



ANÁLISIS DEL EFECTO DE CORRER SOBRE DISTINTAS SUPERFICIES EN LA
TÉCNICA DE CARRERA Y LA COORDINACIÓN MOTORA

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021

ALUMNO: IÑAKI BONAL HERNÁNDEZ

TUTOR ACADÉMICO: FRANCISCO JAVIER MORENO HERNÁNDEZ

ÍNDICE

1. CONTEXTUALIZACIÓN	2
2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN	3
2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN	3
2.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	3
2.3. SELECCIÓN DE ESTUDIOS.....	3
3. REVISION BIBLIOGRÁFICA	5
4. DISCUSIÓN	13
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	15
6. BIBLIOGRAFÍA	16
7. ANEXOS	17



1. CONTEXTUALIZACIÓN

La variabilidad motora es una característica controlada por el Sistema Nervioso Central, necesaria para adaptarse a una situación, regula la exploración de las configuraciones que ofrecen los grados de libertad del sistema para encontrar una solución deseada (Barbado, Sabido, Vera-García, Gusi & Moreno, 2012). La variabilidad de ejecución se entiende como la desviación o variabilidad de una secuencia de movimientos definidos previamente a base de diferentes contracciones musculares y se lleva a cabo por medio de variables cinemáticas, cinéticas y electromiográficas (Oña, Martínez, Moreno & Ruiz, 1999).

El sistema motor humano está formado por múltiples elementos que se autoorganizan para dar lugar a un patrón de movimiento, se trata de la búsqueda de puntos de equilibrio del sistema para adaptarse a una nueva situación (Newell & Vaillancourt, 2001), objetivo del entrenamiento en variabilidad.

Tradicionalmente, se ha denominado a la variabilidad motora como un “error del sistema”, sin embargo actualmente ha cambiado a calificarse como “ruido”, que se incluye en el sistema motor y que está presente porque puede ser funcional para el sistema neuromotor (Davids, Shuttleworth, Button, Renshaw & Glacier, 2003).

Se ha identificado a la variabilidad motora, como una herramienta relevante para el incremento del rendimiento motor y la capacidad de aprendizaje en tareas de equilibrio (Barbado, Caballero, Moreside, Vera-García & Moreno, 2017). Concretamente, en la carrera a pie, se ha comprobado que un estado mayor de variabilidad motora representaba una menor exposición a lesiones (Hamill, Palmer & Van Emmerik, 2012). En los últimos años se han estudiado los factores que pueden influir en el aprendizaje de un patrón motor o en la mejora de este, analizando la cinética y cinemática de la carrera a pie expuesta a cambios en la superficie o el tipo de zapatilla (Malisoux, Ramesh, Mann, Seil, Urhausen & Theisen, 2015).

La variación de la superficie de carrera (dura, blanda o elástica) o el tipo de calzado (mayor o menor amortiguación) pueden afectar a esta coordinación y al tipo de zancada o pisada, variables que pueden influir directamente en el rendimiento.

Aun así, en la literatura científica los trabajos sobre la variabilidad motora en la carrera a pie son escasos y se ha llegado a resultados contradictorios. Uno de los problemas que encontramos son las diferencias en los protocolos de los estudios, no guardan relación entre ellos, ya bien sea porque algunos tratan la variabilidad mediante los cambios de calzado o por tratarse de estudios sin intervención.

La mayoría de los estudios en los que se realiza una intervención se caracterizan por realizar únicamente un análisis cinemático en una sesión para ver cómo afecta la variabilidad a la técnica de carrera. Esta información nos puede ayudar para ver las diferencias cinemáticas, pero no podemos ver cómo influye un periodo de entrenamiento, en el que se modifica el tipo de superficie a los deportistas, en variables como el aprendizaje de la técnica, la prevención de lesiones o la adaptación a ellas, como ya se ha visto con otras prácticas deportivas.

Encontramos estudios interesantes en un marco teórico, que analizan la variabilidad coordinativa, pero no se lleva a estudio en acciones deportivas concretas o bien se tratan de tareas de control postural.

Por lo tanto, es necesario abordar una investigación en la que se realice y evalúe una intervención para analizar la variabilidad motora. Un estudio en el que se evalúe la carrera a pie en diferentes superficies nos puede proporcionar información sobre variables cinéticas y cinemáticas entre ellas y comprobar si las características individuales de cada sujeto, como puede ser el nivel de experiencia influyen en estas variables.

