

FACTORES DE RIESGO PARA LA LESION DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR EN EL ESQUI ALPINO DE COMPETICIÓN

Diego García-Germán Vázquez¹⁻³, Sebastián Vázquez Alarcón¹, Iván Nasser^{3,4}, Olmo Hernán Rupérez³.

- 1.-Hospital Universitario de Puerta de Hierro-Majadahonda, Madrid
- 2.-Hospital Universitario HM Torrelodones, Madrid
- 3.-Real Federación Española de Deportes de Invierno RFEDI
- 4.-Clínica Nasser, Zaragoza

El esquí alpino es un deporte que conlleva un riesgo de lesiones. Si bien, el riesgo de morir por causas traumáticas es bajo, el riesgo de sufrir una lesión del Ligamento Cruzado Anterior (LCA) es 365 veces mayor que el de la población general (30-70 por cada 100.000 esquiadores por día), siendo similar a la de la práctica del fútbol americano (9). La incidencia de lesiones del LCA se ha mantenido constante en el tiempo (33). En 2006, la Federación Internacional de Esquí (FIS) puso en marcha su Sistema de Vigilancia de Lesiones (ISS) con el fin de documentar las lesiones ocurridas durante la temporada de Copa del Mundo (16).

La incidencia de lesiones es de 36,7 por 100 esquiadores por temporada. Esta aumenta del Slalom (4,9/1000 bajadas), al Slalom Gigante (GS) (9,2/1000 bajadas), al Súper Gigante (SG) (11/1000 bajadas) y al Descenso (DH) (17,2/1000 bajadas). Ajustado al tiempo de exposición el riesgo es similar en

las diferentes disciplinas (6,9,15) siendo el número de lesiones mayor durante las bajadas de competición (45%) que durante el entrenamiento (25,1%) (16,18). Las lesiones de rodillas son las más frecuentes, suponiendo el 35,6% de todas las lesiones del esqueleto, con una incidencia por temporada, en la Copa del Mundo, del 13,8% (6). La rotura del LCA es el diagnóstico más frecuente suponiendo el 13,6% de todas las lesiones (15) y el 50% de las lesiones de rodilla (46), con una incidencia de 3.2/1000 bajadas de entreno o competición(38). La gran mayoría de las lesiones no ocurren como consecuencia de una caída, son secundarias a un traumatismo indirecto por rotación de la rodilla. Pujol encuentra una prevalencia del 28% de los esquiadores de competición con un 19% de re-roturas y un 30% de lesiones contralaterales (33). La incidencia fue mayor entre los 30 mejores del ranking de la Federación Internacional de Esquí (FIS).

MARCADORES DE RIESGO

Existen algunos factores no modificables que van a aumentar el riesgo del esquiador de sufrir una lesión del LCA. Aquellos deportistas que hayan sufrido una lesión previa del LCA tendrán mayor riesgo de sufrir una re-rotura o una rotura en la rodilla contralateral (32). Lo mismo ocurre en otras regiones anatómicas, tipo de lesiones y diferentes deportes (2). El sexo podría ser importante pues algunos trabajos señalan mayor incidencia de roturas del LCA en esquiadoras (46). Si en la mayoría de deportes las mujeres presentan una incidencia mayor de roturas del LCA, en Copa del Mundo no ha sucedido pues las incidencias publicadas han sido similares (3). Por el contrario, en las esquiadores más jóvenes se ha señalado una diferencia de 2.3:1 de las

mujeres con relación a los hombres, presentando un pico de incidencia en esquiadoras de 19 años (34).

Al igual que en otros deportes se ha encontrado una predisposición genética para la rotura del LCA, probablemente relacionada con las características morfológicas de la articulación. Se observó una mayor incidencia de lesiones en los padres de esquiadores con roturas del LCA (47). La presencia de lesiones previas es uno de los factores de riesgo más importantes para la aparición de nuevas lesiones.

