

Die Verletzungsrate im professionellen alpinen Skilauf ist mit 9,8 Verletzungen/1000 Abfahrten häufig. Im professionellen alpinen Skilauf gibt es einen direkten Zusammenhang der Verletzungshäufigkeit und –schwere mit der Fahrgeschwindigkeit: während im Slalom 4,9 Verletzungen/1000 Abfahrten auftreten sind es beim Riesenslalom 9,2/1000 Abfahrten, im Super-G 11/1000 Abfahrten und im Abfahrtslauf 17,2/1000 Abfahrten. 36 % aller Verletzungen im alpinen Skilauf betreffen das Kniegelenk. Kreuzbandverletzungen sind bei Frauen im alpinen Skilauf fast doppelt so häufig wie bei Männern. Die Carvingski-Technik

erlaubt es mittlerweile auch muskulär schwächeren Skifahrern höhere Kurvengeschwindigkeiten zu erfahren, was mitunter zu entsprechenden Stürzen führen kann. Die Balancefähigkeit ist ein wichtiger Risikofaktor im alpinen Skilauf. So trainieren viele Profis ihre Balance in der Saisonvorbereitung auf unterschiedlichen Balancemitteln, inklusiver der Slackline.

Im alpinen Skilauf sind bislang keine randomisiert-kontrollierten Studien zum präventiven Einsatz eines Balancetrainings veröffentlicht. Die Lernfähigkeit von Skianfängern kann durch Balancetraining beschleunigt werden.

16.1 Epidemiologie

In der Skisaison 2005/2006 verletzten sich ca. 55.000 alpine Skifahrer so sehr, dass sie einen Arzt aufsuchen mussten [Schulz, 2007]. Der Trend der Unfallanalyse der Saison 2008/2009 ergab zwischen 48.000 und 49.000 deutsche Skifahrer, die sich verletzten. Im Vergleich zur Basissaison 1979/80 ergibt dies einen Verletzungsrückgang von über 50 %. Die Zahl der stationär Behandlungspflichtigen Skifahrer ist mit

etwa 7000 ebenfalls seit mehreren Skisaisons rückläufig. Die Zahl der Skikollisionsunfälle sank von 1,0/1000 Skifahrer in der Skisaison 2006/07 auf 0,85/1000 Skifahrer.

Die Helmtragequote liegt bei erwachsenen, deutschen Skifahrern bei 50 bis 55 % in der Skisaison 2008/09, für Kinder und Jugendliche bis 14 Jahre bei über 90 %. Gerade im alpinen Ski-

Disziplin	Verletzungen		Exposition (Läufe)		Verletzungsrate/1000 Läufe			Relatives Risiko ♂ vs. ♀	Knieverletzungsinzidenz/1000 Läufe			Relatives Risiko ♂ vs. ♀
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	Gesamt		♂	♀	Gesamt	
Abfahrt	25	12	1292	863	19,3	13,9	17,2	1,39	8,5	4,6	7,0	1,84
Super-G	9	5	620	653	14,5	7,7	11,0	1,90	1,6	1,5	1,6	1,05
Riesenslalom	14	5	1090	977	12,8	5,1	9,2	2,51	3,7	4,1	3,9	0,90
Slalom	14	2	1864	1375	7,5	1,5	4,9	5,16	1,1	0,7	0,9	1,48
Gesamt	62	24	4866	3868	12,7	6,2	9,8	2,05	3,7	2,6	3,2	1,43

Tab. 16.1: FIS-Skiweltcupverletzungen (n = 86 bei 8734 Weltcupläufen) [nach Florenes et al., 2009]

sport sind auch katastrophale Verletzungen beschrieben. Eine Zehnjahresanalyse aus Calgary der Jahre 1996 bis 2006 zeigte 196 Patienten mit einem **Injury Severity Score (ISS)** von mehr als 12 [McBeth et al., 2009]. 25 % davon benötigen intensivmedizinische Hilfe.

Erste prospektiv über einen Fragebogen mit Athleteninterviews erfasste Verletzungsdaten zur Epidemiologie von Verletzungen im FIS-Weltcup aus dem Jahre 2007 liegen für die FIS-Weltcuprennen in Kvitfjell und Lenzerheide vor. Dabei wurden alle Verletzungen dokumentiert, die während des Trainings und/oder Wettkampfs auftraten und medizinische Aufmerksamkeit auslösten. Insgesamt wurden 84 Verletzungen bei 260 Athleten unter dieser Prämisse dokumentiert. Damit ergaben sich 32,3 Verletzungen pro 100 Athleten.

