

INFLUENCIA DE LA CINEMÁTICA DE LOS ESQUIADORES EN SU RENDIMIENTO

Diego Edo Martínez, Víctor Murillo Lorente*, Javier Álvarez Medina, Eva María Gómez Trullén

Fisiatría y Enfermería, Universidad de Zaragoza, Spain

Resumen

El interés del estudio es el análisis del esquí y la mejora de su rendimiento. El objetivo principal es determinar la causa cinemática que condiciona el rendimiento de los esquiadores en la prueba de slalom. Método: Participaron 14 esquiadores del club Cota 2000, separados en dos grupos, 7 de nivel avanzado y 7 de nivel experto. Los esquiadores realizaron tres descensos en el que se analizaron dos curvas, una hacia cada lado, en las zonas de alta, media y baja pendiente. Se analizaron los ángulos de inclinación, angulación de cadera, angulación de rodilla y angulación de pierna, así como su rendimiento teniendo en cuenta el tiempo empleado y la velocidad resultante. Para el registro se utilizaron cámaras de video colocadas en cada giro. El estudio muestra que los grupos son homogéneos en cuanto a sus características físicas, siendo el IMC la única variable en mostrar diferencias. Resultados; cuanto mayor es el grado de pendiente de la pista mayores ángulos de inclinación y angulación se obtienen. Los esquiadores de nivel experto alcanzaron mayores grados de inclinación y angulación que los esquiadores de nivel avanzado en los diferentes tipos de pendientes, siendo la inclinación el factor más determinante sobre el tiempo que los esquiadores tardaron en realizar el descenso. El estudio de la cinemática del esquí realizado en este estudio confirma que el análisis videográfico es una buena forma de analizar el rendimiento de los esquiadores y realizar una buena reorientación del entrenamiento.

Palabras clave: Esquí alpino. Slalom. Cinemática. Rendimiento. Análisis de video

INFLUENCE OF THE KINEMATICS OF SKIERS IN THEIR PERFORMANCE

Abstract

The interest of the study is the analysis of skiing and the improvement of its performance. The main objective is to determine the kinematic cause that determines the performance of skiers in the slalom test. Method: 14 skiers of the Cota 2000 club participated, separated into two groups, 7 advanced level and 7 expert level. The skiers made three descents in which two curves were analyzed, one towards each side, in the areas of high, medium and low slope. The angles of inclination, hip angulation, knee angulation and leg angulation were analyzed, as well as their performance taking into account the time taken and the resulting speed. Video cameras placed on each turn were used for registration. The study shows that the groups are homogeneous in terms of their physical characteristics, the BMI being the only variable to show differences. Results; The greater the degree of slope of the track, the greater the angles of inclination and angulation are obtained. Skiers with an expert level achieved greater degrees of inclination and angulation than advanced skiers on different types of slopes, with inclination being the most determining factor over the time it took for skiers to make the descent. The study of the kinematics of the ski conducted in this study confirms that videographic analysis is a good way to analyze the performance of skiers and perform a good reorientation of training.

Keywords: Alpine skiing. Slalom. Kinematics. Performance. Video analysis.

Manuscrito recibido: 27/02/2022

Manuscrito aceptado: 11/02/2022

*Corresponding Author: Víctor Murillo Lorente, Fisiatría y Enfermería, Universidad de Zaragoza, Spain

Correo-e: vmurillo@unizar.es

INFLUÊNCIA DA CINEMÁTICA DOS ESQUIADORES EM SEU DESEMPENHO

Sumário

interesse do estudo é a análise do esquí e a melhoria de seu desempenho. O objetivo principal é determinar a causa cinemática que determina o desempenho dos esquiadores no teste de slalom. Método: participaram 14 esquiadores do clube Cota 2000, separados em dois grupos, sendo 7 avançados e 7 especializados. Os esquiadores fizeram três descidas nas quais foram analisadas duas curvas, uma em cada lado, nas áreas de alta, média e baixa inclinação. Foram analisados os ângulos de inclinação, angulação do quadril, angulação do joelho e da perna, bem como seu desempenho, levando em consideração o tempo gasto e a velocidade resultante. Câmeras de vídeo colocadas em cada turno foram usadas para registro. O estudo mostra que os grupos são homogêneos em termos de características físicas, sendo o IMC a única variável a mostrar diferenças. Resultados; Quanto maior o grau de inclinação da pista, maiores são os ângulos de inclinação e angulação. Os esquiadores com nível de especialista alcançaram maiores graus de inclinação e angulação do que os esquiadores avançados em diferentes tipos de encostas, sendo a inclinação o fator mais determinante no tempo que levou para os esquiadores fazerem a descida. O estudo da cinemática do esquí realizado neste estudo confirma que a análise videográfica é uma boa maneira de analisar o desempenho dos esquiadores e realizar uma boa reorientação do treinamento.

Palavras-chave: Esquí alpino. Slalom. Cinemática. Performance. Análise de vídeo.

Introduction

El esquí alpino se ha convertido en un deporte accesible y muy practicado en nuestra sociedad (Méndez-Giménez y Fernández-Río, 2011) siendo los países del norte de Europa y de Norteamérica las mayores potencias a nivel mundial (Pfister, 2001). Es un deporte físico, técnico y tácticamente complejo siendo un evento olímpico desde los primeros Juegos de Invierno en Garmisch-Partenkirchen, Alemania, en 1936. Una capacitación más efectiva y avances en equipos y en el estado de la nieve han ido mejorado a lo largo de los años el rendimiento de los esquiadores (Supej y Holmberg, 2019).

El esquí alpino incluye las disciplinas de: slalom, gigante slalom, super gigante y descenso, cada uno con una distancia entre puertas, terreno, velocidad y distancia de trazado distintas y reguladas por la Federación Internacional de Esquí (FIS), siendo la prueba de slalom la que más practicantes tiene además de ser la más técnica y por tanto en la que mejor pueden analizarse los movimientos técnicos de los esquiadores (FIS, 2018).

