



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fakultät für Medizin

Verletzungs- und Krankheitsmanagement im alpinen Nachwuchsskirennlauf: Implementierung einer Onlinedatenbank zur Belastbarkeitssicherung

Carolin Hildebrandt

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Wolfgang Weber

Prüfer\*innen der Dissertation:

1. Prof. Dr. Renate M. Oberhoffer-Fritz
2. Prof. Dr. Henning Wackerhage

Die Dissertation wurde am 03.11.2021 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 12.04.2022 angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>9</b>
<b>I. Einleitung</b> .....	<b>10</b>
I.1 Verletzungsprävention im alpinen Skirennlauf: aktueller Forschungsstand .....	11
I.2. Verletzungsprävention im alpinen Skirennlauf: Belastbarkeitssicherung.....	14
I.3. Zielstellung.....	15
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>16</b>
2.1. Studiendesign.....	16
2.2. Studienteilnehmer .....	16
2.3. Datensammlung .....	17
2.3.1 Verletzungs- und Trainingsdatenbank.....	17
2.3.2. Verletzungen.....	19
2.3.3. Krankheiten .....	21
2.4 Statistische Auswertungen .....	22
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>23</b>
3.1. Trainingsdatenbank .....	23
3.2. Verletzungsdatenbank .....	25
3.2.1 <i>Traumatische Verletzungen</i> .....	27
3.2.2. Überlastungsverletzungen.....	29
3.2.3. Krankheiten .....	30
3.3 Workload.....	30
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>33</b>
4.1 Traumatische Verletzungen .....	34

4.2 Überlastungsverletzungen .....	35
4.3. Krankheiten .....	37
4.4. Zusammenhang der Trainingscharakteristik und aufgetretene Gesundheitsprobleme	38
<b>5. Ausblick .....</b>	<b>40</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>41</b>
<b>7. Danksagung .....</b>	<b>46</b>
<b>8. Publikationen.....</b>	<b>47</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

IOC= Internationales Olympisches Komitee

M= Mittelwert

SD= Standardabweichung

RPE= subjektive Belastung

ACL= vorderes Kreuzband

MRT= Magnetresonanztomographie



## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Studien zu Verletzungen bei Nachwuchsathleten im alpinen Skirennsport.....	13
Tabelle 2: Anthropometrische Merkmale der Athleten .....	16
Tabelle 3: Trainingscharakteristik des gesamten Studienzeitraumes (Hildebrandt et al., 2021) .....	23
Tabelle 4: Schweregrad von Verletzungen und Krankheiten (Gesamtanzahl) bezogen auf Trainingsausfalltage, (n= Anzahl Gesundheitsprobleme) .....	26
Tabelle 5: Traumatische Verletzungen nach Lokalisation und Art der Verletzung (Hildebrandt et al., 2021) .....	27
Tabelle 6: Typische traumatische Verletzungen in Abhängigkeit der Ursache (Hildebrandt et al.,2017).....	29

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Selektionsprozess im alpinen Skirennsport in Österreich (Raschner et al., 2015) .....	11
Abbildung 2: Beispiel einer Dokumentation der Trainingseinheit (Konditionstraining).....	19
Abbildung 3: Beispiel einer Dokumentation einer traumatischen Verletzung.....	20
Abbildung 4: Beispiel einer Dokumentation einer Überlastungsverletzung.....	21
Abbildung 5: Beispiel einer Dokumentation einer Krankheit.....	22
Abbildung 6: Durchschnittliches Gesamttrainingsvolumen pro Woche.....	24
Abbildung 7: durchschnittliche Gesamtintensität (basierend auf dem RPE der Trainer) pro Woche.....	25
Abbildung 8: prozentuale Häufigkeit aufgetretener Gesundheitsprobleme während des gesamten Studienzeitraumes.....	26
Abbildung 9: T2 gewichtetes MRI koronare und sagittale Schichtung: anterolaterale Tibiakopfimpression ohne Band- und Meniskusverletzungen (Hildebrandt et al., 2017).....	28
Abbildung 10: Anzahl der wöchentlichen traumatischen Verletzungen in Relation zum Workload.....	31
Abbildung 11: Anzahl der wöchentlichen Erkrankungen in Relation zum akut:chronisches Workload.....	32

Die Ergebnisse der vorliegenden Dissertation wurden in den folgenden 3 Publikationen veröffentlicht. Die direkten Zitate aus den jeweiligen Veröffentlichungen wurden mittels Fußnoten entsprechend erkenntlich gemacht. Im Fokus der vorliegenden Doktorarbeit stehen die Ergebnisse der aktuellen Publikation „Training load characteristics and injury and illness risk identification in elite youth ski racing: A prospective study“.

1. **Hildebrandt C.**; Oberhoffer R.; Raschner C.; Müller E.; Fink C.; Steidl-Müller L. Training load characteristics and injury and illness risk identification in elite youth ski racing: A prospective study. *Journal of Sport and Health Science* **2021**,10, 230-236.
2. Müller L.; **Hildebrandt C.**; Müller E.; Oberhoffer R.; Raschner C. Injuries and illnesses in a cohort of elite youth alpine ski racers and the influence of biological maturity status and relative age: A two-season prospective study. *Open Access Journal of Sports Medicine* **2017**, 8, 113–122.
3. **Hildebrandt C.**; Müller L.; Oberhoffer R.; Fink C.; Müller E.; Raschner C. Management von Verletzungen bei Nachwuchsathleten am Beispiel des alpinen Skirennsports. *Swiss Sports and Exercise Medicine* **2017**, 65, 24-28.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Doktorarbeit das generische Maskulinum verwendet und auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Alle Personenbezeichnungen umfassen gleichermaßen beide Geschlechter.