ETIOLOGÍA Y MECANISMOS DE LESIÓN DEL LCA

El mecanismo exacto de la lesión del LCA durante la práctica del esquí alpino de competición no siempre es fácil de determinar. El Centro de Investigación de Traumatismos Deportivos, de la Escuela Noruega de Ciencias del Deporte, ha publicado una serie de trabajos sobre el estudio de vídeos de caídas de esquí durante competiciones de la Copa del Mundo que tuvieron como consecuencia una rotura del LCA, identificando tres mecanismos concretos (3-5).

El mecanismo de “pie fantasma” o “slip-catch”, el más frecuente en esquiadores de competición, cuando se pierde el agarre del esquí exterior durante el giro. La pierna queda sin apoyo o en el aire y se produce una extensión de la rodilla. Cuando el esquí toca la nieve, el canto comienza a conducir bruscamente y se produce una rotación interna forzada con valgo de la rodilla que da lugar a la rotura del LCA. Este mecanismo es típico de las disciplinas técnicas Slalom y GS. (Fig. 1)

El segundo mecanismo de rotura del LCA en competición ocurre al aterrizar de un salto, principalmente en las disciplinas de velocidad. Al caer del salto con las colas de los esquís el peso puede desplazarse hacia posterior y el esquiador se va sentando sobre las colas. Dado que las botas son rígidas, se produce un desplazamiento relativo de la tibia hacia adelante produciéndose una maniobra de “cajón anterior”. Además, se produce una intensa contracción del cuádriceps para intentar levantarse, aumentando la translación anterior y la tensión sobre el LCA que acaba rompiéndose. Este mecanismo se conoce como “cajón anterior inducido por la bota o “aterrizar con el peso retrasado” (landing back-weighted).

El tercer mecanismo descrito es la “cuña dinámica” o “dynamic snowplow” que ocurre cuando el esquiador abre la cuña involuntariamente al descargar peso en el esquí interior mientras se desliza a gran velocidad. Cuando el esquí vuelve a contactar con la nieve y el canto comienza a conducir, en una posición de cuña, se produce una rotación interna de la tibia asociada a valgo de la rodilla que da lugar a la rotura del LCA. Este mecanismo ocurre típicamente en disciplinas de velocidad en las zonas plana o en las diagonales de los descensos.

Existen diferencias entre los mecanismos ocurridos durante la competición y aquellos que se producen en los esquiadores recreacionales. En competición el material es diferente, la velocidad, la agresividad y la energía de los traumatismos que ocurren es diferente al esquí recreacional. Hemos analizado vídeos de caídas que llevaron a la rotura del LCA en esquiadores recreacionales y frente al mecanismo más frecuente en esquiadores de competición que es el “slip-catch”, en los esquiadores aficionados son más

frecuentes las roturas relacionadas con caídas a menor velocidad y sentados sobre las colas de los esquís. Se puede especular con que la peor forma física en esquiadores recreacionales puede hacer que el m. cuádriceps no sea capaz de mantener la pierna en extensión al caer y el esquiador se sienta sobre las colas, reproduciendo el mecanismo de “landing back-weighted”. Esto también puede estar en relación con una actitud menos “agresiva” al esquiar que condicione un peso retrasado. También son típicas en esquiadores principiantes las roturas de LCA asociadas a traumatismos de muy baja energía con rotación de rodilla estando parados en posición de cuña.

En los traumatismos de alta energía, cuando se producen lesiones más complejas incluyendo fracturas de meseta tibial o lesiones combinadas de los diferentes ligamentos de la rodilla, el mecanismo puede no ser tan claro como en estos tres tipos.

FACTORES RELACIONADOS CON EL MATERIAL

El material utilizado por los esquiadores puede condicionar el riesgo de lesiones. Las mejoras introducidas durante la década de 1970 en las botas y fijaciones supusieron un cambio en la incidencia de lesiones en la extremidad inferior. Estas mejoras estaban diseñadas para proteger la tibia, no la rodilla. Las fracturas de tobillo secundarias a traumatismo torsionales prácticamente desaparecieron con las botas altas y duras, así como las fracturas espiroideas de tibia, hasta entonces frecuentes en la práctica del esquí. Por el contrario, la incidencia de lesiones del LCA aumento en un 240% (10).