Los dos principales movimientos que podemos encontrar en el esquí alpino y que más influencia tienen sobre la curva realizada son la angulación "Ángulo que adoptan las extremidades inferiores respecto del torso" y la inclinación "Movimiento pendular en el que el cuerpo adopta un ángulo menor de 90° respecto el suelo" (Guerrero, 2008).

Según Supej, Hébert-Losier y Holmberg (2015) las inclinaciones corporales y las angulaciones de rodilla y cadera son más pronunciadas para lograr un ángulo de canteo similar en las pendientes más fuertes y, a la inversa, son más pequeñas para lograr un ángulo de canteo similar en las pendientes menos fuertes. Se debe de tener en cuenta el tipo de pendiente en la que el esquiador va a realizar el trazado para saber si estos parámetros teóricos se cumplen y poder mejorar su rendimiento (Supej et al., 2015).

Los parámetros más utilizados para medir el rendimiento en las pruebas de esquí alpino son el tiempo en el que el esquiador realiza el trazado y la velocidad alcanzada (Hébert-Losier, Supej y Holmberg, 2014). Para ello el método de análisis más utilizado en el esquí alpino es el video (Klous, Müller y Schwameder, 2010).

Según Klous et al. (2010) la recopilación de datos cinemáticos precisos para el esquí alpino se pueden realizar en un entorno de campo siendo estos resultados lo suficientemente precisos como para servir como datos de entrada para futuros análisis.

Actualmente no existen suficientes estudios sobre la cinemática del esquí alpino y su influencia en el rendimiento en la disciplina de slalom, menos aún en esquiadores no profesionales. Esta escasez de estudios puede deberse a la dificultad de obtención de datos en los entrenamientos y competiciones debido al entorno cambiante y con duras condiciones en las que se realiza. A pesar de ello es relevante conocer la inclinación y angulación generada por los esquiadores en las diferentes pendientes y saber la influencia que tienen

las mismas en la velocidad generada y el tiempo que tardan en realizar los descensos.

La hipótesis en la que se fundamenta este estudio es que los esquiadores de mayor nivel tienen diferencias cinemáticas en la realización de un trazado de slalom, y, en particular, en los diferentes tipos de pendientes que conllevan a un mayor rendimiento deportivo. Por lo tanto, el objetivo principal es realizar la medición de los parámetros de rendimiento (tiempo y velocidad) y determinar la causa cinemática de estos en los diferentes tipos de pendiente en dos grupos de nivel de competición.

Materiales y métodos

Participantes

Los sujetos participantes pertenecen al Club Cota 2000 de la estación Aramon Valdelinares (España). La muestra es de 14 sujetos divididos en dos grupos, uno con nivel "experto" (4 mujeres y 3 hombres) y otro grupo nivel "avanzado" (4 mujeres y 3 hombres), todos comprendidos entre los 14 y 16 años. Estos niveles fueron elegidos de acuerdo al estudio de Vansteenkiste et al. (2017) cuyo único criterio de inclusión era haber competido a nivel nacional en los dos últimos años. Según este criterio:

El grupo experto había competido a nivel nacional en los últimos dos años y contaba con una media de 1085,71 ± 65,47 horas de entrenamiento.

El grupo de nivel avanzado no había competido en ninguna carrera a nivel nacional en los últimos dos años y contaba con una media de 671,43 ± 90,24 horas de entrenamiento.

Se comprobó que ambos grupos fuesen homogéneos para las variables independientes determinadas en la metodología. No existieron diferencias estadísticamente significativas para las variables de edad, sexo y lateralidad entre ambos grupos, únicamente las hubo para la variable IMC (tabla 1). Esta diferencia no afecta a la inercia de los corredores dado que los tiempos obtenidos por aquellos con mayor IMC son mayores y por lo tanto la velocidad media es menor. Una de las causas que justifican estos datos es que la prueba de slalom es muy técnica y el efecto del peso sobre la velocidad no es tan importante como la movilidad y técnica que tenga cada esquiador.

Tabla 1

Materiales e instrumento

El material que han utilizado ambos grupos cumplía las medidas y longitudes que estipula la FIS (FIS, 2018). Los hombres utilizaron esquís de slalom de 165cm. y radio de giro de 12 metros y las mujeres esquís de 157cm. y radio de giro de 11 metros. Todos los corredores realizaron las diferentes bajadas el mismo día con el mono de competición y con las protecciones y botas reglamentarias (FIS, 2018).

Se utilizaron seis cámaras de video *Gopro Hero5* con una calidad de imagen 4k que graba a 30fps para realizar la toma de imágenes en cada una de las

Tabla 1. Comparación entre niveles de IMC y parámetros de rendimiento.

	Avanzados	Expertos	
	Media ± Ds	Media ± Ds	p
IMC	24,11 ± 2,26	22,69 ± 1,40	0,02
Velocidad	26,73 ± 0,73	31,23 ± 0,90	0,00
Tiempo	34,62 ± 0,95	29,64 ± 0,89	0,00

puertas que se han analizado en el estudio. Estas cámaras se colocaron a 4 metros de distancia de la puerta justo debajo de la misma. Los palos utilizados fueron de 30mm de diámetro, homologados por la FIS para competiciones internacionales (FIS, 2018). Las distancias para su colocación se realizaron a través de un telémetro laser.

Para la toma de tiempos se utilizó una fotocélula *ALGE-Timing* con un portillón de salida y una fotocélula en meta que utiliza la estación para la realización de carreras.

La pista elegida para la realización de las grabaciones fue la pista "Chaparrilla", homologada para la realización de carreras nacionales en la disciplina de slalom (257m de longitud y pendiente de 26,7% (Figura 1) y fue dividida para el estudio en tres partes:

Alta pendiente: 80m de longitud y pendiente de 45,6%.

Media pendiente: 57m de longitud y pendiente de 29%.

Baja pendiente: 120m de longitud y pendiente de 13,4%.

