

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARATÓN DE VALENCIA.

GANDON Clément, SANCHEZ Vincent

Trabajo Final de Grado



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

**VALENCIA
Curso 2021-2022**

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARATÓN DE VALENCIA.

GANDON Clément, SANCHEZ Vincent

**TUTOR DEL TRABAJO:
GÁMEZ PAYA Javier**

FACULTAD DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

**VALENCIA
Curso 2021-2022**

RESUMEN

Introducción: La maratón de Valencia es una carrera con la distinción platino de la World Athletics (WA) y de mejor maratón de España según la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) garantizando un nivel internacional de los atletas analizados. Para realizar esta carrera con el mejor rendimiento posible, se necesita una optimización del Running Economy (RE) de los atletas. El RE es un factor dependiente de las variables categóricas: el apoyo, la inclinación de la tibia e la inclinación del tronco, de las variables temporales: fase concéntrica, fase excéntrica, fase de vuelo y cadencia y de la variable espacial: longitud de paso. **Objetivo:** el objetivo de este estudio es de entender como las variables biomecánicas afectan al rendimiento del atleta. **Materiales y Métodos:** se realizó un estudio de la biomecánico en 2D del plano sagital de la carrera de 48 atletas mediante una grabación y análisis de un video bidimensional. Se divide la muestra en dos grupos iguales ($n=24$), con el fin de valorar las semejanzas y desemejanzas del patrón de carrera en función del nivel deportivo. **Resultados y Discusión:** las variables más relevantes y predominantes en cuanto al patrón de carrera de los atletas analizados son un apoyo medio pie (MFS) (61.5%), una tibia verticalizada (92.7%), un tronco flexionado (89.6%), una cadencia 183,4 pasos por minutos (ppm), y una longitud de paso de 178,2 centímetros (cm). Se observa entre ambos grupos, diferencias significativas sobre el tiempo de contacto ($p < 0,002$), el tiempo de impulso ($p < 0,000$), la cadencia ($p < 0,019$) y sobre la longitud de paso ($p < 0,000$). **Conclusión:** Los corredores de élite analizado en la maratón de valencia tienen un patrón de carrera con un apoyo MFS, una tibia vertical, una inclinación del tronco en flexión y una cadencia superior a los 180 ppm.

Keys words: Running Economy, biomechanics, foot strike patterns, running, marathon.

ABSTRACT

Introduction: The Marathon of Valencia is a race that disposes of both the World Athletics (WA) platinum distinction and the Royal Spanish Athletics Federation (RFEA) best marathon in Spain distinction. This guarantees that the set of athletes analyzed is international. In order to maximize athletes' performance, their Running Economy (RE) needs to be optimized. The RE is a factor dependent on categorical: footstrike pattern, tibia inclination, thrunk inclination, temporal: braking or eccentric phase, impulsion or concentric phase, flying time and cadence, and spatial variables: step lenght. **Purpose:** the aim of this study is to understand how these biomechanical variables affect the performance of the athletes. **Materials and Methods:** a 2D study on the sagital plane of the running biomechanics of 48 athletes was carried out by recording and analyzing a two-dimensional video. The sample was divided into two equal groups ($n=24$) to assess the similarities and differences in the running pattern. **Results and Discussion:** the variables that are the most relevant and predominant in determining the athlete's performance are the mid-foot support (MFS) (61.5%), an upright tibia (92.7%), a flexed trunk (89.6%), a cadence of 183.4 steps per minute (ppm), and a step length of 178.2 centimeters (cm). Significant differences were observed between the two groups for contact time ($p < 0.002$), impulse time ($p < 0.000$), cadence ($p < 0.019$) and stride length ($p < 0.000$). **Conclusion:** The elite runners analysed in the Valencia Marathon have a running pattern with MFS support, vertical tibia, trunk flexion and a cadence above 180 bpm.

INTRODUCCIÓN:

La carrera a pie es uno de los deportes individuales más antiguos, famosos y practicados en el mundo debido en parte a sus efectos beneficiosos sobre la salud del deportista (Pipkin A., 2016). Con sus 42,195m la distancia maratón es la distancia más larga del programa de los Juegos Olímpicos y las carreras del World Athletics (WA) como los World Championship. Se diferencia de las competiciones olímpicas de carrera a pie por ser al menos cuatro veces más larga y ser la única que se celebra sobre asfalto y no en pista. Con un número de 12.674 corredores llegando a meta en esta edición, el maratón de Valencia nos muestra el incremento de este deporte en la sociedad actual.

Este deporte ha evolucionado mucho, en efecto el primer maratón conocido fue el del maratón de Atenas, donde el primero maratón olímpico fue ganado por Spyridon Louis en 1896 con un tiempo de 2h 58min 50s. Hoy en día, el récord mundial masculino está detenida por el atleta Keniano Eliud Kipchoge con un tiempo de 2:01:37 (IAAF) y el récord mundial femenino está detenida por la atleta Brigid Kosgei con un tiempo de 2:14:04 (IAAF). Estos récords son posibles gracias a la gestión de numerosas variables. Dentro de ellos encontramos los avances tecnológicos de las nuevas zapatillas, la gestión de la fatiga y de la nutrición, y una optimización de la técnica de carrera (Dubois B., 2019). Con todos estos tipos de avances tecnológicos y nuevos conocimientos, se ha permitido una mejoría del tiempo sobre la misma distancia de 1 hora en 122 años.