Über retrospektive Athletenbefragungen wurden die FIS-Skiweltcupathleten der Skisaisons 2006/07 und 2007/08 betraf [Florenes et al., 2009]. Dabei wurden 191 Verletzungen bei 521 alpinen Skiweltcupfahrern erfasst. Dies entspricht einer Verletzungsrate von 9,8 Verletzungen/1000 Skiläufe. Mit zunehmender Geschwindigkeit der jeweiligen Disziplin nahm auch die Verletzungsrate zu (Tabelle 16.1). So

lag die Gesamtverletzungsrate im Slalom bei 4,9 Verletzungen/1000 Läufe, im Riesenslalom bei 9,2/1000 Läufe, im Super-G bei 11,0/1000 Läufe und im Abfahrtslauf bei 17,2/1000 Läufe.

Am häufigsten war das Kniegelenk mit 36 % Gesamtverletzungen betroffen. Bruce Beynon berichtet über eine Verletzungsrate von 0,78/1000 Skitage für eine vordere Kreuzbandruptur.

Dabei hatten Frauen im alpinen Skisport ein doppelt so hohes Risiko für eine vordere Kreuzbandruptur wie Männer.

Eine Untersuchung der französischen Skinationalmannschaft über 25 Jahre zeigte, dass 28 % der Frauen und 27 % der Männer mindestens eine vordere Kreuzbandverletzung in ihrer Karriere erlitten hatten [Pujol et al., 2007]. Die Verletzungsrate für das vordere Kreuzband lag bei 8,5/100 Skisaisons. Eine erneute Verletzung desselben Kniegelenks trat in 19 % auf, eine Verletzung des kontralateralen Kniegelenks in 31 %. Bei Athleten, die innerhalb der Top 30 des FIS-Weltcup starteten, waren signifikant häufiger vordere Kreuzbandverletzungen aufgetreten als in der Vergleichsgruppe der schlechteren Skirennläufer >Top 30.

Jüngst wurden für die Saisondaten der FIS-Weltcupssaison 2006/07 drei unterschiedliche Wege der Verletzungserfassung geprüft [Florenes et al., 2009]:

- prospektive Erfassung durch medizinisches Personal
- prospektive Erfassung durch technische Delegierte
- retrospektive Athleteninterviews

Dabei wurden insgesamt 100 Verletzungen bei 602 Weltcupathleten erfasst. 91 % wurden dabei über Athleteninterviews erfasst, 47 % über die Registrierung durch medizinisches Personal und 27 % durch die Berichte technischer Delegierter. Nur 20 % aller Verletzungen wurden durch alle drei Verletzungserhebungsverfahren identifiziert. Die Autoren schlussfolgern, dass retrospektive Athleteninterviews im FIS-Skiweltcup die umfassendste Erhebung der Verletzungsraten erlauben.

16.2 Risikofaktoren

Ein wesentlicher Risikofaktor für Verletzungen im alpinen Skilauf ist das **skifahrerische Können**. Je niedriger der skifahrerische Level, desto häufiger treten Ski-assoziierte Verletzungen auf. Eine Metaanalyse für Verletzungen des vorderen Kreuzbands ergab, dass alpine Skianfänger die höchsten Verletzungsraten des vorderen Kreuzbands auch im Sportvergleich zeigten, während erfahren alpine Skifahrer ein deutlich erniedrigtes Risiko für eine vordere Kreuzbandverletzung aufwiesen [Prodromos et al., 2007].

Eine Untersuchung aus der Schweiz konnte nachweisen, dass bei Skianfänger diaphysäre Tibiafrakturen dominieren [Bürkner et Simmen, 2008]. Mit zunehmendem skifahrerischem Können treten dann auch Frakturen der gesamten unteren Extremität in den Vordergrund.

Schulterverletzungen werden in den letzten 30 Jahren zunehmend häufiger im alpinen Skisport, insbesondere aber im Snowboardsport, beobachtet. Während Schulterverletzungen beim alpinen Skiläufer zwischen 4 und 11 % aller Verletzungen und 22 bis 41 % aller Verletzungen der oberen Extremität einnehmen, sind für den Snowboardsport höhere Verletzungsraten bis 16 % der Gesamtverletzungsraten beschrieben [McCall et Safran, 2009]. Neben der Schulter treten an der oberen Extremität insbesondere Verletzungen des Daumens auf [Bachmann et al., 2008]. Die Ruptur des ulnaren Seitenbands, gemeinhin als Skidaumen bezeichnet, führt zu einer Instabilität des Daumengrundgelenks. Dies führt, wenn es nicht adäquat behandelt wird, zu einer Instabilität des Daumengrundgelenks mit propriozeptiven Schwächen.