Para colocación de las puertas del trazado se utilizaron las mismas medidas utilizadas en el estudio de Spörri et al. (2016). Estas medidas consisten en 10 metros verticales de distancia entre palo de giro y 3 metros de distancia horizontal, lo que permitió colocar 25 puertas.

Para la extracción de estos datos se utilizó el programa de análisis de movimiento KINOVEA en el cual se analizaron las diferentes imágenes. La imagen analizada en todos los giros fue en la cual el corredor se encontraba en línea de máxima pendiente a su paso por la puerta.

Procedimiento

Se realizó una bajada de reconocimiento por parte de entrenadores y esquiadores para verificar las condiciones de la pista y los sistemas de grabación.

Los corredores realizaron tres bajadas por el trazado. Durante cada una se realizó la grabación de los seis giros (uno hacia la derecha y otro hacia la izquierda en cada una de las partes). Se tomó el tiempo y la velocidad media.

Las condiciones meteorológicas durante la prueba fueron de una temperatura media de -4°C, velocidad del viento de 0 a 2km/h y estado de la nieve polvorienta.

Análisis de datos

Las variables independientes analizadas en este estudio fueron:

El nivel de cada deportista.

Edad.

Sexo.

Peso y talla

Índice de masa corporal (IMC)

Horas de entrenamiento.

Lateralidad

Las variables dependientes fueron las obtenidas por medio de las grabaciones:

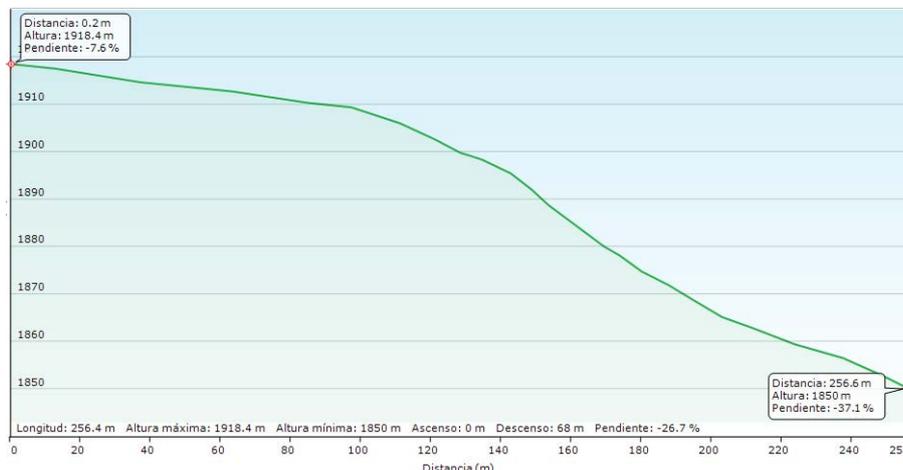


Figura 1. Longitud y pendiente media pista Chaparrilla.

La inclinación del centro de gravedad. De acuerdo con Gómez, Gutiérrez y Soto (2004) se realizó con la medición del ángulo producido entre la línea que va desde la punta del pie externo al centro de gravedad situado a nivel de la cadera externa y el eje de coordenadas Y del centro de gravedad.

La angulación de la cadera externa. De acuerdo con Supej et al. (2015) se realizó con el ángulo que se forma entre la línea creada desde la punta del pie externo al centro de gravedad (cadera externa) y la línea que marca el tronco.

La angulación de la rodilla externa. De acuerdo con Supej et al. (2015) se realizó con el ángulo formado por el segmento pierna y la prolongación del eje del fémur.

La angulación de la pierna externa. De acuerdo con Supej et al. (2015) se realizó con el ángulo formado por el segmento pierna y la línea de pendiente de la pista.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las variables a estudio, las variables cualitativas mediante frecuencias relativas en porcentajes (%) y las variables cuantitativas utilizando la media aritmética y desviación estándar.

Para estimar la posible asociación entre dos variables cualitativas se utilizó la prueba Chi-cuadrado de Pearson. Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra se realizó la prueba de Shapiro-Wilk (n<50) para determinar si las variables a estudio seguían una distribución normal. Al no cumplirse el criterio de normalidad se aplicó las pruebas alternativas no paramétricas: U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis, respectivamente. En todos los casos se consideraron significativos valores de p<0,05.

Para toda la investigación se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Stastics v21.

Resultados

Angulación e inclinación de los esquiadores según la pendiente

En primer lugar se obtuvieron las medias de las variables estudiadas y las diferencias significativas en el grupo de los esquiadores de nivel experto y

avanzado (Tabla 2).

Respecto al grupo experto, los resultados establecieron que todas las variables de angulación e inclinación poseen diferencias significativas. La inclinación fue mayor en ambas curvas en la zona de alta pendiente. En la mayoría de las curvas medidas hacia ambos lados se obtuvo mayor angulación de cadera, solo en la curva hacia la derecha en la zona de media pendiente la angulación fue mayor que en la zona de alta pendiente. La angulación de la rodilla fue mayor en la zona de media pendiente y la angulación de la pierna externa fue mayor cuanto menor era la inclinación.

Los resultados del grupo de avanzados también determinaron que todas las variables de angulación e inclinación poseen diferencias significativas, pero en el caso de estos, las inclinaciones alcanzadas fueron menores que las alcanzadas por los esquiadores expertos. En el caso de la angulación de la cadera en la curva hacia la derecha se alcanzaron mayores ángulos de la misma cuanto mayor era la pendiente y en la curva hacia la izquierda fue mayor en la zona de alta pendiente. La angulación de rodilla exterior en el caso de los esquiadores avanzados cumple el mismo patrón que en los expertos, aunque siempre es mayor para estos últimos. La angulación de la pierna exterior fue mayor en las zonas donde los avanzados producían menor inclinación, destacando los altos ángulos alcanzados en la baja pendiente.

Posteriormente se analizaron las variables de las angulaciones y de las inclinaciones comparado el grupo de avanzados y el grupo de expertos en cada zona de la pendiente, estableciendo diferencias significativas entre ellos (Tabla 3).