## Zusammenfassung

Der alpine Skirennlauf erfreut sich größter Beliebtheit, gilt aber auch als ein Sport mit einem hohen Risiko an Verletzungen. Um einen langfristigen Leistungsaufbau gewährleisten zu können, ist die Belastbarkeitssicherung eine zwingende Voraussetzung. Die langfristige, prospektive Erhebung modifizierbarer Risikofaktoren im Kontext auftretender Gesundheitsprobleme junger Skirennläufer spielt eine wesentliche Rolle in der Präventionsforschung. Mit der Implementierung einer Verletzungs- und Trainingsdatenbank an einer Skiinternatsschule wurde die Grundlage geschaffen, um die Prävalenz und Inzidenz von traumatischen Verletzungen, Überlastungsverletzungen und Erkrankungen bei den Athleten zu erheben. Die gleichzeitige Auswertung der Trainingscharakteristik lieferte Hinweise auf modifizierbare Risikofaktoren. 91 alpine Skirennläufer im Alter von 9-14 Jahren wurden über einen Zeitraum von einer Saison prospektiv beobachtet. Alle aufgetretenen Gesundheitsprobleme und die Trainingscharakteristik wurden täglich erhoben. Die traumatischen Verletzungen stellten mit 41 Verletzungen und einer Inzidenz von 1,1/1000 Trainingsstunden den größten Anteil an Verletzungen dar. Dabei war das Knie mit 39% am häufigsten betroffen. Eine hohe Rate an knöchernen Verletzungen ohne Beteiligung ligamentärer Strukturen war charakteristisch. Im Vergleich zu den traumatischen Verletzungen zeigte sich mit einer Inzidenz von 0,3/1000 Trainingsstunden eine vergleichsweise niedrige Rate an Überlastungsverletzungen, wobei auch hier das Knie die häufigste Entität war. Neben den Verletzungen führten krankheitsbedingte Ausfälle mit einer Inzidenz von 3,4/1000 Trainingsstunden zu Trainingsausfällen. Gastrointestinale Probleme mit 48,5 % und Erkrankungen im Bereich Luftwege/HNO mit 40,3% stellten die häufigsten Diagnosen im Bereich Krankheiten dar. Das wöchentliche Trainingsvolumen und die Trainingsintensität stellten keinen signifikanten Risikofaktor für traumatische Verletzungen und Überlastungsverletzungen dar. Die Trainingsintensität stellte einen Risikofaktor für gehäufte Erkrankungen in der gleichen Woche dar ( $\beta=0,348$ ;  $p=0,044$ ;  $R^2=0,121$ ), das Trainingsvolumen repräsentierte einen Risikofaktor für Erkrankungen in der Folgewoche ( $\beta=0,397$ ;  $p=0,027$ ;  $R^2=0,157$ ). Die Implementierung der Datenbank war eine wichtige Voraussetzung zur prospektiven Erhebung sportmedizinischer Kenndaten. Auf Grund der niedrigen Rate an Überlastungsverletzungen ist die wissenschaftliche Evidenz für die postulierten Zusammenhänge zur Trainingscharakteristik begrenzt. In Übereinstimmung mit Weltcupathleten war unabhängig von der Verletzungsart das Knie das am häufigsten betroffene Gelenk und sollte im Sinne einer Prävention berücksichtigt werden. Eine progressive Steigerung des Trainings nach ferienbedingten Trainingspausen muss beachtet werden, um vorübergehende Immunsuppressionen mit konsekutiven Erkrankungen zu minimieren.

## Abstract

Alpine skiing is a popular sport among young athletes but also carries a high risk of traumatic and overuse injuries. To support a long-term fundamental basis for a future professional career, the amount of appropriate training needs to be prospectively evaluated in the context of health problems and modifiable risk factors. Therefore, an injury and training database was developed to record the occurrence of traumatic injuries, overuse injuries and illnesses. 91 elite youth ski racers aged between 9-14 years were prospectively recorded over a period of one season. On a daily basis, the trainer recorded all health problems and the training characteristic. Traumatic injuries represented the highest injury rate with an incidence of 1.1/1000 hours of training. The knee was mostly affected (39.0 %) and a high rate of injuries including the bone without affecting ligaments were common. In contrast to the traumatic injuries, a relatively low number of overuse injuries with an incidence of 0.3/1000 hours of training were recorded, mainly affecting the knee. Next to injuries, illnesses were causative for absence days of training with an incidence of 3.4/1000 hours of training. Most illnesses consisted of gastrointestinal problems (48.5%) and problems related to throat, nose and ear (40.8%). The weekly training volume and training intensity did not represent a significant risk factor for traumatic and overuse injuries. The training intensity was found to be a significant risk factor for illnesses in the same week ( $\beta=0.348$ ;  $p=0.044$ ;  $R^2=0.121$ ), whereas training volume represents a risk factor for illnesses in the following week ( $\beta=0.397$ ;  $p=0.027$ ;  $R^2=0.157$ ). The implementation of the injury and training data base was an important basis to prospectively record data in the context of sports medicine. The general low incidence of injuries limits the interpretation of identifying modifiable risk factors. As it was found for world-cup athletes, the knee was most frequently affected body part, therefore injury prevention programs should focus on the knee. Ensuring appropriate progression of training load, especially following periods with less training due to holidays, must be considered in order to reduce immunosuppression and therefore a high rate of illnesses.