Las fijaciones son fundamentales en las lesiones del LCA. La falta de liberación condiciona un aumento de torsión en la rodilla que es responsable de la rotura

del ligamento (30). Por el contrario, la liberación precoz de la bota va a condicionar una caída o la descalificación en competición. Las fijaciones excesivamente flojas producen una liberación innecesaria y aumentan las lesiones de la extremidad superior (20). Los esfuerzos en el diseño de las fijaciones van encaminados a diferenciar entre sollicitaciones normales y aquellas que ocurren durante una lesión. Es probable que pese a estos avances un número de lesiones del LCA seguirán ocurriendo (36).

La rigidez del plástico de las botas se ha relacionado con las lesiones del LCA, especialmente con el mecanismo "landing back weighted" (8,28) y a mayor rigidez de la bota, mayores sollicitaciones sobre el LCA en la recepción de un salto y mayor fuerza ejercerá el m. cuádriceps. Por otro lado, reducir la rigidez de la bota afectaría al rendimiento en competición.

MORFOLOGIA DE LOS ESQUÍS

La forma de los esquís no cambió demasiado desde los primeros años del siglo XIX hasta la aparición de del SCX, de Elan, en 1993, y que supuso el inicio de los esquís conocidos popularmente como "carving". La distancia de corte lateral, que se habían mantenido constante durante décadas, paso de 7 a 22.5 mm, y el radio de giro disminuyó drásticamente. La aparición de estos nuevos esquís, con cotas muy pronunciadas, supuso una mejora clara para los esquiadores recreacionales siendo muy fácil conducir el giro, aumentando en control, disminuyendo el derrapaje, aumentando la velocidad y haciendo la práctica del esquí más accesible y fácil a la población general. (Fig. 2)

Pronto se empezaron a utilizar en competición. Esto supuso una revolución en la forma de esquiar. Se puede decir que los esquís con radio de giro menor

permiten esquiar “sobre raíles”, con mínimo derrapaje y mejor control del giro. (Fig. 3) Por otro lado, la disminución en el radio aumenta la fuerza de reacción del suelo, sobre todo al final del giro, momento en el que se producen la mayoría de las lesiones de rodilla (43). Uno de los problemas asociados al uso de estos esquís es que, al no derrapar y conducir el giro en su practica totalidad sobre el canto, no se disipa la energía cinética que es transmitida a las extremidades inferiores del esquiador y más específicamente a sus rodillas. Durante los primeros años posterior a la introducción de los esquís “carving” en la Copa de Mundo se objetivó un aumento de lesiones de rodilla (20,21). Esto llevo a la FIS en la temporada 2012/2013 a cambiar la normativa, obligando a utilizar esquís más largos y con cotas menos pronunciadas. El cambio más importante ocurrió en los esquís de Slalom Gigante para los hombres, disminuyendo el de corte lateral de 27 a 23 mm, aumentando el radio de giro, de 27 a 35 m, y aumentando la longitud mínima, de 183 a 195 mm (13,14) . Este cambio fue muy criticado por los esquiadores ya que hace más difícil conducir el giro y puede ser un impedimento en la evolución de los corredores más jóvenes con menor fuerza física.

Los estudios que han comparado la diferencia en la incidencia de lesiones, entre el periodo 2006-20012 y 2012-2015, han encontrado una disminución global de lesiones del 24%. La tasa de lesiones por 1000 bajadas de competición descendió de 9.5 a 6.9, que se atribuyó a una menor incidencia de caídas evidenciada por el mayor porcentaje de bajadas de competición completadas (18). La incidencia de lesiones moderadas, con bajas deportivas entre 1 y 28 días, fue también menor.