En la alta pendiente se observa que la gran mayoría de las variables analizadas tienen una diferencia significativa dado que p<0,05. El único caso que observamos que no existen diferencias significativas es en el caso de la angulación de la cadera externa para ambas curvas. La inclinación fue mayor hacia ambos lados en los corredores de nivel experto, que en el grupo de corredores de nivel avanzado. Los esquiadores expertos pese a realizar una angulación de cadera externa similar a los avanzados realizaron menos angulación de rodilla en ambas curvas.

En el caso de la media pendiente casi todas las variables cuentan con una

Tabla 2. Valores de angulación e inclinación en cada curva en el grupo de expertos y avanzados en alta, media y baja pendiente.

		Curva hacia la izquierda				Curva hacia la derecha			
		Alta pendiente	Media pendiente	Baja pendiente	p	Alta pendiente	Media pendiente	Baja pendiente	P
		Media ± Ds	Media ± Ds	Media ± Ds		Media ± Ds	Media ± Ds	Media ± Ds	
Expertos	Ang. cadera	35,24 ± 3,94	27,86 ± 2,39	21,90 ± 3,31	0,000	36,24 ± 2,66	38,52 ± 8,46	13,14 ± 3,65	0,000
	Ang. rodilla	10,48 ± 3,97	21,43 ± 7,03	20,10 ± 6,40	0,000	10,14 ± 2,45	32,38 ± 2,03	19,52 ± 5,89	0,000
	Ang. pierna	28,10 ± 4, 11	33,43 ± 5,15	46,24 ± 5,89	0,000	27,38 ± 4,26	35,05 ± 7,14	51,71 ± 6,37	0,000
	Inclinación	48,14 ± 2,67	41,24 ± 3,56	31,19 ± 5,05	0,000	47,14 ± 2,24	45,14 ± 5,70	25,00 ± 4,21	0,000
Avanzados	Ang. cadera	34,52 ± 4,58	19,86 ± 2,98	21,10 ± 2,04	0,000	35,10 ± 4,33	23,90 ± 6,04	12,48 ± 2,56	0,000
	Ang. rodilla	19,10 ± 4,51	24,71 ± 2,55	27,33 ± 5,19	0,000	14,57 ± 5,04	32,67 ± 4,00	25,19 ± 3,12	0,000
	Ang. pierna	31,71 ± 3,36	39,71 ± 3,00	46,33 ± 2,55	0,000	39,29 ± 5,55	35,76 ± 4,12	53,43 ± 4,24	0,000
	Inclinación	44,14 ± 3,27	37,38 ± 3,58	24,62 ± 5,11	0,000	39,10 ± 3,33	40,57 ± 2,92	19,52 ± 3,81	0,000

Ang: angulación; Ds: desviación estándar

Tabla 3. Comparación de las variables de angulación e inclinación según grupos de nivel.

		Curva hacia la izquierda			Curva hacia la derecha		
		Avanzados	Expertos	p	Avanzados	Expertos	p
		Media ± Ds	Media ± Ds		Media ± Ds	Media ± Ds	
Alta pendiente	Ang cadera	34,52 ± 4,58	35,24 ± 3,94	n.s.	35,10 ± 4,33	36,24 ± 2,66	n.s.
	Ang. rodilla	19,10 ± 4,51	10,48 ± 3,97	0,000	14,57 ± 5,04	10,14 ± 2,45	0,002
	Ang. pierna	31,71 ± 3,36	28,10 ± 4, 11	0,005	39,29 ± 5,55	27,38 ± 4,26	0,000
	Inclinación	44,14 ± 3,27	48,14 ± 2,67	0,001	39,10 ± 3,33	47,14 ± 2,24	0,000
Media pendiente	Ang cadera	19,86 ± 2,98	27,86 ± 2,39	0,000	23,90 ± 6,04	38,52 ± 8,46	0,000
	Ang. rodilla	24,71 ± 2,55	21,43 ± 7,03	n.s.	32,67 ± 4,00	32,38 ± 2,03	n.s.
	Ang. pierna	39,71 ± 3,00	33,43 ± 5,15	0,000	35,76 ± 4,12	35,05 ± 7,14	n.s.
	Inclinación	37,38 ± 3,58	41,24 ± 3,56	0,002	40,57 ± 2,92	45,14 ± 5,70	0,006
Baja pendiente	Ang cadera	21,10 ± 2,04	21,90 ± 3,31	n.s.	12,48 ± 2,56	13,14 ± 3,65	n.s.
	Ang. rodilla	27,33 ± 5,19	20,10 ± 6,40	0,001	25,19 ± 3,12	19,52 ± 5,89	0,001
	Ang. pierna	46,33 ± 2,55	46,24 ± 5,89	n.s.	53,43 ± 4,24	51,71 ± 6,37	0,036
	Inclinación	24,62 ± 5,11	31,19 ± 5,05	0,001	19,52 ± 3,81	25,00 ± 4,21	0,000

Ds: desviación estándar; n.s.: no significativo, p>0,05

diferencia significativa menos el caso de la variable de la angulación de la rodilla externa derecha en la curva hacia la izquierda y las variables de la angulación de la rodilla externa izquierda y la angulación de la pierna externa izquierda para el caso de la curva hacia la derecha.

En la baja pendiente algunas variables no presentan diferencias significativas, como en la curva hacia la izquierda la angulación de la cadera externa derecha y la angulación de la pierna externa derecha y en la curva hacia la derecha la angulación de la cadera externa izquierda.

Relación entre la cinemática de los esquiadores y su rendimiento

Se estableció la correlación entre el tiempo y la cinemática realizada por parte de ambos grupos de nivel en las diferentes partes del trazado.

El tiempo tiene una correlación significativa con la inclinación que realizaban los esquiadores en todas las partes del recorrido y en las curvas hacia ambos lados (Figura 2). En todos los casos existe una correlación con una línea de

regresión negativa en la que se observa la influencia que tiene la inclinación del centro de gravedad en la variable tiempo, así, cuanto mayor era la inclinación, menor era el tiempo que los esquiadores utilizaban.