## I. Einleitung

Die gesellschaftliche Bedeutung des Alpinen Skirennsports ist in den alpinen Regionen sehr hoch. Dieser gilt jedoch als eine Sportart mit einem hohen Verletzungsrisiko (Spörri et al., 2017). Vom talentierten Nachwuchsathleten hin zum Spitzensportler gilt es einen langen Weg mit hohen Beanspruchungen und verschiedenen Selektionsprozessen zu bewältigen. Die Abbildung I zeigt exemplarisch den Selektionsprozess im alpinen Skirennsport in Österreich (Raschner et al., 2015). Bereits im Alter von 10 Jahren beginnt die erste Selektionsphase eines Nachwuchsskiathleten. Dabei sind die Anforderungen an die Sportmedizin insbesondere im Nachwuchsleistungssport zum Teil mit nicht konfliktfreien Erwartungen verbunden (Emrich 2004). Zum einen muss durch ein sportartspezifisches Training stetig eine Leistungssteigerung erreicht werden, zum anderen steht die langfristige Wahrung der Gesundheit der Athleten im Vordergrund. Frühzeitige, sportartspezifische Belastungen und kontinuierliche Steigerungen von Umfang und Intensität im Training, stellen erhöhte Beanspruchungen an das Stütz-, und Bewegungssystem der jungen Athleten dar. Eine Studie von Malisoux et al., (2013) belegte den Zusammenhang einer hohen Trainingsintensität und dem gehäuftem Auftreten von Verletzungen bei jungen Nachwuchsathleten. In einem Konsensus Statement des Internationalen Olympischen Komitees (IOC) wurde ebenfalls auf eine Zunahme von Überlastungsproblemen und traumatischen Verletzungen bei jungen Nachwuchsleistungssportlern/Innen hingewiesen (Engebretsen et al., 2010). Zudem liegen in der Literatur Hinweise vor, dass es durch eine frühe Spezialisierung im Sport zu einem erhöhten Risiko von Überlastungen und akuten Verletzungen kommt (Petersen et al., 2020). Die Gefährdung der gesundheitlichen Entwicklung junger Sportler ist sowohl mit negativen Langzeitfolgen, einer vermehrten Dropout-Rate, als auch hohen rehabilitativen Kosten verbunden (Kristiansen 2017). Durch Verletzungen und Überlastungen entstehende Diskontinuitäten im Entwicklungsprozess müssen frühzeitig vorgebeugt werden (Maffulli et al., 2010). Die Sicherung der sportlichen Belastbarkeit ist eine zwingende Voraussetzung für einen erfolgreichen langfristigen Leistungsaufbau. Um die internationalen Erfolge der jungen Skirennläufer auch zukünftig zu gewährleisten, sind Schulen mit sportlichem Schwerpunkt ein wesentlicher Bestandteil. Gerade im Nachwuchssport werden Bildungseinrichtungen, in denen es den Athleten ermöglicht wird, Spitzensport und schulische Ausbildung zu vereinen, von immer größerer Bedeutung, um die hohe Doppelbelastung von Ausbildung und Leistungssport zu minimieren. Eine weltweit renommierte Schule ist die österreichische Internatsschule für Nachwuchsskisportler in Tirol, die eine Ausführung von Leistungssport bei gleichzeitiger schulischer Ausbildung garantiert. Insbesondere in Grenzbereichen von physischer und

psychischer Beanspruchung ist eine individuell optimierte Betreuung von hoher Relevanz, wobei im Rahmen der dualen Ausbildung ein dauerhaftes Missverhältnis zwischen körperlicher Belastbarkeit und Belastung vermieden werden muss. Eine regelmäßige Dokumentation von Trainingsbelastungen und auftretenden gesundheitlichen Problemen ist im Sinne einer frühen Prävention von großer Bedeutung.