Auch im alpinen Skisport treten vordere Kreuzbandverletzungen **häufiger bei Frauen als bei Männern** auf. Es konnte sogar ein Einfluss des Menstruationszyklus auf die Verletzungsrate des vorderen Kreuzbands von weiblichen Skifahrerinnen gezeigt werden. So sind Frauen in der präovulatorischen Phase besonders gefährdet eine vordere Kreuzbandverletzung zu erleiden [Ruedl et al., 2009]. Ein orales Kontrazeptivum zeigte keinen präventiven Effekt auf die Verletzungsraten.

Vor Einführung der Carvingski im Jahr 1997/98 wurde eine Verletzungsrate von 1,43 Verletzungen/1000 Skitage in einer österreichischen Studie dokumentiert [Burtscher et al., 2008]. Von 17.914 Skiverletzten erlitten 29,5 % Männer und 53 % Frauen Knieverletzungen. Fünf Jahre später nach Einführung der Carvingski sank die Ge-

samtverletzungsrate um 9 %, während das Verhältnis zuungunsten der Frauen mit erhöhten Verletzungsraten bestehen blieb. Hier zeigte sich insbesondere eine fehlerhafte Skibindungseinstellung als möglicher Risikofaktor für Skiverletzungen.

Eine Kohortenstudie aus Vail in Colorado verglich insgesamt 820 Skifahrer mit rekonstruiertem, vorderem Kreuzband nach vorderer Kreuzbandruptur zwei oder mehr Jahre zuvor [Sterett et al., 2006]. 257 dieser Skifahrer trugen eine Orthese während des Skifahrens, 563 nicht. Es zeigte sich, dass die Verletzungsrate in der Orthesengruppe signifikant niedriger war (4,0 Verletzungen/100 Knie/Saison vs. 8,9 Verletzungen/100 Knie/Saison, $p=0,009$). Daraus ergab sich ein 2,7-fach erhöhtes Risiko für eine erneute Knieverletzung in der Nichtorthesengruppe im Vergleich zur Orthesengruppe.

Die Kniebinnentemperatur mag ein weiterer Faktor sein. Während beim Jogging die intraar-

tikuläre Kniegelenkstemperatur in der Notch von 31,4 °C auf 37,5 °C nach 60 Minuten Aktivität ansteigt, sinkt bei -3 °C Außentemperatur beim alpinen Skilauf die Kniebinnentemperatur von 32,2 °C auf 31,1 °C nach 60 Minuten Skilauf [Becher et al., 2008]. Der Einfluss auf die Verletzungsrate ist jedoch derzeit noch unbestimmt. Möglicherweise ist die **Balancefähigkeit** bei Eliteskifahrern an bestimmten Gelenken sogar eingeschränkt. Eine Untersuchung aus Frankreich verglich sieben Nationalkaderathleten und sieben Regionalkaderathleten bzgl. ihrer Balancefähigkeit im oberen Sprunggelenk mit und ohne Skischuh [Noe et Paillard, 2005]. Während im Skischuh mit und ohne visuelle Kontrolle die Balancefähigkeiten gleich waren, war die Balancefähigkeit ohne Skischuh bei den Nationalkaderathleten sogar schlechter als bei den Regionalkaderathleten. Die Autoren schlussfolgerten, dass insbesondere jene Gruppe von einer propriozeptiven Intervention profitieren könne.

16.3 Verletzungsmechanismen

Eine Fall-Kontroll-Studie untersuchte die Verletzungsmechanismen bei holländischen, alpinen Skiläufern [Bouter et al., 1989]. 84 % der Skisportverletzungen traten auf der Piste auf, 6 % im oder am Skilift. Schlechte Pistenverhältnisse waren in 30 % Unfallursache, ein Verlust der Balance in 24 %. Diejenigen Skifahrer, die eine Ski-Verletzung fürchteten hatten mit einer Odds ratio von 0,6 ein signifikant erniedrigtes Verletzungsrisiko. Eine vereiste Piste erhöhte das Verletzungsrisiko ebenfalls um 40 % signifikant (Odds ratio 1,4).

62 % aller Unterschenkelfrakturen im alpinen Skisport entstehen durch Rotationstraumen [Bürkner et Simmen, 2008]. In 59 % dieser Fälle öffnete die Skibindung nicht. Insbesondere wenn die Skibindung nicht öffnet, gibt es einen

Trend hin zu komplexeren Frakturen der proximalen und distalen Epiphyse.