El rendimiento de las carreras de largas distancias como la maratón dependen de una producción de energía aeróbica de manera constante y mantenida en el tiempo, de la conversión de esta energía en un movimiento de carrera, se caracteriza por el término Running Economy (RE) o economía de carrera. Entonces, el término RE está definido como el coste de energía para correr una distancia determinada (en este caso la maratón) a una velocidad submáxima (Folland J. P., 2017).

Como lo afirma Folland y colaboradores en sus estudios, varios aspectos de la biomecánica de carrera afectan al RE (Folland J. P., 2017). Dentro de ellos encontramos una variable espacial representada por la longitud de paso, tres

variables biomecánicas constituidas por el tipo de apoyo, la inclinación de la tibia al momento del apoyo, y la inclinación del tronco al momento del apoyo. Además, se caracteriza por cinco variables temporales en las cuales encontramos el tiempo de flexión, el tiempo de impulso, el tiempo de vuelo, el tiempo de doble paso y la cadencia.

Durante muchos años, había un consenso en la literatura afirmando que el mejor tipo de apoyo era retropié (RFS) (Hanley B., 2019 ; Hasegawa H., 2007).

Sin embargo, muchos estudios demuestran que la técnica de apoyo en retropié no es la más eficaz para el RE, debido a un aumento pérdida energética y una falta de aprovechamiento de la energía elástica tendinomuscular. La utilización del apoyo mediopié (MFS) o antepié (FFS) permitiría realizar hasta la mitad del trabajo mecánico total durante una carrera, especialmente a alta velocidad (Hayes, P., 2012)

En efecto, como lo afirma Dubois (2019) en su libro, se observa un incremento de la utilización del MFS o del FFS, al contrario de lo que afirma Hanley (2019) y Hasegawa (2007) y colaboradores en sus estudios donde se encuentran una mayoría de corredores con un apoyo tipo RFS. Un apoyo MFS o FFS podría desencadenar mayores beneficios en el RE (Kubo et al., 2015). A mayores velocidades de carrera, las recomendaciones de los entrenadores es evitar la RFS (Anderson, L. M., 2020; Leskinen. A., 2009). Se ha propuesto que la técnica FFS y el MFS proporcionan una ventaja mecánica en comparación al apoyo RFS. De hecho, FFS y MFS parecen implicar un incremento de la tensión musculotendinosa, una propulsión del centro de gravedad hacia delante y menos tiempo de contacto con el asfalto permitiendo atenuar la pérdida energética que el RFS. De hecho, la disminución del trabajo angular de la articulación de la rodilla y el tobillo durante la fase de frenado, podría mejorar el ritmo, el RE y el estrés sobre la articulación de la rodilla (Perl et al., 2012; Souza R. B., 2016; Dubois B., 2019).

Numerosos estudios recientes indican que la cadencia tiene impactos sobre la biomecánica de la carrera. Por ejemplo, se ha demostrado que un aumento de 10% de la cadencia puede reducir la oscilación vertical del centro de masa, variables de tiempo como el de fase excéntrica. Según la literatura actual,

una cadencia óptima se sitúa cerca de 180 pasos por minutos. (Souza R.B., 2016)

Una optimización de todas estas variables permitirá al atleta disminuir su RE y entonces incrementar su rendimiento deportivo.

La identificación de los parámetros afectando al RE reside en la compleja naturaleza de la carrera de pie. La identificación de las similitudes y diferencias de la biomecánica de carrera es un concepto fundamental para nosotros. Además, como lo describen en el estudio de Hanley, la recogida de estos datos sobre atletas de elites y de nivel internacional compitiendo bajo las mismas condiciones puede rara vez ser posible. De hecho, hacer un análisis en contexto real sobre la maratón de Valencia tratándose de una carrera con un alto reconocimiento al nivel mundial en la que los atletas rinden al máximo, nos permite la recogida de los datos de rendimientos de los mejores atletas (Hanley B., 2019).

Como se mencionó anteriormente en los artículos estudiados, existen dos tendencias de tipo de apoyos, en el estudio de Hanley (2019), los atletas analizados tienen una tendencia a correr con un RFS, mientras que en el estudio de Kubo (2015) se preconiza la utilización del MFS o del FFS con fines de optimizar el RE.

La hipótesis de este estudio, es que, para optimizar el rendimiento, la mayoría de los corredores de élite van a correr con una forma de apoyo tipo medio pie, una tibia verticalizada y con el tronco en flexión. Además, se supone que la mayoría van a correr con una cadencia igual o superior a los 180 pasos por minutos, tener un tiempo de flexión más corto que el tiempo de impulso.

En cuanto a este estudio, el objetivo principal es realizar un análisis biomecánico de los corredores de élite de la edición 2021 del maratón de Valencia.

Los objetivos específicos son:

- Analizar las variables espaciales: la longitud de la zancada.
- Analizar las variables biomecánicas: el apoyo, la inclinación de la tibia y la inclinación del tronco.,
- Analizar las variables temporales: el tiempo de la fase de frenado, el tiempo de la fase expulsiva, el tiempo de vuelo y la cadencia.