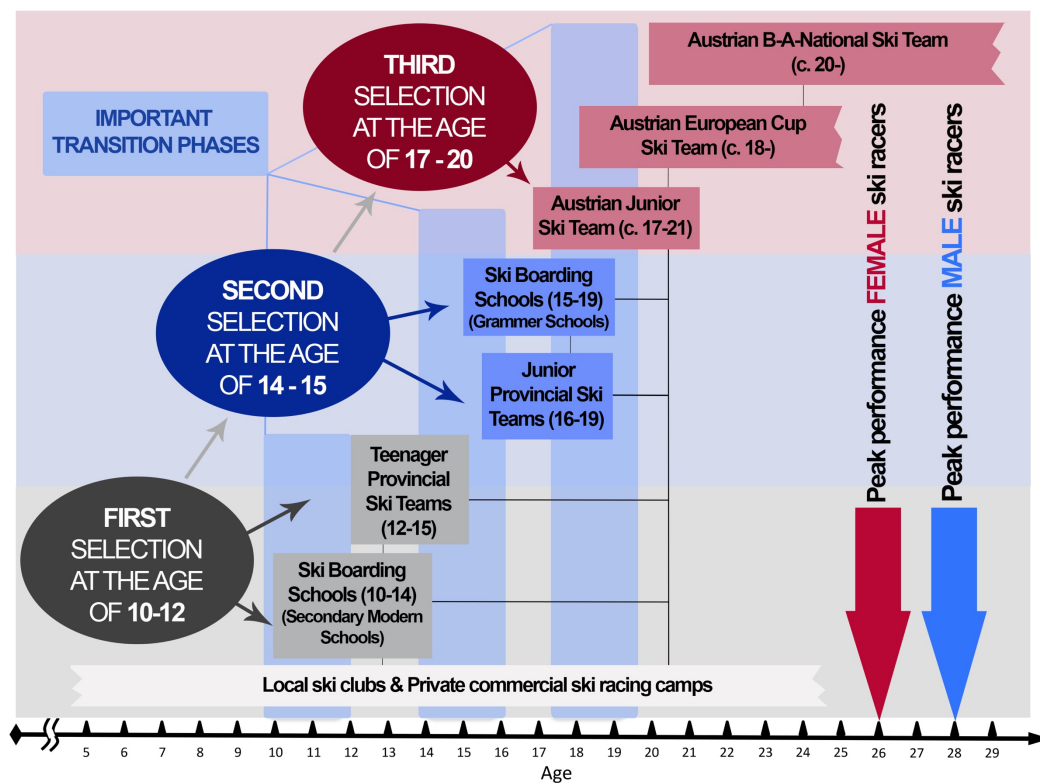


Abbildung 1: Selektionsprozess im alpinen Skirennsport in Österreich (Raschner et al., 2015)

## 1.1 Verletzungsprävention im alpinen Skirennlauf: aktueller Forschungsstand

Im alpinen Skirennlauf, mit einer Vielzahl an leistungsbestimmenden Parametern, ist eine Abstimmung der Belastungsanforderungen der jungen Athleten von zentraler Bedeutung, um gesundheitliche Einschränkungen zu vermeiden. Die hohen Leistungsanforderungen an das Stütz-, und Bewegungssystem im alpinen Skirennsport sind bereits im Nachwuchsbereich zu finden (Spörri et al., 2017). Durch Entwicklungen im Materialsektor kam es zu Änderungen im skitechnischen und konditionellen Anforderungsprofil. Aggressives Skimaterial und Schneeaufgaben, enge Kurvenradien und dadurch bedingt hohe extern einwirkende Kräfte stellen anspruchsvolle konditionelle und koordinative Anforderungen an die Athleten/Innen

(Neumayer et al., 2003). Diese Anforderungen bedingen häufig ein frühzeitiges intensives sportartspezifisches Training. Epidemiologische Studien bestätigen eine hohe Inzidenz an Verletzungen im alpinen Skirennsport bei Weltcupathleten, sowie im Nachwuchsskirennlauf (Flørenes et al., 2009, Flørenes et al., 2011, Jordan et al., 2017, Hildebrandt et al., 2013). Eine Übersicht zu wissenschaftlichen Studien über Verletzungen im alpinen Skirennlauf bei Nachwuchsathleten zeigt Tabelle I. Dabei liegt der Fokus seit einigen Jahren hauptsächlich auf der Prävention von traumatischen Verletzungen, insbesondere der vorderen Kreuzbandruptur, die eine häufige Verletzung im alpinen Skirennlauf darstellt (Raschner et al., 2012, Westin et al., 2013, Jordan et al., 2017). Aktuelle Daten belegen jedoch, dass die Überlastungsproblematiken insbesondere im Rücken- und Kniebereich ebenfalls ein zentrales Problem im Nachwuchssport generell (Brenner et al., 2007), sowie im alpinen Skirennsport im Speziellen darstellen (Hildebrandt et al., 2013). Steffen et al. (2010) stellten die Notwendigkeit heraus, die bis dato fehlende Information der Überlastungsrisiken bei Nachwuchshochleistungssportlern zu evaluieren. Ein Vier-Stufenmodell zur Untersuchung präventiver Maßnahmen skizziert dabei das Vorgehen evidenzbasierter Erforschung von sportartspezifischen Verletzungen (van Mechelen et al., 1992). Dieses gilt bis heute als Basismodell. Nach Evaluierung der Epidemiologie der Verletzungen im ersten Schritt müssen im Rahmen der Unfallforschung die Ursachen der Verletzungsmechanismen erhoben werden bevor in einem weiteren Schritt gezielte Präventionsmaßnahmen ergriffen werden können. Basierend darauf kann in einem letzten Schritt die Wirksamkeit der Prävention re-evaluiert werden. In Anlehnung an Bahr und Krosshaug (2005) sind Verletzungsmechanismen stets eine Interaktion multifaktorieller Ursachen und sollten nie losgelöst betrachtet werden. Insbesondere im Nachwuchsleistungssport sind neben der Erhebung nicht-modifizierbarer Risikofaktoren wie Geschlecht, Anatomie und Alter vor allem modifizierbare Risikofaktoren wie beispielsweise Trainingsbelastungen von großer Relevanz. Epidemiologische Studien haben gezeigt, dass frühzeitige Interventionen modifizierbarer Risikofaktoren bei jungen Nachwuchsathlet zu einer verringerten Verletzungsanfälligkeit führen (Carter et al., 2011, Jonesd et al., 2017). Auch Fröhner (2009) weist auf die Wichtigkeit der Evaluierung exogen bedingter Risikofaktoren wie Trainingsquantität (Umfang, Intensität, Dichte) und Trainingsqualität (Regeneration, Belastungssprünge) zur Verminderung von Belastbarkeitsstörungen hin. Im Rahmen einer gezielten Verletzungsprävention gilt es zu klären, ob ein möglicher Zusammenhang der Belastungsumfänge und Intensitäten, sowie den erhöhten Verletzungsrisiken besteht. Insbesondere eine individuelle Analyse von Trainingsdaten im Kontext von aufgetreten Verletzungen und Überlastungen scheint von



zentraler Bedeutung bei der Sicherung eines erfolgreichen langfristigen Leistungsaufbaus der Athleten. Bis dato fehlen jedoch bedürfnisgerechte Möglichkeiten einer vollständigen Trainingsdokumentation und damit einhergehend Informationen über Trainingsbelastungen und auftretenden Verletzungen.