Für die vordere Kreuzbandverletzung im alpinen Skisport sind drei wesentliche Unfallmechanismen herausgearbeitet worden [Bambach et al., 2008]:

- Valgus-Außenrotationstrauma
- Flexions-Innenrotationstrauma
- Vordere Schublade durch den Skischuh unterstützt

Das **Valgus-Außenrotationstrauma** tritt typischerweise beim Vorwärtssturz auf. Der Skifahrer verkantet auf der Innenkante mit Abduktion und Außenrotation des Unterschenkels. Dies kann auch beim Verfangen der Skispitze im Schnee auftreten und führt häufig zur Verletzung des medialen Kollateralbands, gefolgt vom vor-

deren Kreuzband mit z.T. begleitender Knochenkontusion (**bone bruise**) [Johnson, 1988].

Das sogenannte „phantom foot phenomen“ tritt bei Rücklage mit Gewichtsverlagerung nach hinten und Verschneiden des Skis auf. Es führt zu einer forcierten Innenrotation mit Hyperflexion des Kniegelenks, was zu isolierten Verletzungen des vorderen Kreuzbands führen kann. Dieser Verletzungsmechanismus wird insbesondere durch die taillierten Carvingski unterstützt und ist vermutlich derzeit der Hauptunfallmechanismus beim Freizeitskifahrer im alpinen Skisport.

16.4 Prävention

Bislang existieren keine randomisiert-kontrollierten Studien im alpinen Skilauf, die den Einfluss eines Balancetrainings auf die Verletzungsraten untersucht. Die zuvor genannten epidemiologischen Daten belegen die hohe Verletzungsrate des Kniegelenks, insbesondere des vorderen Kreuzbands. In Analogie zu klinischen Ergebnissen, die beispielsweise im Fußball für die Prävention der vorderen Kreuzbandverletzung durch ein Balancetraining gewonnen wurden ist nicht auszuschließen, dass auch im alpinen Skisport ein sportartspezifisches Balancetraining das Verletzungsrisiko senken kann. Dennoch stehen derzeit randomisiert-kontrollierte Studiendaten dazu nicht zur Verfügung.

Die Balancefähigkeit könnte dabei mit unterschiedlichen Methoden bestimmt werden. Kürzlich wurde das MFT S3-Check System geprüft [Raschner et al., 2008]. Dabei zeigte sich eine hohe Objektivität und Reliabilität.

Die durch den Skischuh unterstützte „vordere Schublade“ tritt bei Rückwärtsstürzen auf, z.B. nach rückwärtiger Landung nach einem Sprung. Die Spitze des Skischuhs drückt bei derartigen Unfällen die Tibia nach ventral, was zur vorderen Schublade und Kreuzbandstress führt. Dieser Verletzungsmechanismus tritt insbesondere bei Freestyle und Skirennläufern nach rückwärtiger Landung bei Sturz auf [Johnson et Pope, 1977; Ettliger et al., 1995; Natri et al., 1999].

Im Vergleich von Normalpersonen mit alpinen Skirennläufern zeigte sich eine signifikant verbesserte Balancefähigkeit bei den alpinen Skirennläufern im MFT S3-Check.

Ein propriozeptives Training wurde bezüglich der Lernfähigkeit bei Skianfängern geprüft [Malliou et al., 2004]. Dabei wurden insgesamt 30 Sportstudenten ohne skifahrerische Erfahrung in zwei Gruppen randomisiert. Die Kontrollgruppe erhielt 2 Wochen lang 2 bis 4 h/Tag einen Skikurs. Die Interventionsgruppe führte zusätzlich ein Indoorbalancetraining im Skischuh über 20 Minuten jeden zweiten Nachmittag durch. Beide Gruppen verbesserten ihre Gesamtbalance. Die Interventionsgruppe konnte zusätzlich ihre Fähigkeiten im Abfahrts-Agility-Test signifikant verbessern (Abbildungen 16.1 und 16.2).



Abb. 16.1: Sportartspezifisches Balancetraining im Carving-Skischuh auf der MFT-Multidisk



Abb. 16.2: Sportartspezifisches Carving-Training auf Stabilitätstrainern

Literatur

Bachmann C, Schlegel C, Bachmann S. Shoulder and arm injuries in alpine ski racing. A survey on the frequency of these injuries with athletes of the Swiss Ski cadres and the regional cadres. *Praxis (Bern)* 2008;97(22):1169-77.

Bambach S, Kelm J, Hopp S. Skisport. Aktuelle Entwicklung – Verletzungsmuster – Prävention. *Sportverletzung Sportschaden* 2008;22:25-30.