MATERIAL Y MÉTODOS:

Participantes:

Los datos fueron recogidos sobre el maratón de Valencia el día 05/12/2021. La hora de salida fue a las 8h15 con un tiempo soleado, una temperatura a la hora de salida de 11°C, un viento de 20 km/h y una humedad de 50%. Durante el estudio, se elige analizar los 50 primeros corredores sobre los 12 674 que han acabado el maratón. Se analizó estos corredores porque 48 de los 50 son atletas profesionales de nivel internacional. De hecho, los 24 primeros atletas de esta edición han acabado la maratón en menos de 2:10:00 de los cuales 7 con un tiempo inferior a 2:06:00. Dentro de estos atletas, se analizó la técnica de carrera de Hamid Ben Daoud quien realizó el récord de España con un tiempo de 2:06:35. Debido a las condiciones reales de la carrera, no se pudo analizar 2 corredores debido a una falta de visualización clara del patrón de carrera, entonces la muestra del estudio se compone de 48 atletas.

Protocolo:

Se realizó un estudio bidimensional en el plano sagital del maratón de Valencia, quien se trata de una carrera con la etiqueta Platino de la World Athletics (WA) y elegida como mejor Maratón de España por la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) garantizando un alto nivel de los atletas. El interés mayor de hacer un análisis sobre una carrera oficial con tanto reconocimiento mundial, es de poder realizar un estudio sobre atletas de clase mundial compitiendo en el mismo lugar y bajo las mismas condiciones.

Se elige el kilómetro 33, en una línea recta de 500 metros donde la calle era larga y amplia. También, se elige el km 33 para que se crea naturalmente una cierta distancia entre los corredores para tener una imagen de mejor calidad y evitar tener un gran bloque de corredores, lo que complicaría el análisis. Se representa mediante una flecha azul sobre el Figura 1 el lugar en el que se desarrolló el estudio.

Una vez hecha la verificación del sitio en condiciones parecidas a las de la carrera del día siguiente, se puso los marcadores sobre el suelo. Se puso sobre el suelo una línea de 6 metros divididos por 4 marcadores (espaciados de 2 metros cada uno). Se elige de poner esparadrapo blanco para que se vea bien con

respecto al suelo que es negro. Se añade 2 líneas paralelas a la primera todas espaciadas de 2 metros para tener al final un cuadrado de análisis de 6 m² al total. Se realizó una representación esquemática de la zona de grabación en el Figura 2.

Se pone dos cámaras de la marca Gopro y modelo hero 8 black y hero 9 black sobre trípodes, a una altura de 75 cm desde el

suelo, las 2 cámaras son cámaras de alta resolución con las cuales se grabó en 240 imágenes por segundos a 1080 HP. Se dispone las cámaras una en frente de la otra, a la mitad del espacio delimitado, en un plano sagital al sentido de la carrera para tener la mejor visibilidad posible para realizar el análisis (Esquema 1).

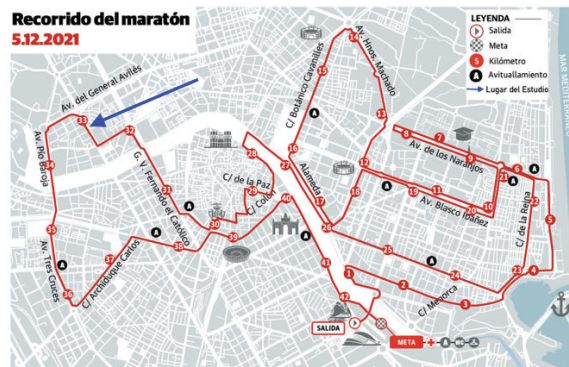


Figura 1: Recorrido del Maratón y lugar del estudio

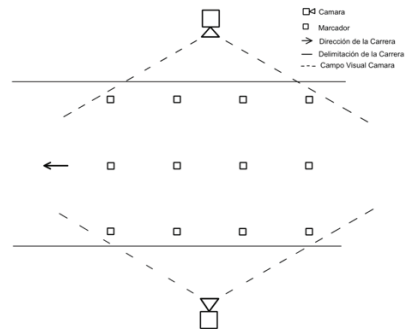


Figura 2: Representación esquemática de la zona de grabación video del estudio

Procesamiento de datos:

Todos los vídeos se analizaron con la versión 0.9.5 de Kinovea (Fernández-González P., 2020). Se analiza 3 tipos de variables, las variables **temporales**, las variables **espaciales**, y las variables **biomecánicas**. El análisis de este estudio fue realizado por dos observadores independientes, V.S. y C.G.

Se divide la muestra de 48 corredores en dos partes, creando dos grupos de 24 atletas. El grupo A esta constituido por los 24 primeros corredores (n=24) y el grupo B por los 24 siguientes corredores (n=24). Mediante el logicial IBM SPSS (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. IBM Corp, Armonk, NY, USA). Dado que se pueden aplicar las asunciones paramétricas, se compara las variables espaciales y temporales del grupo A con las del grupo B mediante una ANOVA para ver si hay diferencias significativas o no entre grupo en función de su nivel deportivo ($p < 0.05$).

VARIABLES TEMPORALES:

Con la misma metodología que (Pipkin A., 2016), medimos cada fase del contacto del pie hasta su despegue, dividiéndola en dos fases, la primera, que sería la fase de frenado o excéntrica y la fase concéntrica o de impulso.

Fase excéntrica:

Esta fase empieza desde el contacto de la zapatilla con el suelo hasta que su rodilla contraria está al mismo nivel sobre un plano sagital que su rodilla de su pierna apoyada. La fase excéntrica es una fase clave de la zancada porque durante este momento el aparato locomotor recibe mucha tensión sobre el sistema musculoesquelético. (Pipkin A., 2016).