2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN

El procedimiento de búsqueda y revisión de los estudios se ha llevado a cabo en las bases de datos Pubmed, Scopus y Wos. Se han buscado los campos de búsqueda de título, resumen y palabras clave en cada una de las bases de datos. Las fórmulas de búsqueda utilizadas se han ido adaptando a cada base de datos y los términos de búsqueda usados han sido: running OR runners OR walk) AND (athlete OR sport OR “physical activity”) AND (variable OR variability) AND (Surface OR footwear OR shoe OR boot OR insole) AND (injury OR pattern OR technique OR training)) NOT farm*

2.1.CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para incluirlos en la revisión me basé primero en la lectura del título y los seleccioné en función de si reflejaban el análisis de la variabilidad motora, si aparecían las palabras análisis cinemático, cambio de superficies en la carrera a pie o análisis de lesiones y su relación con la variabilidad de superficies o calzado.

Después, en función del resumen hacía la siguiente selección, los criterios a seguir para seleccionarlos eran que en aquellos dónde se realizaba una intervención hubiese una variabilidad en el tipo de superficie por donde se corría o en el calzado utilizado durante este.

En si el estudio recogía un análisis cinemático de articulaciones del tren inferior al variar la superficie de entrenamiento y si se valoraba la rigidez de estas o se analizaba la variabilidad de la coordinación del tren inferior durante la carrera a pie.

Además, si fuese una intervención, una revisión o mediante cuestionarios se mencionaba riesgo de lesiones relacionado con tipos de superficie o de calzado.

También he seleccionado varios artículos tras la lectura de los estudios anteriores. Algunas de las referencias que utilizaban estaban muy ligadas al objetivo de la investigación y con los mismos criterios que los anteriores realicé el protocolo de selección.

2.2.CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Las razones para la exclusión de los artículos fueron si la comparación entre las superficies de la carrera a pie únicamente se realizaba entre superficie de asfalto y treadmill, ya que en estos estudios se analizaban marcas de cintas de correr exclusivas y podía generar un conflicto de intereses en los resultados. Que el análisis cinemático únicamente se realizase en una superficie, concretamente en treadmill o por el contrario no hubiese un análisis de diferentes superficies.

2.3.SELECCIÓN DE ESTUDIOS

Todos los artículos seleccionados tras la búsqueda los exporté a un programa de software de gestión de referencias llamado Mendeley y se eliminaron las referencias duplicadas.

Lo siguiente que realicé fue recopilar la información relevante de los estudios incluidos: objetivos del estudio, variables dependientes e independientes y diseño del estudio, además del tipo de muestra y el método y los instrumentos de evaluación utilizados para el análisis de los patrones técnicos o la variabilidad de superficies y motora, a parte de los resultados.