Existe correlación entre el tiempo y la angulación de cadera en la media pendiente (Figura 3).

Existe correlación significativa positiva entre la angulación de rodilla y el tiempo, cuanto mayor era la angulación, mayor era el tiempo utilizado (Figura 4).

La correlación entre la angulación de la pierna y el tiempo (Figura 5) determina que cuanto mayor es la angulación de la pierna mayor es el tiempo utilizado por el esquiador.

Discusión

El presente trabajo analiza los parámetros de rendimiento (tiempo y velocidad) y la causa cinemática de estos en los diferentes tipos de pendiente en dos

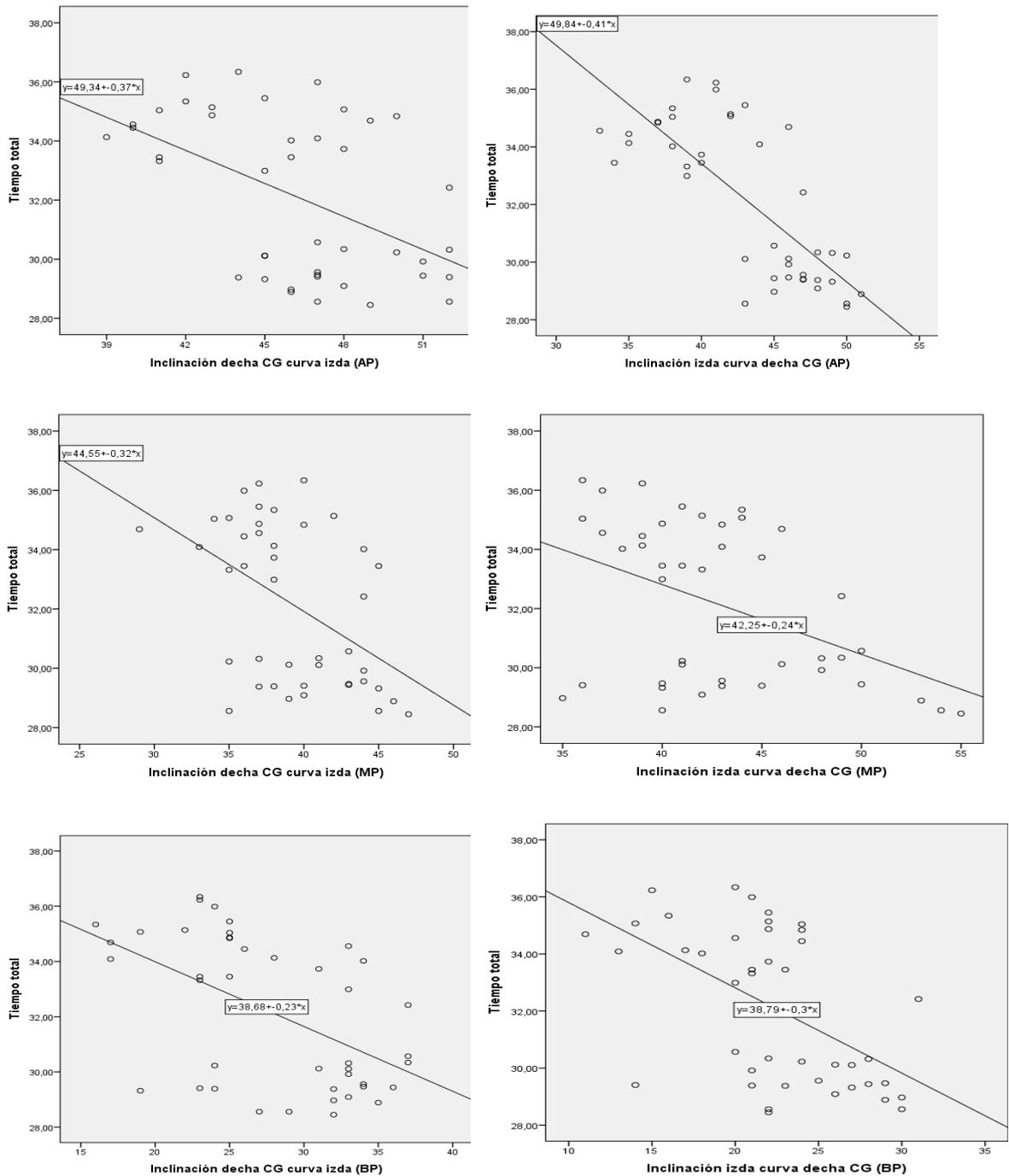


Figura 2. Gráficos de dispersión con línea de regresión de la correlación entre el tiempo y la inclinación del centro de gravedad realizando la curva hacia ambos lados en los tres tipos de pendiente.

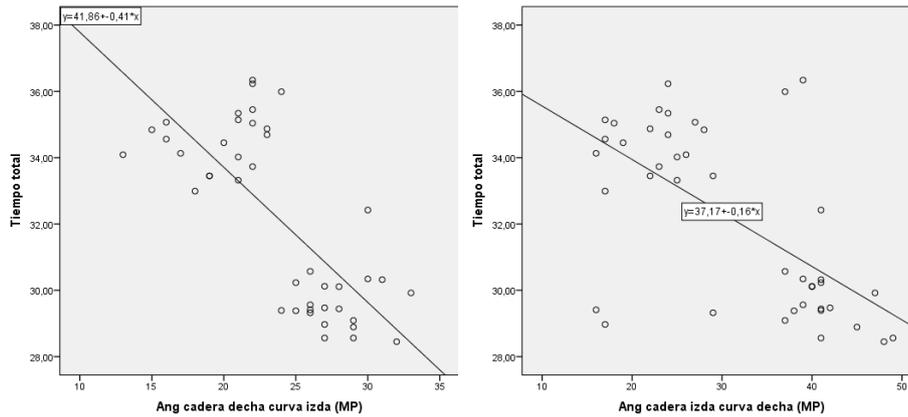


Figura 3. Gráfico de dispersión con línea de regresión de la correlación entre el tiempo y la angulación de la cadera realizando la curva hacia ambos lados en la media pendiente.