Fase concéntrica:

Empieza desde que las rodillas están al mismo nivel en el plano sagital y se finaliza al momento del despegue del pie con respecto al suelo (Pipkin A., 2016). Esta fase permite la propulsión del cuerpo hacia delante, para incidir en otro paso.

Fase de vuelo:

Esta fase corresponde al intervalo de tiempo entre el despegue del pie A y el apoyo del pie B. Se trata de un momento en el que el atleta no tiene ningún contacto con el suelo. (Ortega D. R., 2019)

Cadencia:

La cadencia representa el número de pasos por minutos, para calcularla hemos realizado la fórmula siguiente: (número de pasos x 60 segundos) / tiempo de doble paso. El tiempo de doble paso corresponde al intervalo de tiempo total entre 2 pasos.

Variables categóricas:

Apoyo:

Analizamos el apoyo del atleta de la misma manera que lo hace Souza, R. B. (2016) en su estudio. Nos indica que hay que analizar el apoyo al momento de la primera fase de carga, que corresponde a la figura 4 donde se puede observar una deformación de la suela de la zapatilla tomando en cuenta el drop de la zapatilla.

Para identificar el tipo de apoyo de cada atleta, utilizamos la misma metodología que Hanley et al. (2019). En el apoyo retropié (RFS) el primer contacto sobre el suelo se hace con el talón. En el apoyo medio pie (MFS) el primer contacto con el suelo se realiza al mismo tiempo por todo el pie de manera paralela al suelo. En el apoyo ante pie (FFS) el primer contacto con el suelo se hace por la parte anterior del pie sin que el talón tenga contacto sobre el suelo. Se pueden observar los diferentes tipos de apoyo FFS, MFS, RFS en las figuras 3, 4 y 5 respectivamente.

Inclinación de la tibia:

Para valorar la inclinación de la tibia se usa la posición de la rótula en respecto a un marcador azul perpendicular al suelo que pasa por el maléolo tibial o peroneal. Cuando la rótula se sitúa por delante de este marcador encontramos una tibia en flexión. Cuando la rótula se sitúa por detrás de este mismo

encontramos una tibia en extensión (Figura 5). Si esta la rótula está incluida al marcador, se trata de tibia vertical (Figura 3 y 4). (Souza et al., 2016)

Inclinación del tronco:

De la misma manera que hemos analizado la inclinación de la tibia, se realiza una línea vertical roja perpendicular al suelo pasando por la cadera del atleta y se compara la posición de los hombros en respecto a esta línea.

Existen tres clasificaciones posibles, en el caso de un tronco en flexión los hombros del atleta se sitúan por delante de esta línea (Figura 3 y 4). En el caso de un tronco vertical, los hombros del atleta son incluidos en la línea (Figura 5). En el caso de un tronco en extensión, los hombros del atleta se sitúan por detrás de esta línea. (Pipkin 2016). Se supone que una posición del tronco en flexión, permite una ventaja mecánica con respecto a las dos otras inclinaciones.

Longitud de paso:

Para medir una distancia sobre Kinovea, el logiciel necesita una calibración que se realiza gracias a la colocación de los marcadores que pusimos sobre el suelo. Para calcular la zancada del paso izquierdo, se mide la distancia entre la punta del pie izquierdo antes del despegue y la punta del pie derecho al final de la fase excéntrica de la pierna derecha.

Para calcular la zancada del paso derecho, se mide la distancia entre la punta del pie derecho antes del despegue y la punta del pie izquierdo al final de la fase excéntrica de la pierna derecha.

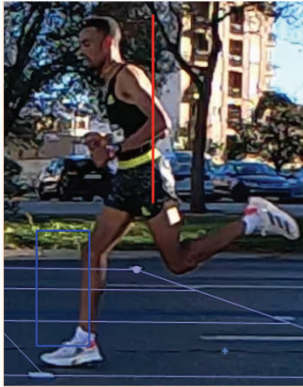


Figura 3: apoyo FFS, tibia vertical, tronco flexionado.

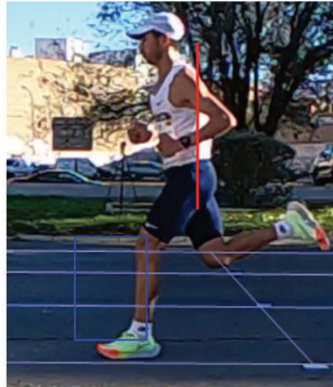


Figura 4: apoyo MFS, tibia vertical, tronco flexionado.

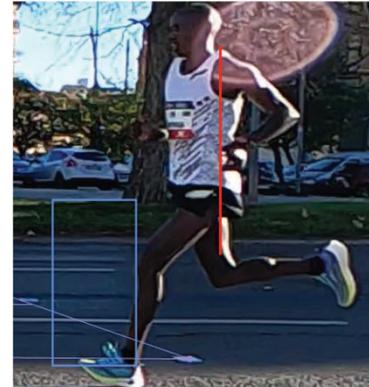


Figura 5: apoyo RFS, tibia en extensión, tronco vertical.

RESULTADOS:

La edición 2021 del maratón de Valencia ha sido un maratón muy rápido, como ya lo hemos dicho, el ganador hizo un tiempo de 2:05:12, los cincuenta primeros corredores realizaron un tiempo medio de 2:10:30, y los 25 primeros realizaron un tiempo medio de 2:07:18 (Valencia ciudad del Running, 2021).