*Tabelle 1: Studien zu Verletzungen bei Nachwuchsathleten im alpinen Skirennsport*

<b>Author</b>	<b>Studiengruppe</b>	<b>Studienzeitraum</b>	<b>Hauptergebnisse</b>
Bergstrøm 2001	Juniorenweltmeisterschaft, Alter: 15-19 Jahre (n= 998)	Nachwuchsathleten Ski WM 1995	Verletzungsinzidenz von 4 pro 1000 Läufen, höhere Verletzungsrate bei weiblichen Athleten im Vergleich zu männlichen, höchste Verletzungsrate bei Downhillbewerben
Hildebrandt et al., 2013	Skiinternatsschüler, Alter: 15-18 Jahre, (n= 104)	Mai 2010-Oktober 2011	Höheres Verletzungsrisiko traumatische Verletzung im Winter (RR 1.39), höheres Risiko für Überlastungen im Sommer (RR1.46), keine Geschlechtsunterschiede
Müller et al., 2017	Skiinternatsschüler, Alter: 9-14 Jahre (n= 82)	September 2014- April 2016	Niedrige Inzidenz für traumatische Verletzungen (0,86/1000h Training) und Überlastungen (0,28/1000h Training), keine Geschlechtsunterschiede
Raschner et al., 2012	High school ski athletes Age: 14-19years (n= 370)	Periode 1996-2006	15% der Athleten mit einer VKB-Ruptur, höheres Risiko bei weiblichen Athleten (RR 2,3)
Schoeb et al., 2020	Jugendskirennläufer, Alter 12-14 Jahre, (n=155)	12 Monate	Höhere Prävalenz bei weiblichen Athleten für Überlastungen und traumatischen Verletzungen, höchste Verletzungsrate geschlechtsunabhängig während Wettkampfsaison
Westin 2013	Skiinternatsschüler Durchschnittsalter: 16.7 Jahre (n= 431)	September 2006- Mai 2011	Verletzungsinzidenz 1,7/1000h Training, keine Geschlechtsunterschiede

## **1.2. Verletzungsprävention im alpinen Skirennlauf: Belastbarkeitssicherung**

Der Zusammenhang von Trainingsumfängen und dem Verletzungs- und Überlastungsrisiko, sowie Infektanfälligkeiten bei Nachwuchsathleten konnte bereits in einigen Sommersportarten nachgewiesen werden (Drew et al., 2016, Gabbett et al., 2014, Huxley et al., 2014, Jayanthi et al., 2015, Malisoux et al., 2013). Bis dato fehlen jedoch wissenschaftliche Untersuchungen im Bereich alpiner Skirennsport, wenngleich dieser als eine Risikosportart für Verletzungen einzustufen ist (Spörri et al., 2017). Insbesondere im Nachwuchsleistungssport gilt es, eine gute Abwägung zwischen Belastungsumfängen und Intensitäten zu finden. Um diese Prozesse der Belastung und der daraus folgenden Beanspruchung des Bewegungsapparates im alpinen Skirennsport zu verstehen, müssen die Inhalte, Umfänge und Intensitäten des Trainings langfristig und prospektiv dokumentiert werden. Bei gleichzeitiger Erhebung von sportmedizinischen Daten im Bereich traumatischer Verletzungen, Überlastungsproblemen sowie Infekt- und Krankheitshäufigkeiten der Nachwuchsathleten, können Rückschlüsse über mögliche sportartspezifische Zusammenhänge getroffen werden. Um den zum Teil nicht konfliktfreien Anforderungen an die Sportmedizin mit einer Balance zwischen Leistungssteigerung und der Verletzungsprävention gerecht zu werden, bedarf es einer guten Belastungssteuerung. Das Verhältnis der akuten zur chronischen Trainingsbelastung (acute:chronic workload) gilt dabei als valider Marker um das Risiko von Verletzungen abzuschätzen (Hulin et al., 2014, Malone et al., 2016, Murray et al., 2016). Basierend auf den Ergebnissen von Gabbett et al., 2004 kann das Verletzungsrisiko in 2 Bereiche eingeteilt werden: dem sogenannten „sweet spot“ mit einem acute:chronic workload von 0,8-1,3, bei welchem das Verletzungsrisiko sinkt sowie einer „danger zone“ mit Werten über 1,5, bei welchem das Verletzungsrisiko steigt. Voraussetzung für eine lückenlose Dokumentationsmöglichkeit seitens der Trainer ist die Implementation einer Verletzungs- und Trainingsdatenbank. Nur in Bezug zu langfristig erhobenen Parametern können grundlegende Aussagen zu individuellen Entwicklungen und dem Zusammenhang zu möglichen Fehlbelastungsfolgen getroffen werden.