Paradójicamente, pese a que la incidencia global de lesiones ha disminuido, no se ha evidenciado una disminución en la incidencia de las lesiones de rodilla ni de las lesiones del LCA, tras el cambio de regulación de la FIS. Esto puede ser debido a la baja potencia estadística del estudio, pero también a la adaptación de la manera de esquiar a los esquís con la nueva normativa, aumentando la agresividad, y por tanto, el número de lesiones. Por el contrario, las lesiones de la parte superior del cuerpo disminuyeron un 44% (18).

Las críticas de los esquiadores y el cuestionable efecto sobre la incidencia de lesiones de rodilla que los cambios de 2012 tuvieron, han llevado a la FIS a replantearse la normativa y dar marcha atrás parcialmente. Empezando en la temporada 2017/2018 los esquís de Slalom Gigante aumentarán su corte lateral, disminuyendo el radio de giro de 35 a 30 m y la longitud mínima a 193 cm (12).

La rigidez del esquí condiciona la reactividad y el agarre sobre el canto, especialmente a altas velocidades. Se ha propuesto que una disminución en la rigidez de los esquís podría tener un mayor efecto sobre la reducción de lesiones del LCA que la regulación sobre su forma y dimensiones (40). La mayoría de las modificaciones propuestas sobre el material hacen que sea más difícil trazar adecuadamente los giros con una correcta conducción. Estas modificaciones hacen que aumente la demanda física sobre el esquiador que continuará intentando bajar por el trazado de la manera más rápida posible. Si bien es discutible que puedan disminuir la incidencia de lesiones agudas, es probable que aumenten las lesiones por sobrecarga.

FACTORES RELACIONADOS CON EL ESQUIADOR, ESTADO FÍSICO

Es de sentido común pensar que cuanto mejor sea la condición física menor será el riesgo de lesiones musculo-esqueléticas. Varios expertos han recomendado el entrenamiento físico para mejorar el rendimiento y, también, para prevenir las lesiones (19,35). Desgraciadamente, no existe evidencia científica de que eso sea claramente así en el esquí (24,41).

Existe una relación entre el estado físico de los deportistas y la incidencia de lesiones del LCA en otros deportes que puede ser modificable mediante entrenamiento propioceptivo. (1,7,48,49). En el caso del esquí, varios estudios han determinado una menor fuerza de la musculatura del tronco o “core” en esquiadores que han sufrido lesiones del LCA frente al grupo control sin lesiones. Otros parámetros físicos medibles no se relacionaron claramente con una incidencia mayor de lesiones del LCA (34). La relación entre la fuerza de contracción del m. cuádriceps frente a los músculos Isquiotibiales y la asimetría entre ambas extremidades se ha propuesto como un factor de riesgo, sin evidencia científica (22,24,31).

La fatiga del deportista puede ser un factor importante pues la mayoría de las lesiones ocurren en los últimos tramos de los trazados cuando el corredor está más cansado (3, 41).

Algunos factores relacionados con la táctica del esquiador han sido estudiados y es frecuente que los esquiadores que sufren una lesión del LCA entren desequilibrados del giro anterior al giro donde se produce la lesión o se produzca un error técnico durante un salto (4,5). (Fig. 4)

FACTORES CLIMATOLÓGICOS Y RELACIONADOS CON EL TRAZADO

Se han propuesto múltiples factores relacionados con la calidad de la nieve, la climatología y las características del trazado. El frío se ha relacionado con un aumento de lesiones y se ha establecido un límite inferior de $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ para poder competir. La mala visibilidad y la falta de percepción del relieve son factores conocidos (23). Al igual que en otros deportes las características de la superficie influyen en las lesiones. Las condiciones de la pista incluyen la presencia de baches, los cambios de pendiente, especialmente las zonas de compresión, y las características del trazado (39). La calidad de la nieve puede influir en el agarre del esquí y, por tanto, la energía transmitida a las rodillas. Así, nieve fría, seca y especialmente la nieve artificial tendrá un mayor agarre, propiciando un menor derrapaje y, por tanto, una menor disipación de energía. La nieve artificial producida por cañones de nieve presenta un menor tamaño de grano y mayor unión entre estos, aumentando la reactividad del esquí (11). Por el contrario, la nieve con mayor presencia de hielo disminuirá la conducción del esquí y la probabilidad de que se produzca un mecanismo de “slip-catch” (17,37). Algunos autores han defendido la seguridad de la utilización de inyección de agua en la pista para obtener una superficie más dura y helada que la hace menos reactiva y disminuye el agarre del canto (40).