Variables categóricas:

Se trata de un análisis bidimensional quien reveló que, al nivel de las variables biomecánicas, sobre los 50 atletas el patrón de apoyo más utilizado es el MFS con 61,5%, 33,3% de los corredores tienen un apoyo RFS y solamente 5,2% apoyan de tipo FFS. (Figura 6) (Tabla 1)

Para la inclinación de la tibia, se puede observar que 92,7% de los atletas tienen la tibia vertical y 7,3% tienen la tibia en extensión. (Figura 7) (Tabla 2)

Para finalizar con las variables biomecánicas, al nivel de la inclinación del tronco, se observa que 89,6% tienen el tronco flexionado y 10,4% lo tienen vertical. (Figura 8) (Tabla 3)

Variables Temporales

Al nivel de las variables temporales, se observa que la media del tiempo de contacto es de 180 milisegundos (ms), el tiempo medio de la fase de flexión es de 79 ms, el tiempo medio de la fase de impulso es de 100 ms, el tiempo medio de la fase de vuelo es de 146 ms. La cadencia media es de 183,43 pasos por minutos (ppm).

Variables Espaciales

Al nivel de las variables espaciales, la longitud de paso media es de 178,2 centímetros. (Tabla 4)

Se hizo un ANOVA en la cual se introdujeron las variables espaciales y temporales ($p < 0.05$).

Se puede observar diferencias significativas entre el grupo A y el grupo B. En efecto, el grupo A tiene un tiempo de contacto medio de mayor que el grupo B con 176 ms y 83 ms respectivamente ($p < 0,002$). El grupo A tiene un tiempo de impulso medio inferior al del grupo B con 97 ms y 104 ms respectivamente ($p < 0,000$). La cadencia media del grupo A es mayor a la del grupo B con una media de 185,95 ppm 180,91 ppm respectivamente ($p < 0,019$). Por fin, el grupo A tiene una longitud de paso media de 183,1828 cm y el grupo B tiene una longitud de paso media de 173,2241 cm ($p < 0,001$). (Tabla 5)

FSA:

■ RFS ■ MFS ■ FFS

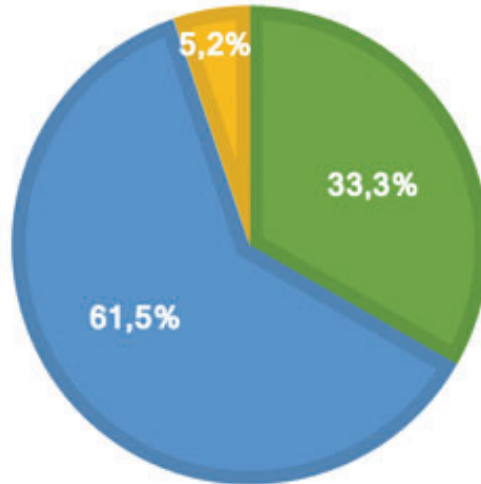


Figura 6: Variables categóricas. Repartición del tipo de apoyo.

		FSA			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	RFS	32	33,3	33,3	33,3
	MFS	59	61,5	61,5	94,8
	FFS	5	5,2	5,2	100,0
Total		96	100,0	100,0	

Tabla 1: Variables categóricas. Repartición del tipo de apoyo.

INCLINACIÓN DE LA TIBIA:

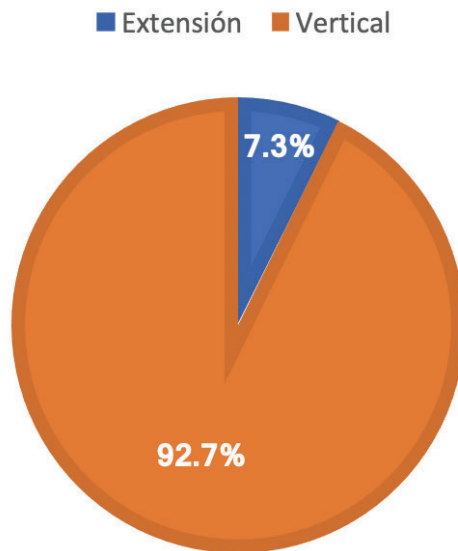


Figura 7: Variables categóricas. Repartición de la inclinación de la tibia.

TIBIA				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Extensión	7	7,3	7,3	7,3
Válido Vertical	89	92,7	92,7	100,0
Total	96	100,0	100,0	

Tabla 2: Variables categóricas. Repartición de la inclinación de la tibia.

INCLINACIÓN DEL TRONCO:

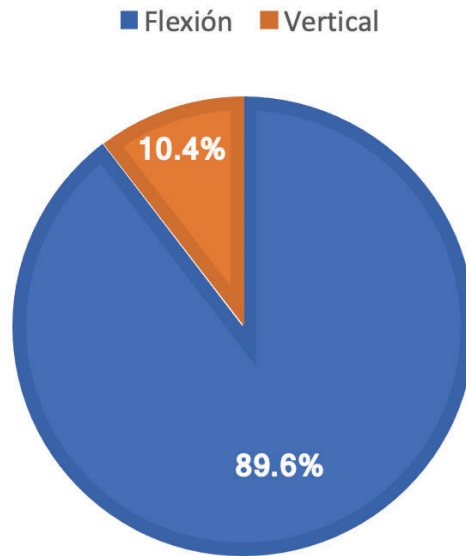


Figura 8: Variables categóricas. Repartición de la inclinación del tronco.