### **I.3. Zielstellung**

Basierend auf dem aktuellen Stand der Forschung ergaben sich für die vorliegende Doktorarbeit folgende Zielstellungen:

1. Die Entwicklung und Implementierung einer bedürfnisgerechten, sportartspezifischen Trainings- und Verletzungsdatenbank zur Erhebung trainingsrelevanter Parameter, sowie der prospektiven Erhebung von Verletzungen, Überlastungen und Krankheiten bei jungen Athleten im alpinen Skirennsport.
2. Die Ausarbeitung des kausal wissenschaftlichen Zusammenhanges von Trainingsbelastungen (Volumen und Intensität) und auftretenden Verletzungen und Erkrankungen der Athleten.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Studiendesign

Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine einjährige prospektive Datenerhebung mit Schülern einer österreichischen Skiinternatsschule in Tirol. Sowohl die Schüler, als auch die Trainer und Eltern wurden über das Studienvorhaben in Form eines Präsenzvortrages informiert. Alle Eltern erteilten die schriftliche Genehmigung zur Teilnahme ihrer Kinder an der Studie. Sie wurden explizit darauf hingewiesen, dass Ihnen bei Nichtteilnahme keine Nachteile entstehen würden. Die Studie wurde nach Prüfung inhaltlicher und ethischer Aspekt vom Review Board der Universität Innsbruck, Fakultät für Sportwissenschaft genehmigt.

### 2.2. Studienteilnehmer

Die Skiinternatsschule betreut jährlich ca. 80-95 weibliche und männlich Athleten im Bereich alpiner Skirennsport. Die Aufnahmekriterien basieren dabei auf einem Selektionsverfahren. Der international ausgeschriebene Aufnahmetest besteht aus der Bewertung der Skifahrtechnik und den sportmotorischen Ergebnissen einer vorgegebenen Testbatterie. Die Organisationsstruktur ermöglicht ein Training in Kleingruppen von 6-10 Sportlern, wobei jede Gruppe ihren zugehörigen festen Trainer und Co-Trainer hat. Zu Beginn der Studie waren 92 Athleten (53 männlich, 39 weiblich) registriert, ein Athlet verlies die Schule während des Studienzeitraumes. Alle Athleten waren zu Beginn der Studie verletzungsfrei. Die anthropometrischen Merkmale können der Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Anthropometrische Merkmale der Athleten

	männlich (n=52)	weiblich (n=39)
	M ± SD	M ± SD
Alter [Jahre]	12.1 ± 1.3	12.0 ± 1.3
Körpergröße [cm]	152.6 ± 9.8	152.4 ± 10.0
Körpergewicht [kg]	42.7 ± 8.8	43.5 ± 9.7
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	17.9 ± 2.0	18.5 ± 2.3

## **2.3. Datensammlung**

Die Erhebung der Trainings- und Verletzungsdaten erfolgte prospektiv vom Beginn der Schulzeit in der ersten Septemberwoche 2018 bis zum Ende der Trainingszeit Ende Mai 2019. Die Auswertung erfolgte auf einer wöchentlichen Basis, mit Ausnahme der einwöchigen Ferien im Dezember, Februar und April, sodass insgesamt 32 Wochen inkludiert wurden. Zur Auswertung wurde die Saison in Vorsaison, Hauptsaison und Nachsaison eingeteilt. Dabei wurde die Vorsaison definiert vom Beginn des Schul- und Trainingsbetriebes bis zu den ersten Skiwettkämpfen (6 Wochen). Dementsprechend umfasste die Nachsaison den Zeitraum nach dem letzten Skiwettkampf bis zum Schul- und damit auch Trainingsende (6 Wochen). Die Hauptsaison beinhaltete demnach 20 Wochen und ebenfalls alle Wettkämpfe.

### *2.3.1 Verletzungs- und Trainingsdatenbank*

Die konsequente und den wissenschaftlichen Anforderungen genügende Evaluierung der Trainings- und Verletzungsdaten stellte eine organisatorische Herausforderung dar. Die Erfassung großer Datenmengen erforderte ein benutzerfreundliches online Datenerfassungssystem. In Zusammenarbeit mit einem Informatiker, den Athleten, sowie den Trainern und Betreuern der Skischule wurde im Hinblick auf die Erstellung und Implementierung einer Trainings- und Verletzungsdatenbank zunächst ein bedürfnisgerechtes Anforderungsprofil erarbeitet. Nach einer 1-jährigen Pilottestung und den entsprechenden Modifikationen wurden in der Datenbank „Innjury“ (<https://www.innjury.net>) kontinuierlich Daten registriert. Neben der Erhebung wissenschaftlicher Daten stand auch die benutzerfreundliche Anwendung im Vordergrund, sodass eine zuverlässige und vollständige Dokumentation seitens der Trainer erfolgen konnte. Jeder Trainer erhielt nach einer Einführung zur Arbeitsweise mit der Datenbank einen personalisierten Zugang zur Onlineplattform. Die Trainingsdatenbank umfasste Informationen zur Trainingsquantität (Umfang, Intensität) und Trainingsqualität (Inhalte, Regeneration, subjektives Belastungsempfinden). Diese wurden unterteilt in Ski-, Konditions- und Ausgleichstraining. Die Eintragungen erfolgten von dem jeweiligen Trainer für die gesamte Trainingsgruppe. Ein Beispiel zur Dokumentation einer Konditionstrainingseinheit zeigt Abbildung 3. Zur Einschätzung der subjektiven Belastung (RPE) der Athleten bewertete jeder Trainer unmittelbar nach der Einheit die Intensität dieser basierend auf der folgenden Skala: 1= wenig anstrengend 2= moderate Anstrengung 3= intensive Anstrengung 4= sehr intensive Anstrengung. Die Gesamtintensität über eine Woche wurde berechnet basierend auf der