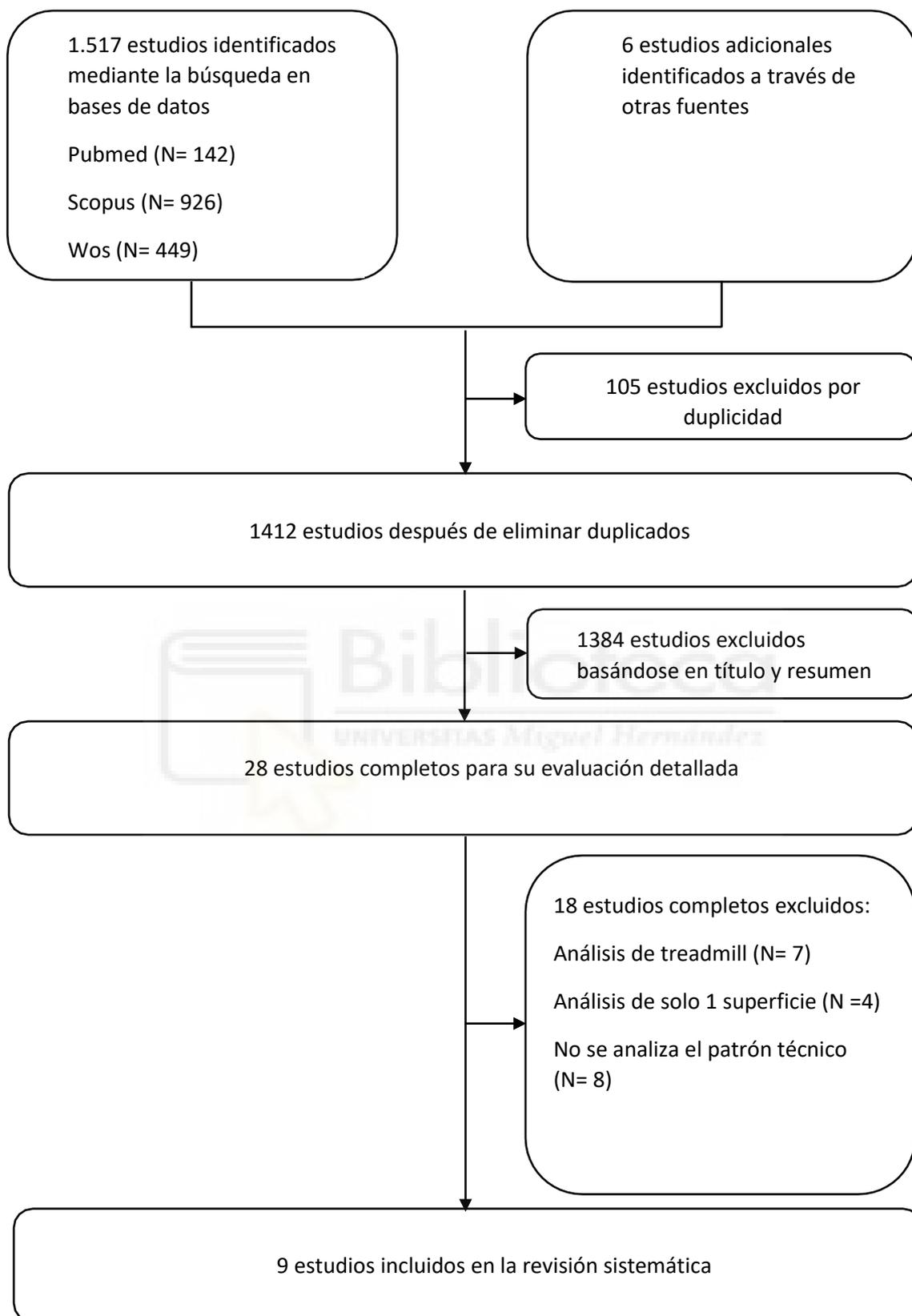


Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de estudios incluidos en la revisión.

3. REVISION BIBLIOGRÁFICA

Tabla 1. Características de estudios incluidos y resultados.

Autor y año	Objetivo	Variables y diseño	Procedimiento (muestra y método)	Instrumentos de evaluación	Resultados
Davids et al. 2003	<p>Estudio: Comprobar la capacidad de discriminar la inversión del tobillo con el uso de plantillas texturizadas en comparación con las botas normales y descalzas.</p> <p>Comentario: aportar argumentos teóricos sobre el papel funcional de la variabilidad inducida en el sistema sensoriomotor actuando las plantillas como ruido esencial para mejorar la precisión de la posición del pie.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Descalzar -Uso de plantillas texturizadas <p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Discriminación grado de extensión e inversión del tobillo. 	<p>17 jugadoras de fútbol profesionales</p> <p>5 x inversiones de tobillo</p>	<p>Plataforma de discriminación del grado de movimiento del tobillo (placa oscilante que gira a lo largo del pie).</p>	<p>El aumento de ruido o variabilidad en el entrenamiento y rehabilitación puede mejorar la capacidad para captar señales del ruido. Esencial en la práctica deportiva, entrenamiento o recuperación de lesiones.</p>
Dolenec et al. 2014	<p>Comprobar si correr en diferentes superficies (asfalto, grava y hierba) se modifica el patrón de activación muscular y la cinemática de la pierna</p>	<p>1 grupo</p> <p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tipo de superficie (asfalto, grava y hierba) 	<p>8 corredores recreación</p> <p>(6 hombres y 2 mujeres)</p>	<p>EMG electrodos</p> <p>Sensores ligeros de aceleración biaxial.</p>	<p>Incremento preactivación PB para proteger el tobillo frente a una inversión excesiva.</p>

	para adaptar el stiffness del tobillo.	Variable dependiente: -Activación músculos PB, TA, SO y GM	3 mediciones/superficie 3-5 min. 30 m. de medición	ANOVA ($p < 0.05$)	(dependencia reflejos (SNC) - condiciones de superficie cambiantes). Según la fatiga del corredor le beneficiará más un tipo de superficie según su rigidez.
PB = peroneus brevis, TA = tibialis anterior, SO = soleus, GM = gastrocnemius medialis; EMG = electromyography					
Hamill et al. 2012	Presentar evidencia de que la coordinación de los segmentos y la variabilidad coordinativa puede ser útil para determinar lesiones.	2 grupos - Con dolor en la rodilla - Sin dolor en la rodilla Variables independientes: - Fase relativa discreta - Codificación vectorial - Fase relativa continua		Variabilidad coordinacion: - Fase relativa discreta - Codificación vectorial Fase relativa continua	Una baja variabilidad de la coordinación absoluta hace que las fuerzas se distribuyan en pequeñas áreas de superficie, lo que provocará lesiones por sobreuso. Una mayor variabilidad es sinónimo de un deportista sin lesiones. Al reducir los patrones de movimiento disponibles, el sistema resulta menos flexible y puede no responder adecuadamente a una perturbación externa (ventana de variabilidad).
Harding et al. 2004	Comprobar las adaptaciones cinemáticas en cadera, rodilla y tobillo en el plano sagital ante el	2 grupos: -Suela blanda -Suela dura	12 corredores amateur (población universitaria)	Marcadores retrorreflectantes	Superficies duras aumentan la extensión de cadera y rodilla en el contacto con el suelo

