

Imagen 1.12



- Tipo de contacto con intervención



Imagen 1.13

Imagen 1.14

Imagen 1.15



Imagen 1.16

Imagen 1.17

Imagen 1.18

ANGULO DE INCLINACION DEL PIE EN CONTACTO INICIAL



Imagen 2.1

Imagen 2.2

Imagen 2.3



Imagen 2.4

Imagen 2.5



ALINEACIÓN DE LA TIBIA EN CARGA

- Angulo de la tibia en carga con calzado convencional



Imagen 3.1



Imagen 3.2



Imagen 3.3

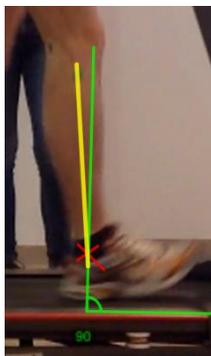


Imagen 3.4



Imagen 3.5



Imagen 3.6

- Angulo de la tibia en carga descalzo sin intervención



Imagen 3.7



Imagen 3.8



Imagen 3.9



Imagen 3.10



Imagen 3.11



Imagen 3.12

- Angulo de la tibia en carga descalzo con intervención

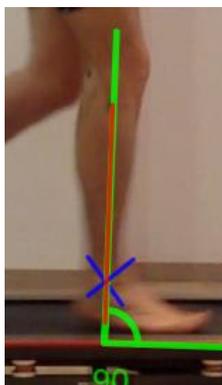


Imagen 3.13

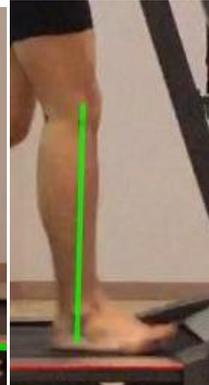


Imagen 3.14



Imagen 3.15



Imagen 3.16



Imagen 3.17



Imagen 3.18



MAXIMA FLEXIÓN DE RODILLA EN LA FASE DE APOYO

- Máxima flexión de la rodilla durante la fase de apoyo medio con calzado convencional



Imagen 4.1

Imagen 4.2

Imagen 4.3

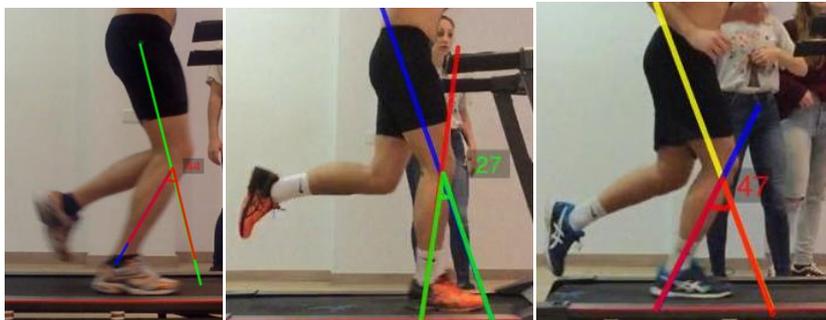


Imagen 4.4

Imagen 4.5

Imagen 4.6

- Máxima flexión de la rodilla durante la fase de apoyo medio descalzo sin intervención

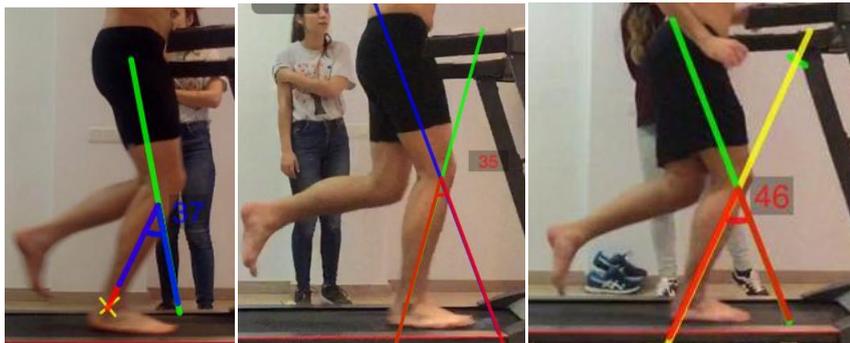


Imagen 4.7

Imagen 4.8

Imagen 4.9

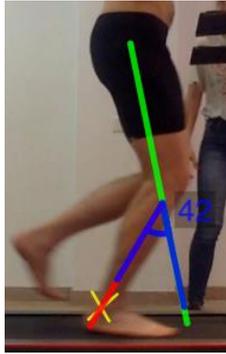


Imagen 4.10

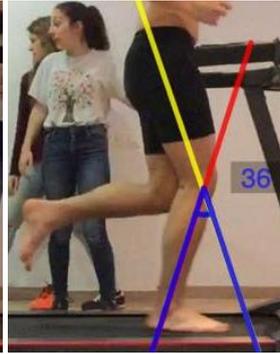


Imagen 4.11

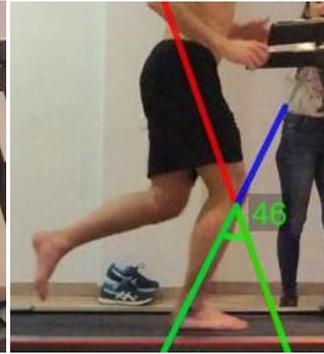


Imagen 4.12

- Máxima flexión de la rodilla durante la fase de apoyo medio descalzo con intervención



Imagen 4.13

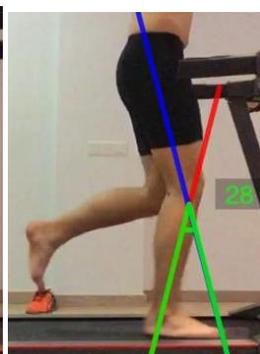


Imagen 4.14



Imagen 4.15



Imagen 4.16

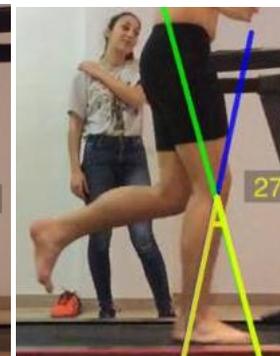


Imagen 4.17

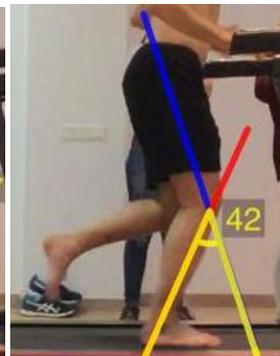


Imagen 4.18