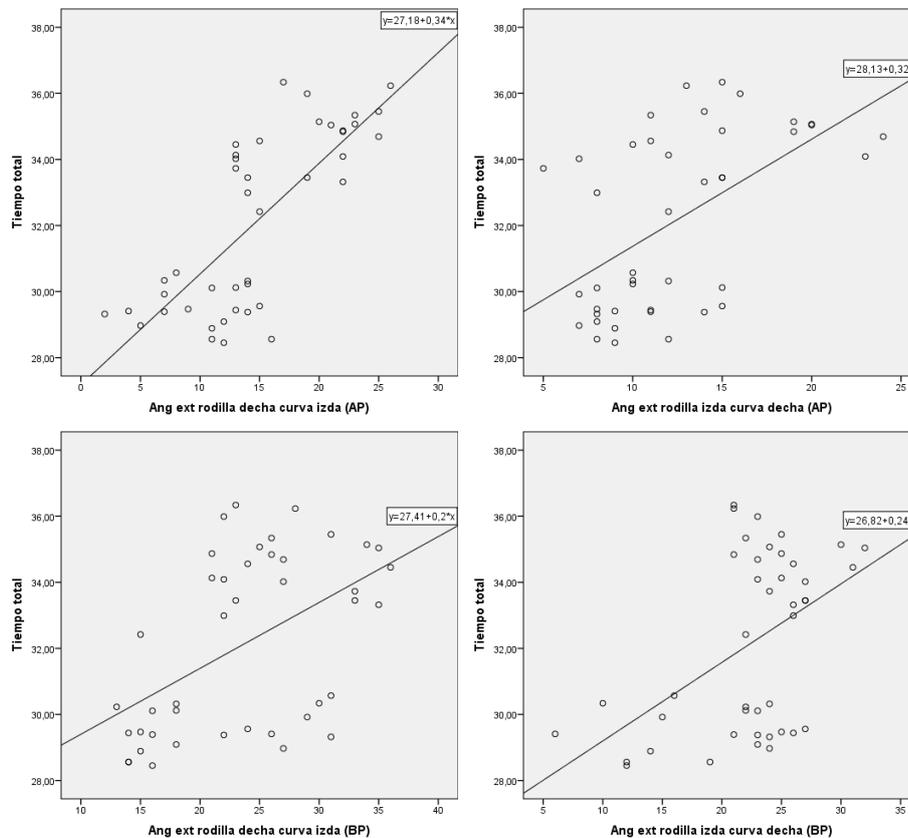


Figura 4. Gráfico de dispersión con línea de regresión de la correlación entre el tiempo y la angulación de la rodilla realizando la curva hacia ambos lados en la alta y baja pendiente.

grupos de esquiadores de nivel experto y avanzado.

Angulación e inclinación de los esquiadores según la pendiente

En primer lugar se ha analizado las variables de angulación e inclinación en los diferentes tipos de pendiente y en las curvas hacia ambos lados para el grupo de nivel experto. Cuanto mayor es la pendiente de la pista mayor es la inclinación alcanzada por los mismos. Estos esquiadores, debido a su mayor destreza técnica y aprovechando la influencia de la pendiente, son capaces de alcanzar mayor inclinación y tener mayor toma de cantos y mejores apoyos para realizar las curvas de manera efectiva. Otro de los aspectos que pueden influir sobre esta inclinación es que en las zonas de alta y media pendiente cuentan con una velocidad más alta que en la baja pendiente. Esta inclinación depende directamente de la velocidad tangencial y la consistencia de la nieve, principalmente dureza y calidad (Gilgien et al., 2018).

Por otro lado, la angulación de cadera que presentan los esquiadores de nivel experto es mayor en las zonas donde los esquiadores han alcanzado mayores

niveles de inclinación. De acuerdo con el estudio de Supej et al. (2015) es normal que se den mayores valores de angulación de cadera en las zonas de pendientes más pronunciadas debido a que se necesita un mayor apoyo en el esquí exterior. Los resultados obtenidos presentan una diferencia con el estudio citado anteriormente con respecto a la angulación de la rodilla, donde se obtuvo una angulación mayor en los esquiadores de nivel de copa del mundo cuanto mayor era la pendiente, todo lo contrario a los resultados del presente estudio. Los datos obtenidos en la zona de la media pendiente son más similares a los obtenidos por Supej et al. (2015), esta zona se encuentra después de la zona de alta pendiente y los esquiadores llevan una velocidad mayor, por eso necesitan aplicar una mayor fuerza en el esquí exterior para poder realizar la curva de manera efectiva y por ello se ha obtenido una alta angulación de la rodilla externa. La alta angulación de rodilla en la zona de baja pendiente se debe a que los esquiadores no son capaces de generar la misma inclinación que los esquiadores de copa del mundo en esta zona (Supej et al., 2015) y por lo tanto deben realizar la curva compensando con la angulación de la rodilla.