Summe aller Intensitätsangaben pro Tag. Folgend ein Beispiel zur Berechnung: Montag = 1, Dienstag = 3, Mittwoch = 2, Donnerstag = 3, Freitag = 1, Samstag = kein Training, Sonntag = 4 =  $(2 \times 1) + (1 \times 2) + (2 \times 3) + (1 \times 4) = 14$ . Zur Quantifizierung eines Workloadmanagements wurde zusätzlich ein akut:chronisches Belastungsratio (Index) berechnet (Hulin et al., 2014, Malone et al., 2016, Murray et al., 2016). Dieses misst den Zusammenhang zwischen akuter Belastung (Zusammenfassung des Trainingsumfanges von Montag- Sonntag für jede Woche z.B. 480 min) und chronischer Belastung (durchschnittliche Belastung über die letzten 4 Wochen z.B. 420min). Die Berechnung der Ratio stellte den Quotienten aus beiden Werten dar ( $480 \text{ min} / 420 \text{ min} = 1,14$ ). Eine Ratio über 1 repräsentierte somit eine höhere akute Belastung. Die Eintragungen für die Verletzungsdatenbank seitens der Trainer erfolgten nach jedem Training. Konnte ein Athlet nicht am regulären Training teilnehmen, registrierte der Trainer die Abwesenheit und den Grund. Bei gesundheitlichen Problemen wie traumatischen Verletzungen, Überlastungen oder Krankheiten wurden relevante medizinische Informationen in Kooperation mit den Eltern, den Trainern sowie den behandelnden Physiotherapeuten und Ärzten eingeholt und in die Verletzungsdatenbank seitens des wissenschaftlichen Personals eingegeben. Erfolgte eine ärztliche Behandlung, wurde der Arztbrief ausgewertet und die genaue Diagnose in der Datenbank erfasst. Die methodische Umsetzung der Verletzungsdatenbank basierte in Anlehnung der Methodik aktueller wissenschaftlicher Studien. Dabei erfolgt eine Unterscheidung in traumatische Verletzungen (Junge et al., 2008), Überlastungen (Clarsen et al., 2014) und Krankheiten (Veugelers et al., 2015). Den Anliegen des Datenschutzes wurde dabei besonders Rechnung getragen.



7 Tage), moderat (8–28 Tage) und schwerwiegend (>28 Tage) (Clarsen et al., 2014). Bei der Erhebung der Verletzungen erfolgte eine Unterscheidung in traumatische Verletzungen (Abbildung 4) und Überlastungsverletzungen (Abbildung 5). In Anlehnung an Brooks et al., (2006) wurde eine traumatische Verletzung wie folgt definiert: „Als Verletzung wird jedes Ereignis definiert, welches ein Athlet während dem Training oder den Wettkampf erfährt und welches in einer Teilnahmeunfähigkeit für zukünftige Trainingseinheiten resultiert.“<sup>1</sup> Nach Clarsen et al., (2014) gilt als Überlastungsverletzung eine Sportverletzung ohne erkennbares Trauma. Diese entstehen durch wiederholte Überbeanspruchungen oder repetitive Mikrotraumen.

Abbildung 3: Beispiel einer Dokumentation einer traumatischen Verletzung

<sup>1</sup> Brooks et al., 2006



Cockpit	Profil	Administratoren	Einstellungen	Export	Trainer	Schüler	Ärzte	Gruppen	Trainings	Einzeltrainings	Verletzungen	Wettkämpfe	Logout
Verletzungen » Verletzung bearbeiten <a href="#">Zurück</a>													
<b>Verletzung - Basisdaten</b>							<b>Datenblatt - Überlastung</b>						
Schüler*: <span style="background-color: black; color: black;">[REDACTED]</span>							Körperregion*: <input type="text" value="Knie"/>						
Art d. Verletzung*: <input type="text" value="Überlastung"/>							Körperseite*: <input type="text" value="links"/>						
von*: <input type="text" value="16.03.2015"/>							Überlastungsart*: <input type="checkbox"/> Knochen - Stressfraktur						
bis*: <input type="text" value="19.04.2015"/>							<input type="checkbox"/> Knochen - Knochenhautentzündung						
Trainingsausfall*: <input type="text" value="Eingeschränkt"/>							<input type="checkbox"/> Knochen - Osteochondrose						
Notizen: <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;">fast Schmerzfrei beim Skifahren Schmerzen beim Trockentraining Problematik erstmals im September 2014</div>							<input type="checkbox"/> Muskel - Verhärtung						
							<input type="checkbox"/> Muskel - Myositis						
							<input type="checkbox"/> Muskel - Überdehnung						
							<input type="checkbox"/> Sehne - Überdehnung						
							<input type="checkbox"/> Sehne - Entz./Reiz. - Tendinitis / Tendinose						
							<input type="checkbox"/> Sehne - Entz./Reiz. - Epicondylitis						
							<input checked="" type="checkbox"/> Sehne - Entz./Reiz. - Morbus Osgood-Schlatter / Morbus Sinding-Larsen						
							<input type="checkbox"/> Bänder - Entzündung						
							<input type="checkbox"/> Bänder - Überdehnung						
							<input type="checkbox"/> Gelenk - Entzündung						
							<input type="checkbox"/> Gelenk - Degenerative Veränderung						
							<input type="checkbox"/> Schleimbeutelentzündung						
							<input type="checkbox"/> Impingement						
							<input type="checkbox"/> Unspezifischer Rückenschmerz						
							<input type="checkbox"/> Andere						
							Umstände d. Überlastung*: <input type="text" value="wiederkehrend"/>						
							Einschränkungen*: <input checked="" type="checkbox"/> beim Training						
							<input checked="" type="checkbox"/> beim Konditionstraining						
							<input checked="" type="checkbox"/> beim Wettkampf						
							...beim Training: <input type="text" value="Training mit geringen Schmerzen möglich"/>						
							...beim Konditionstraining: <input type="text" value="Konditionstraining mit großen Schmerzen n"/>						
							...beim Wettkampf: <input type="text" value="keine Angabe"/>						
							Diagnose Arzt*: <input type="text" value="Ja"/>						
							Physiotherapie*: <input type="text" value="Ja"/>						
Speichern <input checked="" type="checkbox"/> Abbrechen <input checked="" type="checkbox"/>													