TRONCO				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido Vertical	10	10,4	10,4	10,4
Válido Flexión	86	89,6	89,6	100,0
Total	96	100,0	100,0	

Tabla 3: Variable categórica. La inclinación del tronco.

DESCRIPTIVOS

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
CONTACTO	B	48	183,375	12,5238	1,8077	179,738	187,012	160,0	209,0
	A	48	176,104	9,8207	1,4175	173,253	178,956	157,0	207,0
	Total	96	179,740	11,7758	1,2019	177,354	182,126	157,0	209,0
FLEXIÓN	B	48	79,260	9,3422	1,3484	76,548	81,973	58,0	91,0
	A	48	79,333	6,3592	,9179	77,487	81,180	66,0	93,0
	Total	96	79,297	7,9490	,8113	77,686	80,908	58,0	93,0
IMPULSO	B	48	104,115	8,3877	1,2107	101,679	106,550	91,0	127,0
	A	48	96,771	7,5385	1,0881	94,582	98,960	81,0	116,0
	Total	96	100,443	8,7491	0,8930	98,670	102,215	81,0	127,0
VUELO	B	48	147,292	14,0178	2,0233	143,221	151,362	116,0	179,0
	A	48	145,677	10,9731	1,5838	142,491	148,863	120,0	171,0
	Total	96	146,484	12,5477	1,2806	143,942	149,027	116,0	179,0
DUTY FACTOR	B	48	0,3847	0,03336	0,00481	0,3750	0,3944	0,31	0,46
	A	48	0,3774	0,02595	0,00375	0,3698	0,3849	0,33	0,45
	Total	96	0,3810	0,02996	0,00306	0,3750	0,3871	0,31	0,46
CADENCIA	B	24	180,9075	7,85833	1,60408	177,5892	184,2258	164,39	197,37
	A	24	185,9495	6,46353	1,31936	183,2202	188,6788	170,94	196,56
	Total	48	183,4285	7,56006	1,09120	181,2333	185,6237	164,39	197,37
LONGITUD DE PASO	B	48	173,2241	8,38468	1,21022	170,7894	175,6587	152,71	186,39
	A	48	183,1828	8,57432	1,23760	180,6931	185,6725	164,19	197,64
	Total	96	178,2034	9,80862	1,00109	176,2160	180,1908	152,71	197,64

Tabla 4: Resultados comparativos entre el grupo A y B.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
P<0.05 = Hay diferencias						
CONTACTO	Entre grupos	1268,760	1	1268,760	10,018	0,002
	Dentro de grupos	11904,729	94	126,646		
	Total	13173,490	95			
FLEXIÓN	Entre grupos	0,128	1	0,128	0,002	0,964
	Dentro de grupos	6002,661	94	63,858		
	Total	6002,789	95			
IMPULSO	Entre grupos	1294,336	1	1294,336	20,354	0,000
	Dentro de grupos	5977,599	94	63,591		
	Total	7271,935	95			
VUELO	Entre grupos	62,565	1	62,565	0,395	0,531
	Dentro de grupos	14894,661	94	158,454		
	Total	14957,227	95			
DUTY FACTOR	Entre grupos	0,001	1	0,001	1,457	0,230
	Dentro de grupos	0,084	94	0,001		
	Total	0,085	95			
CADENCIA	Entre grupos	305,056	1	305,056	5,893	0,019
	Dentro de grupos	2381,204	46	51,765		
	Total	2686,261	47			
LONGITUD DE PASO	Entre grupos	2380,241	1	2380,241	33,100	0,000
	Dentro de grupos	6759,624	94	71,911		
	Total	9139,865	95			

Tabla 5: ANOVA. Diferencias significativas entre grupa A y B.

DISCUSIÓN:

La RE es un factor importante para el rendimiento en las carreras de largas distancias. Permite entender qué variables categóricas, espaciales y temporales están relacionadas con el rendimiento y cómo afectan al RE.

Asimismo, los resultados encontrados en este estudio apoyan nuestras hipótesis, afirmando que la mayoría de los corredores de élite corren con un tipo de apoyo medio pie, una tibia verticalizada y el tronco en flexión.

De hecho, se observa que, en cuanto al tipo de apoyo, el apoyo predominante es el MFS seguido por el RFS y el FFS con una frecuencia de 61.5%, 33.3%, 5.2% respectivamente. En comparación al estudio realizado por Hanley (2019) sobre el campeonato mundial de maratón de 2017, en nuestro estudio los resultados muestran que solamente una minoría de los corredores utilizan un apoyo tipo RFS mientras que fue un patrón de apoyo preconizado por varios entrenadores durante muchos años (Hasegawa H., 2007). Sin embargo, hoy en día con los tiempos en las carreras de larga distancia cada vez más rápido, se observa una tendencia en la utilización de una técnica de alta velocidad (apoyo MFS, tibia vertical, tronco flexionado) que pueden ser más beneficiosos para el RE (Hasegawa H., 2007; Larson et al., 2013). Por otro lado, hay pocos atletas que usan FFS, lo que se podría explicar por la propia distancia del maratón. De hecho, la técnica FFS implica una mayor sollicitación muscular disminuyendo la optimización del RE en carreras largas. (Ahn et al., 2014) (Tabla 1). Un tipo de apoyo RFS implica un riesgo mas elevado de lesiones por sobreuso del aparato locomotor en comparación a un tipo de apoyo MFS o FFS. (Daoud., et al 2012)

Sin embargo, en el estudio de (Hasegawa et al. 2007) se observa una tendencia al RFS (74.9%), esta diferencia significativa con nuestro estudio, se podría justificar por el tipo de atletas elegidos, dado que los analizados en este estudio son exclusivamente atletas de nivel mundial. La utilización por los atletas de zapatillas con un drop alto puede alterar la percepción del tipo de apoyo, parámetro no tenido en cuenta en este estudio. Un drop más alto implica un contacto previo con la parte posterior de la zapatilla alterando la biomecánica natural del corredor.