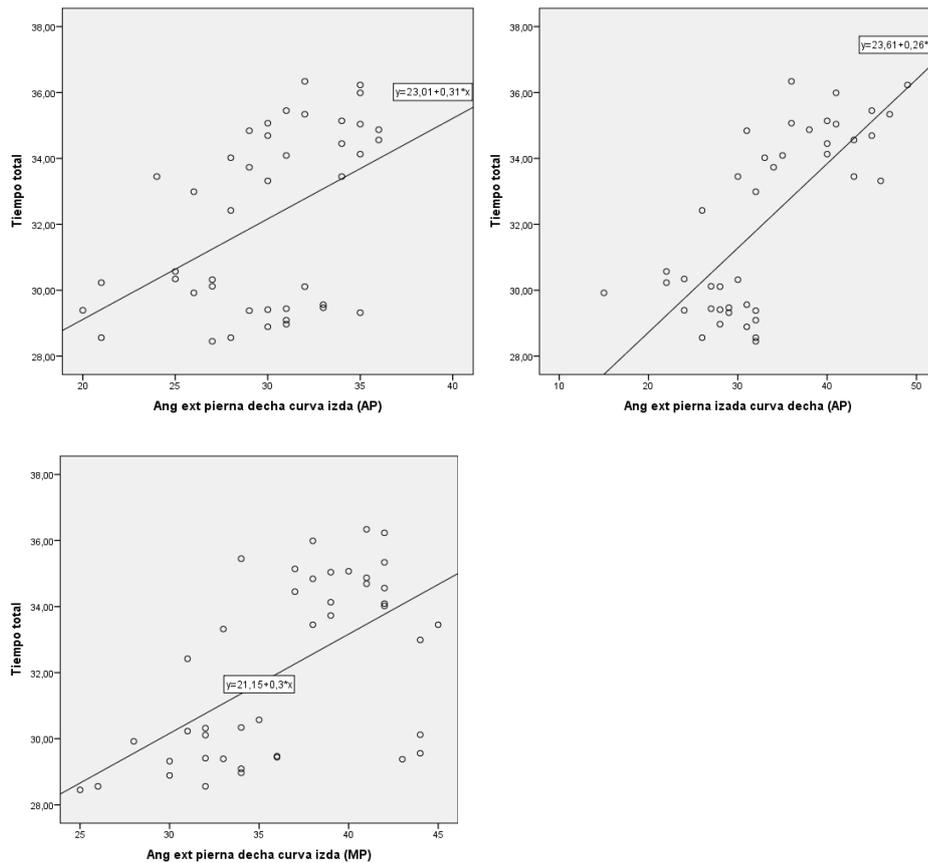


Figura 5. Gráfico de dispersión con línea de regresión de la correlación entre el tiempo y la angulación de la pierna realizando la curva hacia ambos lados en la alta pendiente y en la curva hacia la izquierda en la media pendiente.

En el caso de los esquiadores de nivel avanzado se puede observar como el nivel de inclinación en la alta pendiente es mucho menor que el grupo de expertos al no ser capaces de aprovechar la pendiente y realizar curvas conducidas que eviten el derrapaje y permitan la inclinación. Por eso es en la zona de media pendiente donde ellos se encuentran más cómodos, al obtener una velocidad mayor sin una gran pendiente son capaces de realizar mayores inclinaciones. Al igual que en los esquiadores de nivel experto la angulación de cadera sigue siendo mayor en la zona de alta pendiente. Los avanzados presentan mayores angulaciones de rodilla que puede ser debido a la falta de angulación en la zona media o a la excesiva angulación de cadera en la zona de baja pendiente, produciendo una curva más cerrada de lo normal.

Respecto a la comparativa de los niveles de inclinación y angulación entre ambos grupos para las diferentes pendientes estudiadas, se observa que en la zona elevada los esquiadores de nivel experto son capaces de alcanzar mayores grados de inclinación. Esto se debe a que son capaces de utilizar su velocidad y la pendiente, una afirmación que concuerda por lo establecido por Hébert-Losier et al. (2014) y Neumayr et al. (2003) en sus respectivos estudios. Esta inclinación ayudará al esquiador a poder alcanzar una angulación menor de pierna como es el caso de los esquiadores del grupo experto. Una inclinación ideal permitirá repartir el peso sobre los esquís manteniendo algo más siempre sobre el esquí exterior. Para optimizar al máximo la eficacia del viraje, hay que añadir la angulación de la cadera y de la rodilla, siendo la primera la más importante (Puente, 2008). Ambos conceptos harán posible que los corredores puedan tener una mayor incidencia del canto sobre la nieve y de esta manera poder trazar unas curvas más rápidas, canteadas y limpias que los esquiadores con un nivel avanzado no podrán realizar.

No existen diferencias significativas en el caso de la angulación de la cadera entre ambos grupos, pero si existen en la angulación de rodilla. Uno de los motivos de ello es que los esquiadores de nivel avanzado tienen que compensar con esta angulación de rodilla la falta de inclinación para obtener mayor toma de contacto con el canto del esquí exterior y así conseguir ser más efectivos, por el contrario, los esquiadores expertos solo con la inclinación y manteniendo una buena angulación de la cadera consiguen realizar ese buen apoyo en el esquí exterior. Estos datos coinciden con los obtenidos por Westin et al. (2015) que detectan que los esquiadores que llevan más tiempo esquiado sufren menos lesiones de rodilla al utilizar menos la angulación de la rodilla.

En la media y baja pendiente se observa que la inclinación y la angulación de cadera sigue siendo menor en los esquiadores de nivel avanzado, y como consecuencia, la angulación de la rodilla es mayor que en los esquiadores expertos. El motivo vuelve a ser la necesidad de estos de realizar una mayor angulación de la rodilla para buscar un buen apoyo que en cambio, el grupo de expertos, consigue con la inclinación y angulación de cadera. Este hecho se acentúa en la baja pendiente donde los esquiadores cuentan con menos velocidad y pendiente para poder realizar buenas inclinaciones.

Relación entre la cinemática de los esquiadores y su rendimiento

Existen diferencias significativas en cuanto a la velocidad y el tiempo entre ambos grupos de nivel analizados, siendo el grupo de expertos el que mayor rendimiento obtiene. De acuerdo con Gilgien et al. (2015) los mejores esquiadores presentan mayor volumen de entrenamiento y mejores resultados, situaciones que se dan en el presente estudio.

Existe una correlación negativa entre el tiempo y la inclinación, en las curvas hacia ambos lados y en todas las partes del trazado. Es decir, cuanto mayor es la inclinación de los corredores menor es el tiempo que tardan en realizar el trazado. Estos resultados coinciden con los resultados de Rudakov et al. (2010) que demostraron que aumentando la inclinación producida por los esquiadores se rebaja hasta en un 8% el tiempo en realizar el trazado.