	aumento de dureza de la superficie de la cinta de correr durante la carrera.	Variable independiente: -Dureza de la superficie de la cinta Variable dependiente: -Ángulos y velocidad angular de cadera, rodilla y tobillo	1 medición 6 min. 120 ppm	Digitalización de video, edición y filtrado. ANOVA (p<0.05)	Aumento de la velocidad angular máxima en la cadera, rodilla y tobillo al aumentar la dureza de la superficie. Reduccion del stiffness en la musculatura de la pierna para igualarlo con el de la superficie.
Hébert-Losier et al. 2014	Ver las diferencias cinemáticas a la hora de correr por diferentes superficies (carretera, camino y bosque) a diferentes velocidades y comparar grupos según el nivel de experiencia.	2 grupos - Orientadores profesionales - Orientadores amateur Variables independientes: -Tipo de superficie (carretera, camino y bosque) -Velocidad de carrera (3'8 m*s, vmáx. y 85% vmáx.)	14 orientadores divididos en 2 grupos de 7. 3 días 10' calentamiento 3x 20 m. de medición 1 medición/superficie	Células fotoeléctricas Análisis movimiento tridimensional Marcadores retrorreflectantes Regresión lineal (p<0.05)	-Vmáx superior en el grupo élite en todas las superficies. -El tiempo de contacto con el suelo es igual entre grupos excepto en el bosque, mayor en los amateur. -Al 85% Vmáx. y a 3'8 m*s la longitud de zancada era más corta en el sendero y aún más en el bosque comparado con la carretera. -Mayor extensión de cadera y dorsiflexión en la pisada en el bosque en ambos grupos. Y una mayor dorsiflexión en todas las superficies

		<p>Variables dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cinemática -Ángulos cadera, rodilla y tobillo. 			en los élite comparado con los amateur.
Vmáx = velocidad máxima					
Kong et al. 2008	Comparar las variables cinéticas y cinemáticas para ver las diferencias de la degradación de la amortiguación entre correr con calzado nuevo y antiguo.	<p>Pretest-entrenamiento – Posttest</p> <p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tipo de zapatilla (con más o menos amortiguación) <p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tiempo de pisada -Fuerzas externas -Cinemática en plano sagital del tronco, cadera, rodilla y tobillo durante la fase de apoyo. 	<p>24 corredores (14 hombres y 10 mujeres)</p> <p>Entrenamiento entre 3-22 semanas.</p> <p>200 millas carrera con la misma zapatilla</p>	<p>Marcadores reflectantes</p> <p>Cámara de vídeo</p> <p>ANOVA</p>	<p>El tiempo de pisada aumenta con las zapatillas desgastadas.</p> <p>Menor inclinación máxima del tronco hacia delante en el momento de despegue y menor dorsiflexión máxima y una mayor flexión plantar en el momento de despegue con el calzado usado.</p>
CV =coordination variability					

Malisoux et al. 2015	Comprobar si hay mayor índice lesional entre personas que usan solo 1 tipo de zapatilla y los que usan más de 1 par.	<p>2 grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solo 1 par de zapatillas - Más de 1 par de zapatillas <p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Número de zapatillas usadas <p>Variables dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Presencia de lesión en el tren inferior. Duración, intensidad percibida, distancia, par de zapatillas usado, superficie de carrera (dura o blanda) 	<p>264 corredores amateur</p> <p>22 semanas</p> <p>Mínimo</p> <p>1 entreno/semana</p>	<p>t-student</p> <p>chi cuadrado</p> <p>($p < 0.05$)</p>	<p>El uso de más de 1 zapatilla reduce el índice lesional.</p> <p>El cambio de zapatilla modifica los patrones de carrera.</p>
Warne et al. 2020	Describir las lesiones en los corredores y comprobar si en ellas influyen el entrenamiento, la técnica de carrera y la elección de calzado.	<p>Variables dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Número de lesiones en el último año -Número de superficies por las que 	<p>325 corredores</p> <p>Edad 28-48</p> <p>+10 años de experiencia</p>	<p>Regresión lineal</p> <p>Encuesta sobre incidencia de lesiones, tipo de lesión, elección de calzado y ortosis y</p>	<p>Se encontró que correr en más de 1 superficie incrementaba el riesgo de lesión.</p> <p>Concluyen que queda por estudiar en su totalidad si la variabilidad de la superficie y el cambio de técnica están relacionados con una</p>