La velocidad del esquiador puede tener relación con la incidencia de lesiones, justificando las diferencias entre las distintas pruebas alpinas. La velocidad va a condicionar la energía cinética que se disipa en el momento del traumatismo. Bere encuentra una incidencia mayor en DH frente a las disciplinas técnicas (GS y Slalom). La velocidad puede controlarse alterando el trazado y aumentando la distancia horizontal entre puertas (4). Este cambio disminuiría la

velocidad, pero podría aumentar la fatiga y las situaciones de desequilibrio a la vez que haría las bajadas menos espectaculares y atractivas (42).

La recepción de un salto es uno de los momentos de mayor riesgo de rotura del LCA. La caída con el peso retrasado, como hemos dicho, es un factor de riesgo para la rotura del LCA ya que puede dar lugar a que el esquiador quede sentado sobre las colas de los esquís produciéndose el típico mecanismo “landing back-weighted”. El diseño del trazado y la presencia de saltos con una recepción inapropiada también se han propuesto como factores de riesgo para la lesión del LCA. (41). Un 30% de las lesiones se relacionan con impactos contra las puertas que forman el trazado (3).

PREVENCIÓN DE LAS LESIONES DEL LCA

Los programas de prevención mediante entrenamiento propioceptivo específico han demostrado descensos en la incidencia de las lesiones del LCA en otros deportes (29,49). Concretamente, los programas de prevención implementados por la FIFA han disminuido, según algunas publicaciones, las lesiones en el fútbol. (1,7,44). No existen datos en el esquí de competición, pero un estudio objetivó la reducción del 62% en lesiones de rodilla en pisteros tras un entrenamiento específico (10), aunque es difícil extrapolar al esquí de competición donde influyen múltiples factores, no siempre fáciles de controlar.

Recientemente se ha popularizado el uso de ortesis de rodilla para prevenir lesiones del LCA, principalmente en esquiadores recreacionales. Algunos estudios han comprobado una menor incidencia de re-roturas del LCA en esquiadores operados y menor incidencia de episodios de fallo en no operados que utilizaron ortesis de rodilla. (25,45) En esquí de competición varios equipos

han desarrollado ortesis a medida para sus corredores lesionados como prevención secundaria (27). Sin embargo, las ortesis pueden empeorar el rendimiento de los deportistas y no se puede recomendar el uso generalizado de rodilleras como prevención primaria pero probablemente si como prevención secundaria tras una cirugía de reconstrucción del LCA.

Las lesiones están intrínsecamente ligadas al deporte y en el caso del esquí alpino de competición, las lesiones del LCA afectan a un número importante de esquiadores cada temporada. Es importante conocer aquellos factores de riesgo modificables para disminuir la incidencia sin restar espectacularidad a la competición ni condicionar el rendimiento del material.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009; 17:705–29.
2. Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R.. Risk factors for injuries in football. *Am J Sports Med* 2004;32(1 Suppl):5S–16S.
3. Bere T, Flørenes TW, Krosshaug T, Haugen P, Svandal I, Nordsletten L, Bahr R. A systematic video analysis of 69 injury cases in World Cup alpine skiing. *Scand J Med Sci Sports.* 2014; 24:667-77
4. Bere T, Flørenes TW, Krosshaug T, Nordsletten L, Bahr R. Events leading to anterior cruciate ligament injury in World Cup Alpine Skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *Br J Sports Med.* 2011; 45:1294-302.