En el caso de la angulación de cadera y su correlación con el tiempo se observa que solo tienen correlación negativa significativa en la zona de media pendiente. Esto puede ser debido a que los corredores en esta zona llevan más velocidad que en las demás y la inclinación generada por los mismos hace que se tenga que realizar una angulación mayor para que el apoyo en el esquí exterior sea más efectivo. Se observa que al realizarse más angulación de cadera los corredores realizan mejor tiempo al mantener un apoyo más efectivo sobre el esquí exterior.

En las partes donde la angulación de cadera no es significativa con respecto al tiempo, existe una correlación positiva significativa con la angulación de la rodilla. Esto es debido a la falta de inclinación por parte de los corredores lo que hace que, a mayor angulación de rodilla para buscar un buen apoyo, mayor es el tiempo empleado. Respecto a la correlación de la angulación de la pierna y el tiempo, se obtiene un valor positivo y significativo en la zona de baja pendiente.

En el caso de la variable de rendimiento de la velocidad, las variables cinemáticas que le afectan son las mismas que para el tiempo pero con una correlación inversa dado que, a menor tiempo en realizar el trazado mayor es la velocidad alcanzada. Así cuanto mayor sea la inclinación y la angulación de la cadera, mayor será la velocidad, y en el caso de la angulación de rodilla y de pierna cuanto mayor sean estas variables, menor será la velocidad alcanzada.

Conclusiones

El grado de pendiente afecta a la cinemática de los esquiadores dado que cuanto mayor era el grado de pendiente mayores fueron los ángulos de angulación e inclinación por parte de los esquiadores del estudio.

Los esquiadores de nivel experto alcanzan mayores grados de inclinación y angulación que los esquiadores de nivel avanzado en los diferentes tipos de pendientes.

Existe una gran relación entre la cinemática del esquí y el rendimiento llevado a cabo por los esquiadores en un trazado con diferentes pendientes. Siendo la inclinación el factor más determinante sobre el tiempo que los esquiadores tardaron en realizar el descenso.

El estudio de la cinemática del esquí realizado en este estudio por medio del análisis videográfico es una buena forma de analizar el rendimiento de los esquiadores y realizar una buena reorientación del entrenamiento.

Referencias

- FIS (2018). Reglamento internacional de esquí (RIS). Libro IV normas comunes para esquí alpino, 94-102.
- Gilgien, M., Crivelli, P., Spörri, J., Kröll, J., & Müller, E. Characterization of course and terrain and their effect on skier speed in World Cup alpine ski racing. *PLoS One*, 10(3), 1-25. DOI: 10.1371/journal.pone.0118119
- Gilgien, M., Reid, R., Raschner, C., & Supej, M. (2018). The Training of Olympic Alpine Ski Racers. *Front Physiol*, 9, 1-7. DOI: 10.3389/fphys.2018.01772
- Gómez, P., Gutiérrez, M., & Soto, V.M. (2004). Análisis de la inclinación del esquiador hacia el interior del viraje de slalom en esquí alpino. *Biomecánica*, 12(1), 38-43.
- Guerrero C. (2008). *Esquí, rendimiento y emoción*. Ediciones Desnivel, Madrid.
- Hébert-Losier, K., Supej, M., & Holmberg, H.C. (2014). Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers. *Sport Med*, 44(4), 519-33. DOI: 10.1007/s40279-013-0132-z.
- Klous, M., Müller, E., & Schwameder, H. (2010). Collecting kinematic data on a ski/snowboard track with panning, tilting, and zooming cameras: Is there sufficient accuracy for a biomechanical analysis? *J Sports Sci*, 28(12), 1345-53. DOI: 10.1080/02640414.2010.507253.
- Méndez-Giménez, A., & Fernández-Río, J. (2011). Nuevas tendencias metodológicas en la enseñanza del esquí: orientaciones didácticas para su iniciación en los centros educativos. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 105, 35-43. DOI: 10.5672/apunts.2014-0983.es.(2011/3).105.04
- Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G., & Raas, E. (2003). Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Int J Sports Med*, 24(8), 571-5. DOI: 10.1055/s-2003-43270
- Pfister, G. (2001). Sport, Technology and Society: From Snow Shoes to Racing Skis. *Cult Sport Soc*, 4(1):73-98. DOI: 10.1080/713999811
- Puente R. (2008). *Técnica y Pedagogía del Esquí Alpino: Manual del profesor*. Autoedición, Madrid.
- Rudakov, R., Lisovski, A., Ilyalov, O., & Podgaets, R. (2010). Optimisation of the skier's trajectory in special slalom. 8th Conf Int Sport Eng Assoc, 2-5.
- Spörri, J., Kröll, J., Fasel, B., Aminian, K., & Müller, E. (2016). Course Setting as a Prevention Measure for Overuse Injuries of the Back in Alpine Ski Racing. *Orthop J Sport Med*, 4(2), 2325967116630719. DOI: 10.1177/2325967116630719
- Supej, M., & Holmberg, H.C. (2019). Recent kinematic and kinetic advances in Olympic alpine skiing: Pyeongchang and beyond. *Front Physiol*, 10, 1-7. DOI: 10.3389/fphys.2019.00111
- Supej, M., Hébert-Losier, K., & Holmberg, H.C. (2015). Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of world cup slalom skiers. *Int J Sports Physiol Perform*. 10(3), 361-8. DOI: 10.1123/ijspp.2014-0200
- Vansteenkiste, P., Decroix, M., Deconinck, F., Lenoir, M., Wazir, M., & Zeuwts, L. (2017). Expert-Non-expert differences in visual behaviour during alpine slalom skiing. *Hum Mov Sci*, 55, 229-39. DOI: 10.1016/j.humov.2017.08.012
- Westin, M., Harringe, M.L, Engström, B., Alricsson, M., & Werner, S. (2015). Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury in Competitive Adolescent Alpine Skiers. *Orthop J Sport Med*, 6, 1-7. DOI: 10.1177/2325967118766830.