		<p>corren al menos 1 vez cada 2 semanas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nivel deportivo - Edad - Años de experiencia - Distancia media/semana - Carreras y otros deportes en lo que se ha participado el último año. 		<p>que entrenamiento y que técnica se utiliza.</p>	<p>reducción del riesgo de lesión para lograr un consenso.</p>
<p>Weir et al. 2019</p>	<p>Comprobar si se producen cambios cinemáticos y cinéticos durante una carrera continua al cambiar el tipo de calzado (estabilidad/color) y en la variabilidad de la coordinación</p>	<p>2 sesiones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de calzado de las mismas características. - Cambio de calzado más estable (adición peso medial) <p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de calzado <p>Variables independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cinemática tren inferior 	<p>14 corredores recreacionales</p> <p>20-28 años</p> <p>2 x 44'</p> <ul style="list-style-type: none"> - 21' calzado neutral <p>21' calzado estabilidad/misma composición-diferente color.</p>	<p>Marcadores de trayectorias</p> <p>Fuerzas de reacción del suelo</p> <p>Análisis visual (software 3D)</p> <p>ANOVA (0.05)</p>	<p>CV de la extremidad inferior aumento o se mantuvo al cambiar el calzado a otro de igual composición. (1ª sesión)</p> <p>Aumento CV mayor con el calzado neutro que con el de estabilidad. (2ª sesión)</p> <p>Gran tamaño del efecto en la respuesta de todos los participantes</p>

		- Frecuencia cardíaca - RPE			
CV =coordination variability					



4. DISCUSIÓN

En la literatura científica, recientemente se ha estudiado como la variabilidad motora puede ser utilizada como herramienta de exploración durante la práctica deportiva y como en general puede influir e incrementar tanto el aprendizaje, como el rendimiento motor manipulando las cargas de variabilidad. En particular, en la carrera a pie los estudios no son abundantes, pero las formas más estudiadas para manipular la variabilidad del entrenamiento son mediante el cambio de superficies o de tipo de calzado empleado durante la actividad.

Sin embargo, no se ha llegado a un consenso sobre si la práctica variable produce estas mejoras y se han encontrado resultados contradictorios debido a los muchos factores que pueden influir a la hora de aplicar estas cargas (experiencia de los sujetos, edad como factor de riesgo, además del volumen km/semana, la carga de variabilidad y momento de análisis de esta).

La variabilidad funcional en la práctica deportiva es un factor relevante, puesto que impulsa la aparición de conductas exploratorias en el sujeto e implican una mayor capacidad de adaptación, lo que puede desencadenar en un ritmo de aprendizaje más rápido (Caballero, Moreno, Reina, Roldán, Coves & Barbado, 2017).

La exploración de nuevos patrones del deportista durante la práctica variable y su aplicación en los distintos entornos, amplían el número de posibles soluciones motrices, para una tarea específica como es la carrera a pie. La práctica variable, entendiendo esta como la variabilidad de la superficie y el calzado, podría ser útil para el aprendizaje de la habilidad y el aumento del rendimiento. La variabilidad puede inducir a los deportistas a ajustar su patrón motor debido a los cambios producidos en el ambiente (relación sujeto-entorno).

La variabilidad puede mejorar la percepción de la información y tiene un papel funcional en el sistema sensoriomotor, medio por el cual puede llevar a un aumento del rendimiento motor. El uso de plantillas texturizadas, como "ruido esencial", que ayuda a recoger información por el SNC, mostró como la inversión del tobillo, traducida como la sensibilidad de la articulación, con el uso de estas plantillas en jugadoras de fútbol unos resultados muy similares a realizar una tarea de control postural descalzas y mejores en comparación con una suela lisa. El aumento de variabilidad puede mejorar la capacidad para captar señales y proporcionar un comportamiento exploratorio para regular los patrones que se usan, pudiendo ser interesante para la mejora del rendimiento motor e incluso en la rehabilitación de ciertas capacidades (Davids et al 2003)

Esta mejora del rendimiento puede estar asociada a un aumento de la sincronización de la actividad neural en determinadas áreas del córtex cerebral, aunque solo ha sido estudiada en tareas de control postural, por lo que queda abierta la necesidad de estudiar estos procesos en acciones deportivas.

Toda práctica deportiva presenta variabilidad, y se deben tener en cuenta las características del individuo y las limitaciones de la tarea, ya que pueden modular el papel de la variabilidad motora durante el aprendizaje. Ya sea, una habilidad más abierta o cerrada, influenciará de manera diferente a cada sujeto porque la variabilidad de la práctica se traducirá en una variabilidad motora intrínseca diferente en los sujetos (Caballero, Moreno, Reina, Roldán, Coves & Barbado, 2017).