Además, esta divergencia significativa podría ser justificada por la diferencia de velocidad de los atletas.

Dentro de este análisis, se ha observado una mayoría de atletas con la tibia vertical (92.7%) en comparación a una tibia extendida (7.3%) (Tabla 2). Esta posición de la tibia y una rodilla flexionada permite al atleta de disminuir las cargas sobre el sistema músculo esquelético y por supuesto disminuir el riesgo de lesiones por impacto y mejorar su RE (Pipkin et al., 2016; Souza et al., 2016; Folland et al., 2017).

La última variable categórica que se analiza es la inclinación del tronco. La inclinación del tronco es una variable que ha recibido poca atención en la literatura científica pero que podría afectar al rendimiento (Souza et al. 2016). Se observa que la mayoría de los atletas tienen el tronco en posición flexionada (89,6%) porque proporciona una ventaja mecánica propulsiva ayudando a la optimización del RE y contribuye a la prevención de lesiones de rodilla (Tabla 3) (Teng, H. L., y 2014)

Mediante el uso de la herramienta SPSS, se realizó una comparación entre el grupo A y B. Se observa una diferencia significativa entre ambos grupos con las variables espaciales y temporales siguientes, el tiempo de contacto ($p=0.002$), el tiempo de impulso ($p=0.000$), la cadencia ($p=0.019$) y la longitud de paso ($p=0.000$) (Tabla 5).

En cuanto al grupo A, se observa una media de fase de impulso de 96.771 ms y de tiempo de contacto de 176.104 ms mientras que con el grupo B el tiempo medio de la fase de impulso es de 104.115 ms y el tiempo total de contacto es de 183.375 ms. Como el tiempo de contacto total está representado por la suma del tiempo de la fase de flexión y de impulso, un alargamiento de 7.271 ms del tiempo total de contacto se puede justificar por un alargamiento de 7.344 ms de la fase de impulso (Tabla 4). Se ha demostrado que el aumento del tiempo de contacto es inversamente proporcional al coste metabólico durante la carrera. Por consiguiente, un tiempo de contacto reducido permite una optimización del rendimiento (Di Michele et al., 2014).

Hay un otro punto de divergencia entre ambos grupos en las variables espaciales. En cuanto a la longitud de paso, el grupo A tiene una media de longitud de paso de 183.1828 cm y el grupo B de 173.2241 cm.

Dado que la cadencia es una variable que se calcula utilizando las variables de tiempo de doble apoyo y de la longitud de paso. Entonces, un acortamiento de la fase de impulso y un alargamiento de la longitud de paso implican un aumento de la cadencia. Por consiguiente, el grupo A presenta una cadencia media de 185.9495 ppm y el grupo B de 180.9075 ppm. Además, una cadencia superior a 180 ppm permite reducir las fuerzas de impactos sobre las articulaciones, limitando el riesgo de lesiones (Wang et al., 2020; Dubois et al., 2019).

Gracias a la comparación de ambos grupos, se puede decir que para mejorar el rendimiento es importante tener en cuenta las siguientes variables. Un apoyo MFS, una tibia vertical, un tronco flexionado, un tiempo de impulso cerca de 97 ms, un tiempo de contacto total cerca 176 ms, una longitud de paso cerca de 183 cm y una cadencia de aproximadamente 186 ppm.

Para finalizar, las siguientes variables se ponen a disposición de los fisioterapeutas y entrenadores con el objetivo de optimizar las actuaciones de sus atletas. Según el estudio, se observa que los 25 primeros atletas presentan un apoyo MFS, una tibia vertical, un tronco flexionado, un tiempo de impulso cerca de 97 ms, un tiempo de contacto total cerca 176 ms, una longitud de paso cerca de 183 cm y una cadencia de aproximadamente 186 ppm. Entonces, estas variables serían las más indicadas para optimizar el rendimiento de sus atletas de fondo.

LIMITACIÓN:

Como se trata de un análisis en contexto real, varios parámetros no pueden ser tenidos en cuenta. Debido a una grabación bidimensional no se pueden valorar los aspectos biomecánicos que no pertenezca al plano sagital como la pronación/supinación del pie, el valgo/varo de rodilla y la inclinación lateral del tronco.

El hecho de elegir una carrera en contexto real para realizar nuestro análisis, no se ha podido poner marcadores sobre los atletas impidiendo el cálculo exacto de varios ángulos del patrón de su carrera y la oscilación vertical del atleta. Aunque si quisiera el caso,

podríamos ser más preciso en cuanto a los cálculos que se realizaron en este estudio.

Además, como es una carrera famosa, hay muchos factores externos que impiden una buena visibilidad de los atletas y pudiendo alterar el análisis de estos mismos.

Para futuros estudios, una posibilidad para determinar el efecto de la fatiga sobre el patrón de carrera del atleta sería realizar este tipo de análisis en varios puntos del recorrido del maratón.