Becher C, Springer J, Feil S, Cerulli G, Paessler HH. Intraarticular temperature of the knee in sports – an in-vivo study of jogging and alpine skiing. *BMC Musculoskelet Disord* 2008;9:46.

Bergström KA, Brandseth K, Fretheim S, Tvilde K, Ekeland A. Back injuries and pain in adolescents attending a ski high school. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004;12:80-5.

Bouter LM, Knipschild PG, Volovics A. Personal and environmental factors in relation to injury risk in downhill skiing. *Int J Sports Med* 1989;10(4):298-301.

Burtschner M, Gatterer H, Flatz M, Sommersacher R, Woldrich T, Ruedl G, Hotter B, Lee A., Nachbauer W. Effects of modern ski equipment on the overall injury rate and the pattern of injury location in Alpine skiing. *Clin J Sports Med* 2008;18(4):355-7.

Ekeland A, Holtmoen A, Lystad H. Lower extremity equipment-related injuries in Alpine recreational skiers. *Am J Sports Med* 1993;21:201-5.

Ettlinger CF, Johnson RJ, Shealy JE. A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in Alpine skiing. *Am J Sports Med* 1995;23:531-7.

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(13):973-8.

Florenes TW, Nordsletten L, Heir S, Bahr R. Recording injuries among World Cup skiers and snowboarders: a methodological study. *Scand J Med Sci Sports* 2009 Dec 18

Hagel BE, Pless IB, Goulet C, Platt RW, Robitaille Y. Effectiveness of helmets in skiers and snowboarders: case-control and case crossover study. *Br Med J* 2005;330:281.

- Hauser W. Experimental prospective skiing injury study. In: Johnson RJ, Mote CD, Binet MH (Editors) *Skiing Trauma and Safety: Seventh International Symposium*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1989, 18-24.
- Jørgensen U, Fredensborg T, Haraszuk JP, Crone KL. Reduction of injuries in downhill skiing by use of an instructional ski-video: a prospective randomised intervention study. *Knee Surg Sports Traumatol* 1998;6:194-200.
- Johnson RJ, Pope MH. Tibial shaft fractures in skiing. *Am J Sports Med* 1977;5:49-62.
- Johnson RJ. Prevention of cruciate ligament injuries. In: Feagin JA (Editor) *The Cruciate Ligaments*. Churchill Livingstone, New York, 1988, 349-56.
- Macnab AJ, Smith T, Gagnon FA, Macnab M. Effect of helmet wear on the incidence of head/face and cervical spine injuries in young skiers and snowboarders. *Injury Prevention* 2002;8:324-7.
- Malliou P, Amoutzas K, Theodosiou A, Gioftsidou A, Mantis K, Pylanidis T, Kioumourtoglou E. Proprioceptive training for learning downhill skiing. *Percept Mot Skills* 2004;99(1):149-54.
- McBeth PB, Ball CG, Mulloy RH, Kirkpatrick AW. Alpine ski and snowboarding traumatic injuries: incidence, injury patterns, and risk factors for 10 years. *Am J Surg* 2009;197(5):560-3.
- McCall D, Safran MR. Injuries about the shoulder in skiing and snowboarding. *Br J Sports Med* 2009;43(13):987-92.
- Natri A, Beynnon BD, Ettliger CF, Johnson RJ, Shealy JE. Alpine ski bindings and injuries: current findings. *Sports Medicine* 1999;28:35-48.
- Noe F, Paillard T. Is postural control affected by expertise in alpine skiing? *Br J Sports Med* 2005;39(11):835-7.
- Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy* 2007;23(12):1320-25.
- 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(7):1070-4.
- Raschner C, Lembert S, Platzer JP, Patterson C, Hilden T, Lutz M. S3-Check – evaluation and generation of normal values of a test for balance ability and postural stability. *Sportverletz Sportschaden* 2008;22(2):100-5.
- Ruedl G, Ploner P, Linortner I, Schranz A, Fink C, Sommersacher R, Pocecco E, Nachbauer W, Burtcher M. Are oral contraceptive use and menstrual cycle phase related to anterior cruciate ligament injury risk in female recreational skiers? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;17(9):1065-9.
- Schulz D. Unfälle und Verletzungen im alpinen Skisport. *Zahlen und Trends der Saison 2005/2006*. Auswertungsstelle für Skiunfälle der ARAG Sportversicherung (ASU Ski). 2007.
- 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(10):1581-5.
- Sulheim S, Holme I, Ekeland A, Bahr R. Helmet use and risk of head injuries in Alpine skiers and snowboarders. *J Am Med Assoc* 2006;295:919-24.