La variabilidad motora de los deportistas puede ser diferente en función de las características personales, como puede ocurrir con el nivel de experiencia. En etapas iniciales de aprendizaje se podrá ver una alta variabilidad de ejecución (Caballero et al. 2017). Esto refleja la búsqueda exploratoria por encontrar un patrón óptimo para resolver la tarea con éxito, de esta forma se utiliza un mayor número de grados de libertad, lo que aumenta el bagaje motor.

Se han visto diferencias en variables cinéticas y cinemáticas entre grupos de corredores de orientación de diferente nivel de experiencia (élite y amateur) al correr por diferentes superficies y velocidades. Los deportistas de élite realizan cambios en el patrón de carrera, concretamente, se ve afectada la cinemática del tobillo en función de la superficie, además de la longitud de zancada y el tiempo del ciclo, cambios que no sucedían en el grupo amateur.

Asimismo, se observaron diferencias en la cinemática de la cadera, la rodilla y el tobillo entre los élite y los amateur conforme más dificultades presentaba el entorno, es decir, cuando era necesario un mayor número de grados de libertad para superar la tarea con éxito (Hébert-Losier, Mourot, Holmberg, 2014).

En niveles intermedios la variabilidad se ve reducida al congelar grados de libertad para facilitar su control y mejorar el rendimiento, pero cuando los niveles de experiencia son altos se incrementa también la variabilidad, los expertos son capaces de explotar todas las configuraciones de su cuerpo con objeto de adaptarse mejor a las necesidades del entorno en diferencia con los de un nivel menor.

Los diferentes tipos de superficies pueden presentar características desiguales de dureza, planitud, amortiguación que requieren una respuesta específica del sistema neuromuscular para regular el stiffness. Se ha visto como al realizar cambios en la dureza del calzado y de la superficie durante la carrera se producen cambios en la cinemática de las articulaciones, acompañado de una modificación del stiffness en la musculatura de la pierna para igualarlo al de la carga externa (Harding, Van den Bogert & Hamill, 2004).

Ante una situación cambiante los corredores ajustan el stiffness de su pierna para igualarlo al de la superficie e intentar mantener un estrés mecánico constante, modificando la cinemática de la pierna.

Se han visto cambios de EMG en la preactivación del tibial anterior cuando se comparaban al correr entre diferentes superficies (asfalto, grava y hierba) con el fin de realizar un cambio de stiffness en la pierna al cambiar de superficie para ajustarlo a las características de la nueva tarea (Dolenec, Stirn, & Strojnik, 2014).

Además, se ha visto un incremento de la preactivación del peroneo lateral corto, como mecanismo de anticipación antes del contacto pie-suelo, para prevenir una inversión excesiva del tobillo. Estos cambios de activación al correr por diferentes superficies representan la conclusión de que el entrenamiento en variabilidad puede utilizarse como método preventivo de lesiones, debido a que esta práctica favorece el aumento de la activación del SNC en la musculatura de la pierna al encontrarse condiciones cambiantes y una mejora de los movimientos reflejos, que dependen del feedback exterior (Dolenec et al. 2014)

La variación del calzado y la participación en otros deportes requiere mayor investigación para llegar a un consenso (Warne, Gruber, Cheung & Bonacci, 2012), en su estudio mediante cuestionarios encontraron que correr en más de una superficie incrementaba el riesgo de lesión, pero otros elementos del entrenamiento en variabilidad como el cambio de calzado con diferentes características o la variabilidad del patrón de movimiento no representaban una relación con la aparición de lesiones.

Sin embargo, Malisoux, et al. (2015) concluyeron que la variabilidad en el calzado y realizar la práctica con más de 1 par es un factor protector antes la aparición de lesiones.

Una mayor variabilidad coordinativa es sinónimo de un deportista sin lesiones y en una práctica dónde se reducen los patrones de movimiento, el sistema resulta menos flexible y puede no responder adecuadamente a una perturbación externa, por eso es necesario encontrar una ventana de variabilidad. La baja variabilidad por parte de los deportistas hará que las cargas se distribuyan en pequeñas áreas de superficie, acción que puede implicar un

aumento de lesiones por sobreuso, al reducirse los patrones de movimiento, el sistema será menos flexible y no se adaptará de la mejor manera a las perturbaciones externas. (Hamill et al. 2012).

También se ha demostrado que la variabilidad de las cargas externas reducen el riesgo lesional por repetición (Harding et al. 2004), los cambios en la dureza de la suela induce a modificaciones de la actividad muscular, acompañados de un cambio en el patrón técnico, la variación regular del tipo de calzado causará una variación de las cargas externas repetitivas.

Para aumentar la variabilidad coordinativa en la carrera a pie se puede, al mismo tiempo, tanto variar el tipo de superficie, como el calzado y sus características.