5. Bere T, Flørenes TW, Krosshaug T, Koga H, Nordsletten L, Irving C, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in World Cup alpine skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *Am J Sports Med.* 2011; 39:1421-9.
6. Bere T, Flørenes TW, Nordsletten L, Bahr R. Sex differences in the risk of injury in World Cup alpine skiers: a 6-year cohort study. *Br J Sports Med.* 2014; 48:36–40.
7. Bizzini M, Dvorak J. FIFA 11+: an effective programme to prevent football injuries in various player groups worldwide—a narrative review. *Br J Sports Med.* 2015; 49:577–9.
8. Eberle R, Heinrich D, Kaps P, Oberguggenberger M, Nachbauer W. Effect of ski boot rear stiffness (SBRS) on maximal ACL force during injury prone landing movements in alpine ski racing: a study with a musculoskeletal simulation model. *J Sports Sci.* Epub 2016 Jul 26:1–9.
9. Engebretsen L, Steffen K, Alonso JM. Sports injuries and illnesses during the Winter Olympic Games 2010. *Br J Sports Med.* 2010; 44:772–80.
10. Ettlinger CF, Johnson RJ, Shealy J. A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *Am J Sports Med.* 1996; 23:531-7.
11. Fauve M, Rhyner HU, Schneebeili M. Preparation and maintenance of pistes. Handbook for practitioners. Davos: Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research; 2002.
12. FIS. <http://www.fis-ski.com/inside-fis/document-library/alpine-skiing/index.html#deeplink=calendar> (descargado 09/07/2017)
13. FIS. International Ski Federation 2010. Specifications for competition equipment and commercial markings. Edition 2010/2011 (October 2010).
14. FIS. International Ski Federation 2011. Safety in Alpine Ski racing—status.

University of Salzburg. http://www.fis-ski.com/mm/Document/document/General/04/22/03/Feb22011Makingprogressforsafetyinskiracing_Neutral.pdf.

(descargado 09/07/2017)

15. Florenes TW, Bere T, Nordsletten L, Heir S, Bahr R. Injuries among male and female World Cup alpine skiers. *Br J Sports Med*. 2009; 43:973-8.
16. Florenes TW, Nordsletten L, Heir S, Bahr R. Recording injuries among World Cup skiers and snowboarders: a methodological study. *Scand J Med Sci Sports*. 2011; 21:196–205.
17. Gilgien M, Spörri J, Kröll J, Crivelli P, Müller E. Mechanics of turning and jumping and skiers speed are associated with injury risk in men's World Cup alpine skiing: a comparison between the competition disciplines. *Br J Sports Med*. 2014; 48:742-7.
18. Haaland B, Steenstrup SE, Bere T, Roald Bahr R, Nordsletten L. Injury rate and injury patterns in FIS World Cup Alpine skiing (2006–2015): have the new ski regulations made an impact? *Br J Sports Med* 2016; 1:32-6.
19. Hunter RE. Skiing injuries. *Am J Sports Med*. 1999;27:381-389.
20. Johnson RJ, Ettlinger CF, Shealy JE. Update on injury trends in alpine skiing. En: Johnson RJ, Zucco P, Shealy JE, eds. *Skiing trauma and Safety*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials, 2000:108–18.
21. Johnson RJ, Natri A, Ettlinger CF, Johnson RJ, Shealy JE. Three-year study of carving skis. En: Müller E, ed. *2nd International Congress on skiing and science* St. Christoph a. Arlberg, Austria: Verlag Dr. Kovac, 2001:529–43.
22. Johnson S. Anterior cruciate ligament injury in elite alpine competitors. *Med Sci Sports Exerc*. 1995; 27:323-7.

23. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Anterior cruciate ligament injury/reinjury in alpine ski racing: a narrative review. *Open Acc J Sports Med.* 2017; 8:71-83.
24. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Rapid hamstrings/quadriceps strength in ACL-reconstructed elite alpine ski racers. *Med Sci Sports Exerc.* 2015; 47:109-19.
25. Kocher MS, Sterett WI, Briggs KK, Zurakowski D, Steadman JR. Effect of functional bracing on subsequent knee injury in ACL-deficient professional skiers. *J Knee Surg.* 2003; 16:87-92.
26. Kröll J, Spörri J, Gilgien M, Schwameder H, Müller E. Sidecut radius and kinetic energy: equipment designed to reduce risk of severe traumatic knee injuries in alpine giant slalom ski racing. *Br J Sports Med.* 2016; 50:26-31.
27. Mayr HO, Auracher M, Merkel M, Müller F, Waibel K. Specific aspects of alpine skiing in recreational and competitive sport (FIS). En: Mayr HO, Zaffagnini S, editor. *Prevention of injuries and overuse in sports.* Heidelberg: Springer; 2016:137-155.
28. McConkey JP. Anterior cruciate ligament rupture in skiing: a new mechanism of injury. *Am J Sports Med.* 1986; 14:160-4.
29. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, Skjøelberg A, Olsen O-E, Bahr R. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med.* 2003; 13:71-8.
30. Natri A, Beynon BD, Ettinger CF, Johnson RJ, Shealy JE. Alpine ski bindings and injuries. *Sports Med.* 1999; 28:35-48.
31. Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E. Physical and physiological actors associated with success in professional alpine skiing. *Int J*

Sports Med. 2003; 24:571-5.

32. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2014; 42:1567-73.

33. Pujol N , Blanchi MP , Chambat P . The incidence of anterior cruciate ligament injuries among competitive Alpine skiers: a 25-year investigation. *Am J Sports Med* 2007 ; 35 : 1070 – 4 .

34. Raschner C, Platzer HP, Patterson C, Werner I, Huber R, Hildebrandt C. The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-year longitudinal study. *Br J Sports Med.* 2012; 46:1065-71.

35. Reider B, Marshall JL. Getting in shape to ski. *Physician Sports Med.* 1977;5(12):40-45.

36. Senner V, Michel FI, Lehner S, Brügger O. Technical possibilities for optimizing the ski-binding-boot functional unit to reduce knee injuries in recreational alpine skiing. *Sports Eng.* 2013; 16:211-28.

37. Shapiro LH, Johnson JB, Sturm M, et al. Snow mechanics: review of the state of knowledge and applications. CRREL report 97-3. Cold Regions Research & Engineering Laboratory; 1997.

38. Soligard T, Steffen K, Palmer-Green D, Aubry M, Grant ME, Meeuwisse W, et al. Sports injuries and illnesses in the Sochi 2014 Olympic Winter Games. *Br J Sports Med.* 2015; 49:441-7.

39. Spörri J, Kröll J, Amesberger G, Blake OM, Müller E. Perceived key injury risk factors in World Cup alpine ski racing – an explorative qualitative study with expert stakeholders. *Br J Sports Med.* 2012; 46:1059-64.

40. Spörri J, Kröll J, Blake O, Amesberger G, Müller E. A qualitative approach to determine key injury risk factors in alpine ski racing. Internationaler Skiverband (FIS). 2010.
41. Spörri J, Kröll J, Gilgien M, Müller E. How to prevent injuries in alpine ski racing: what do we know and where do we go from here? *Sports Med.* 2017; 47:599-614.
42. Spörri J, Kröll J, Schwameder H, Schiefermüller C, Müller E. Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: an explorative case study. *Br J Sports Med.* 2012; 46:1072-7.
43. Spörri J, Kröll J, Gilgien M, Müller E. Sidecut radius and the mechanics of turning— equipment designed to reduce risk of severe traumatic knee injuries in alpine giant slalom ski racing. *Br J Sports Med.* 2016; 50:14-9.
44. Steffen K, Meeuwisse WH, Romiti M, Kang J, McKay C, Bizzini M, et al. Evaluation of how different implementation strategies of an injury prevention programme (FIFA 11+) impact team adherence and injury risk in Canadian female youth football players: a cluster-randomised trial. *Br J Sports Med.* 2013; 47:480-7.
45. Sterett WI, Briggs KK, Farley T, Steadman JR. Effect of functional bracing on knee injury in skiers with anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective cohort study. *Am J Sports Med.* 2006; 34:1581-5.
46. Stevenson H, Webster J, Johnson RJ, Beynon BD. Gender differences in knee injury epidemiology among competitive alpine ski racers. *Iowa Orthop J.* 1998; 18:64-6.
47. Westin M, Reeds-Lundqvist S, Werner S. The correlation between anterior cruciate ligament injury in elite alpine skiers and their parents. *Knee Surg*