Por fin, no tenemos las variables anatómicas de cada atleta que podrían afectar a las variables del estudio.

CONCLUSIÓN:

Gracias a este estudio, se ha podido mostrar que sobre atletas de elite compitiendo en larga distancia, un apoyo MFS (61.5%), una tibia vertical (92.7%) y un tronco en posición de flexión (89.6%) son las variables categóricas que se encuentran con mayor frecuencia. Asimismo, la cadencia media de los corredores es superior a los 180 ppm (183.4 ppm) y el tiempo de flexión (179.3 ms) es más corto que el tiempo de impulso (100.4 ms). Se observa una diferencia significativa entre ambos grupos sobre las variables espaciotemporales, como el tiempo de impulso, la cadencia y la longitud de paso. Por lo tanto, la optimización de estas variables podría ser beneficiosa sobre el rendimiento de los atletas.

Gracias a la comparación de ambos grupos, se puede decir que los atletas que presentan el mejor rendimiento durante la maratón de Valencia 2021 presentan las siguientes variables. Un apoyo MFS, una tibia vertical, un tronco flexionado, un tiempo de impulso cerca de 97 ms, un tiempo de contacto total cerca 176 ms, una longitud de paso cerca de 183 cm y una cadencia de aproximadamente 186 ppm.

BIBLIOGRAFÍA:

Ahn, A. N., Brayton, C., Bhatia, T., & Martin, P. (2014). Muscle activity and kinematics of forefoot and rearfoot strike runners. *Journal of Sport and Health Science*, 3(2), 102-112.

Anderson, L. M., Bonanno, D. R., Hart, H. F., & Barton, C. J. (2020). What are the benefits and risks associated with changing foot strike pattern during running? A systematic review and meta-analysis of injury, running economy, and biomechanics. *Sports Medicine*, 50(5), 885-917.

Daoud, A. I., Geissler, G. J., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. A., & Lieberman, D. E. (2012). Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc*, 44(7), 1325-1334.

Di Michele, R., & Merni, F. (2014). The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. *Journal of science and medicine in sport*, 17(4), 414-418.

Dubois, B., & Berg, F. (2019). La clinique du Coureur: La santé par la course à pied. MONS.

E, V. (2022, 6 abril). Las mejores carreras de España están en. Valencia Ciudad del Running.

<https://www.valenciaciudaddelrunning.com/las-mejores-carreras-de-espana-estan-en-valencia-ciudad-del-running/#:~:text=Las%20ediciones%20de%202021%20del,normalidad%20despu%C3%A9s%20de%20dos%20a%C3%B1os>

Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., & Molina-Rueda, F. (2020). Reliability of Kinovea® software and agreement with a three-dimensional motion system for gait analysis in healthy subjects. *Sensors*, 20(11), 3154.

Folland, J. P., Allen, S. J., Black, M. I., Handsaker, J. C., & Forrester, S. E. (2017). Running technique is an important component of running economy and performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(7), 1412.

Hanley, B., Bissas, A., Merlino, S., & Gruber, A. H. (2019). Most marathon runners at the 2017 IAAF World Championships were rearfoot

strikers, and most did not change footstrike pattern. *Journal of biomechanics*, 92, 54-60.

Hasegawa, H., Yamauchi, T., & Kraemer, W. J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *Journal of strength and conditioning research*, 21(3), 888.

Hayes, P., & Caplan, N. (2012). Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. *Journal of sports sciences*, 30(12), 1275-1283.

Jelagat and Cherono victorious in Valencia | REPORT | World Athletics. (2022). Worldathletics.Org. <https://www.worldathletics.org/news/report/valencia-marathon-2021-jelagat-cherono>

Kubo, K., Miyazaki, D., Tanaka, S., Shimoju, S., & Tsunoda, N. (2015). Relationship between Achilles tendon properties and foot strike patterns in long-distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 33(7), 665-669.

Larson, P., Higgins, E., Kaminski, J., Decker, T., Preble, J., Lyons, D., ... & Normile, A. (2011). Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race. *Journal of sports sciences*, 29(15), 1665-1673.

Leskinen, A., Häkkinen, K., Virravirta, M., Isolehto, J., & Kyröläinen, H. (2009). Comparison of running kinematics between elite and national-standard 1500-m runners. *Sports Biomechanics*, 8(1), 1-9.

Ortega, D. R. (2019). Análisis temporal de las distintas fases del ciclo de carrera en corredores recreacionales. *Trances: Transmisión del conocimiento educativo y de la salud*, 11(6), 891-902.

Perl, D. P., Daoud, A. I., & Lieberman, D. E. (2012). Effects of footwear and strike type on running economy. *Med Sci Sports Exerc*, 44(7), 1335-43.

Pipkin, A., Kotecki, K., Hetzel, S., & Heiderscheit, B. (2016). Reliability of a qualitative video analysis for running. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 46(7), 556-561.

Souza, R. B. (2016). An evidence-based videotaped running biomechanics analysis. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 27(1), 217-236.

Teng, H. L., & Powers, C. M. (2014). Sagittal plane trunk posture influences patellofemoral joint stress during running. *journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 44(10), 785-792

Wang, J., Luo, Z., Dai, B., & Fu, W. (2020). Effects of 12-week cadence retraining on impact peak, load rates and lower extremity biomechanics in running. *PeerJ*, 8, e9813.