Al cambiar el tipo de zapatilla, Malisoux et al. (2015) concluyó que se produce una variación en las cargas externas, lo que provoca que los corredores adapten su técnica para mantenerlas constantes. Resultados parecidos obtuvo Harding et al. (2004), concluye que la dureza de la suela induce a cambios en la actividad muscular, lo que modificará el patrón de carrera. Un cambio regular de zapatilla causará una variación de las cargas externas repetitivas, lo que reducirá el riesgo lesional por sobreuso.

También se ha demostrado que el tiempo de la pisada aumenta cuando la amortiguación de las zapatillas es menor (Kong, Candelaria & Smith, 2008). Además, en el análisis cinemático se ve como la flexión dorsal desciende en el momento de contacto y la flexión plantar aumenta el de despegue con las zapatillas más desgastadas (menor amortiguación).

La conclusión coincide con la de Harding et al. (2004) y Dolenc et al. (2014), los corredores adaptan su patrón de carrera para mantener las cargas externas constantes cuando las características ya sea del suelo o del calzado se modifican.

Weir et al. (2019) comprobó que la variabilidad coordinativa se mantiene, incluso aumenta al realizar un cambio de zapatillas a otras de igual composición durante una carrera continua. Sin embargo, este cambio en la variabilidad de la extremidad inferior se veía reducido cuando se cambiaba a unas zapatillas más estables, en las que se le añadía un peso medial. Este descenso de la variabilidad coordinativa está justificado por una reducción de los grados de libertad al proporcionar una mayor estabilidad.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Tras la revisión bibliográfica podemos concluir que la variabilidad de superficies en la carrera a pie puede influir en aspectos cinemáticos como el patrón de movimiento y en cinéticos como la frecuencia de zancada. Sin embargo, hay conclusiones contradictorias entre los estudios en cuanto al beneficio de la variabilidad se refiere.

Debido a la falta de estudios donde se analicen la técnica de carrera al exponer a sujetos a correr en diferentes superficies y como cambia esta, sería justificable una intervención en la que se analicen los posibles cambios entre ellas y si hay diferencias entre expertos y amateurs.

La intervención ha tratado del análisis de la aceleración local durante la carrera a pie en superficies de distintas características mediante unos dispositivos de captura del movimiento inercial. Se ha realizado con 2 sujetos, un hombre (amateur) y una mujer (experta) para también analizar las posibles diferencias entre estas 2 poblaciones.

Se ha realizado una serie de 5 repeticiones de 60 metros aproximados corriendo a una velocidad preferida, previamente calculada en una carrera de 200 metros y que ha sido continua en todos los pavimentos registrándola con un cronómetro.

Las superficies por la que se ha corrido son:

- Grava
- Cemento
- Tartán
- Césped artificial

Para registrar la aceleración hemos usado 2 dispositivos diferentes (Isen y Wimupro). Los dispositivos se colocaron en el empeine de cada pie sujetos a la zapatilla mediante las cordonerías. Otro de los acelerómetros, de modo externo, tiene la función de trigger para diferenciar el inicio y el final de la prueba. Además se ha grabado con una cámara la técnica durante las pruebas por si ocurriera algún fallo.

Hemos analizado la magnitud de la aceleración local en cada una de ellas y el tiempo transcurrido entre apoyos con el objetivo de comprobar si hay diferencias en la frecuencia de la zancada al cambiar de superficie.

En los resultados podemos observar claras diferencias entre sujetos (anexo 1). La frecuencia de zancada es más homogénea tanto intra como intersuperficie en el sujeto 2 (mayor experiencia) y presenta una desviación estándar menor en todas las variables.

El sujeto 1 (menor experiencia) presenta una variabilidad más amplia entre los tiempos de apoyo, lo que podría reflejar que se encuentra en un estado de búsqueda exploratoria para encontrar el patrón más efectivo. Además, se han visto diferencias en la aceleración de ambas piernas en el sujeto amateur, con esto se podrían analizar descompensaciones en la técnica de carrera.

También hemos visto cambios en la frecuencia de zancada (sujeto 1) entre correr en el tartán y el césped artificial (anexo 2), lo que concluye que correr por diferentes superficies nos proporciona cambios en los patrones técnicos y puede favorecer la variabilidad motora.

Finalmente, los resultados nos indican que la medición con estos dispositivos es fiable y el uso de los acelerómetros nos proporcionará mejores resultados, ya que los wimupro (césped artificial y tartán) no están sincronizados y los resultados son referentes a una misma pierna. Por lo tanto, es necesaria y posible una intervención completa con los mismos dispositivos y ver de manera más completa las diferencias de las variables entre superficies de distintas características y con un mayor número de sujetos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Barbado, D., Caballero, C., Moreside, J. M., Vera-García, F. J., & Moreno, F. J. (2017). Can be the structure of motor variability predict learning rate? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(3), 596-607.