Sports Traumatol Arthrosc. 2016; 24:697–701.

48. ZebisMK, Andersen LL, Bencke J, Kjaer M, Aagaard P. Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. Am J Sports Med. 2009; 37:1967-73.

49. Zebis MK, Andersen LL, Brandt M, Bandholm T, Thorborg K, Hölmich P, Aagaard P. et al. Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomized controlled trial. Br J Sports Med. 2016; 50:552-7.

50.

Pies de Figuras:

Figura 1

-Típica secuencia de una rotura de LCA (rodilla derecha) por mecanismo de “Slip-Catch”. El esquiador pierde agarre en el esquí exterior que, al volver a conducir, fuerza la rotación interna produciendo la lesión.

Figura 2:

-Diferencias en el radio de giro (A) y en la distancia de corte lateral (B) entre esquís “carving” y esquís homologados FIS.

Figura 3:

-La técnica del esquí de competición moderno incluye un peso repartido entre ambos esquís y una conducción continua del giro con mínimo derrapaje. Foto © Oriol Molas

Figura 4:

-Con frecuencia las lesiones del LCA se producen tras una descompensación en el giro previo. El esquiador aterriza con el esquí perpendicular a la máxima pendiente produciéndose un mecanismo de rotación interna forzada y valgo que da lugar a una rotura del LCA (rodilla izquierda).

Fig 1.



Fig 2.

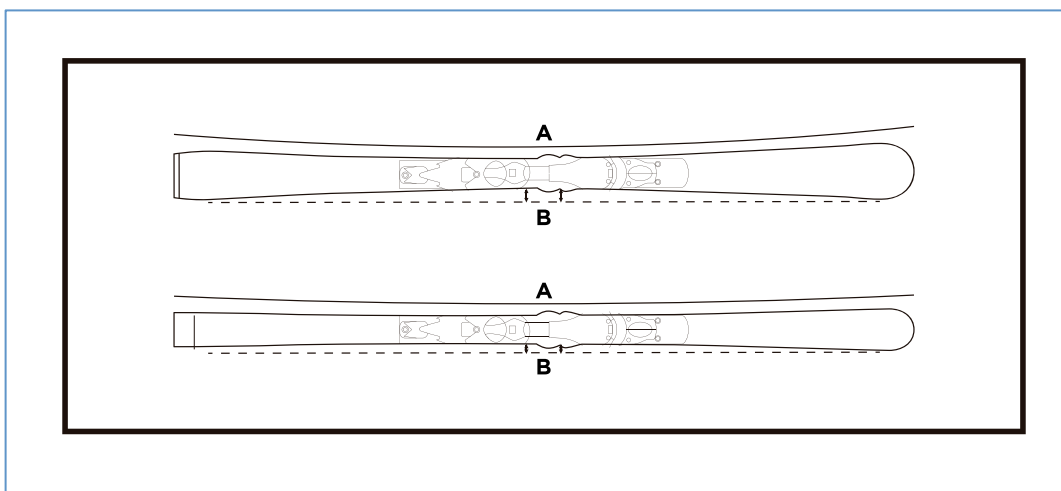


Fig 3.



Fig 4.