Barbado, D., Sabido, R., Vera-García, F. J., Gusi, N., & Moreno, F. J. (2012). Effect of increasing difficulty in standing balance tasks with visual feedback on postural sway and EMG: complexity and performance. *Human of Movement Science*, 31(5), 1224-1237. doi:10.1016/j.humov.2012.01.002.

Caballero, C., Moreno, F.J., Reina, R., Roldán, A., Coves, A. & Barbado, D. (2017). The role of motor variability in motor control and learning depends on the nature of the task and the individual's capabilities. *European Journal of Human Movement*, 38, 12-26.

Dauids, K., Shuttleworth, R., Button, C., Renshaw, I., & Glacier, P. (2004). "Essencial noise" – enhancing variability of informational constraints benefits movement control: a comment on Waddington and Adams. *Br. J. Sports Med*, 38; 601-605 doi: 10.1136/bjism.2003.007427.

Dolenec, A., Stirn, I. & Strojnik, V. (2014). Activation Pattern of Lower Eg Muscles in Running on Asphalt, Gravel and Grass. *Coll. Antropol.* 39 Suppl, 1: 167–172.

Hamill, J., Palmer, C., & Van Emmerik, R.E.A. (2012). Coordinative variability and overuse injury. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 4:45. doi:10.1186/1758-2555-4-45.

Harding, E.C., Van Den Bogert, A.J. & Hamill, J. (2004). Kinematic Adaptations during Running: Effects of Footwear, Surface, and Duration. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 0195-9131/04/3605-0838. doi: 10.1249/01.MSS.0000126605.65966.40.

Hebert-Losier, K., Mourot, L. & Holmberg, H.C. (2014). Elite and Amateur Orienteers' Running Biomechanics on Three Surfaces at Three Speeds. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 0195-9131/15/4702-0381/0. doi: 10.1249/MSS.0000000000000413.

Kong, P. W., Candelaria, N.G. & Smith, D.R. (2008). Running in new and worn shoes: a comparison of three types of cushioning footwear. *Br J Sports Med*, 43:745–749. doi:10.1136/bjsm./2008.047761.

Malisoux, L., Ramesh, J., Mann, R., Seil, R., Urhausen, A. & Theisen, D. (2015). Can parallel use of different running shoes decrease running-related injury risk? *Scand J Med Sci Sports*, 25: 110–115. doi: 10.1111/sms.12154.

Newell, K.M. & Vaillancourt, D.E. (2001). Dimensional change in motor learning. *Human Movement Science* 695-715.

Oña, A., Martínez, M., Moreno, F.J. y Ruiz, L.M. (1999). Control y Aprendizaje Motor. Madrid: Síntesis.

Warne, J.P., Gruber, A.H., Cheung, R. & Bonacci, J. (2020). Training and technique choices predict self-reported running injuries: An international study. *Physical Therapy in Sport* 48 83-90. doi:10.1016/j.ptsp.2020.12.017.

Weir, G., Wyatt, H., Van Emmerik, R., Trudeau, M.B., Willwacher, S., Brüggemann, G.P. & Hamill, J. (2019). Influence of neutral and stability athletic footwear on lower extremity coordination variability during a prolonged treadmill run in male rearfoot runners. *European Journal of Sport Science*. doi:10.1080/17461391.2019.1670867

7. ANEXOS

- Anexo 1. Resultados Isen

Sujeto 1		Frecuencia de zancada (Mean)	Frecuencia de zancada (D. estándar)	Aceleración derecha media (m/s ²)	Aceleración derecha (D. estándar)	Aceleración izquierda (m/s ²)	Aceleración izquierda (D. estándar)
	Tierra	181,586	40,205	-147,19	10,9	-72,194	15,2
	Cemento	188,872	63,547	-139,388	15,5	-72,925	21,115

Sujeto 2		Frecuencia de zancada (Mean)	Frecuencia de zancada (D. estándar)	Aceleración derecha media (m/s ²)	Aceleración derecha (D. estándar)	Aceleración izquierda (m/s ²)	Aceleración izquierda (D. estándar)
	Tierra	198,517	13,254	-147,83	23,7	-146,155	10,37
	Cemento	197,328	10,3	-148,36	9,92	-136,288	15,92

- Anexo 2. Resultado Wimupro.

		Frecuencia de zancada (Mean)	Frecuencia de zancada (D. estándar)	Aceleración derecha media (g)	Aceleración derecha (D. estándar)	Aceleración izquierda (g)	Aceleración izquierda (D. estándar)
Sujeto 1	Tartán	88,89	8,457	-6,296	2,043	-6,314	1,943
	Césped artificial	85,307	5,922	-6,57	1,713	-3,598	0,615