Abbildung 4: Beispiel einer Dokumentation einer Überlastungsverletzung

### 2.3.3. Krankheiten

Die Registrierung der Krankheiten erfolgte basierend auf der Zuordnung von Organsystemen nach „Allergie“, „Kreislauf/Kopf“, „Luftwege/HNO-Bereich“, „Magen-Darmbereich“, „Zähne“ und „Sonstiges“ (Abbildung 6). Weiterhin erfolgten Angaben über einen möglichen Arztbesuch (ja/nein) und dem Auftreten von Fieber (ja/nein). Während der Einweisung der Trainer in die Datenbank wurde darauf hingewiesen, dass Fieber definiert war ab einer Temperaturerhöhung  $\geq 37.5^\circ$ .

**Verletzungen » Verletzung bearbeiten** Zurück

**Verletzung - Basisdaten**

Schüler\*: [REDACTED]

Art d. Verletzung\*: Krankheit

von\*: 05.10.2016

bis\*: 12.10.2016

Trainingsausfall\*: Ja

Notizen: Befund: akute Otitis media, keine Antibiose

**Datenblatt - Krankheit**

Problematik\*: Luftwege / HNO-Bereich

Fieber\*: Ja

Ärztliche Behandlung\*: Ja

Speichern Abbrechen

Abbildung 5: Beispiel einer Dokumentation einer Krankheit

## 2.4 Statistische Auswertungen

Kontinuierliche Daten der Trainingsdatenbank wurden als Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) angegeben, kategorische Daten als prozentuale Werte. Die Verletzungs-/ und Krankheitsraten wurden wie folgt berechnet: Rate pro Athlet / Gesamtzahl aller Athleten. Es erfolgte weiterhin die Inzidenzberechnung aller Gesundheitsprobleme pro 1000 Trainingsstunden (Anzahl der Verletzungen/Überlastungen/Krankheiten geteilt durch die summierte Trainingszeit und multipliziert mit 1000). In Anlehnung von Bahr et al., 2018 wurde in Ergänzung zur Inzidenz die Verletzungslast berechnet. Diese umfasst die Verletzungsrate und die Trainingsausfalltage. Die Berechnung erfolgte daher mittels Anzahl der Verletzungstage pro 1000h Training. Zusätzlich erfolgte die prozentuelle Berechnung der Häufigkeiten aller Gesundheitsprobleme über den gesamten Studienzeitraum. Zur Risikostratifizierung der unabhängigen Variablen (Trainingscharakteristika) auf die abhängige Variable (Auftreten der Gesundheitsprobleme) wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse mit Rückwärtselimination gewählt. Mit diesem Verfahren wurden alle Variablen entfernt, welche nur unwesentlich zur Erklärung der Varianz beim Auftreten von Gesundheitsproblemen beigetragen haben. Die Berechnung der Regressionsanalyse erfolgte zweimal. Einmal mit jenen Verletzungen/Krankheiten, welche in der gleichen Woche auftraten und einmal mit jenen, die in der Folgewoche auftraten. Die Unterschiede der Trainingscharakteristika zwischen den einzelnen Saisonen (Vor-/Haupt-/Nachsaison) wurde mittels multivariater Varianzanalyse berechnet. Eine Poweranalyse erfolgte nicht, da alle maximal rekrutierbaren Athleten in die Datenanalyse eingeschlossen wurden. Auf Grund der speziellen Kohorte war die Anzahl der

Studienteilnehmer begrenzt und hätte auch nicht erweitert werden können. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,05$  festgesetzt. Alle statistischen Auswertungen erfolgten mit SPSS Version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

### 3. Ergebnisse

Während des Studienzeitraum verlies ein Schüler die Internatsschule, sodass die Daten von insgesamt 91 Athleten (52 männlich, 39 weiblich) über 32 Wochen ausgewertet wurden.

#### 3.1. Trainingsdatenbank

Die Auswertung der Trainingsdatenbank basiert auf der Analyse von insgesamt 666 registrierten Trainingseinheiten, davon waren 355 skispezifisch (53,3%) und 311 (46,7%) fielen in den Bereich Athletik- und Ausgleichstraining. Tabelle 3 zeigt die genauen Trainingscharakteristika. Mit einer durchschnittlichen Zeit von 318 h pro Saison und einem durchschnittlichen wöchentlichen Trainingsvolumen von 734 min war das Skitraining quantitativ am häufigsten. Die meisten Skieinheiten wurden seitens der Trainer als intensiv definiert (69,3%), 16,1% als hoch intensiv. Die durchschnittlichen Wettkampfteilnahmen lagen bei 16,4 Wettkämpfen für die männlichen Athleten und 16,8 für die Weiblichen. Im Bereich des Athletiktraining wurden durchschnittlich 107,2h pro Saison trainiert, mit einem durchschnittlichen Umfang von 201 Minuten pro Woche. Hierbei wurden 46,6% als intensiv und 39,9% als moderate Intensität bewertet.

Tabelle 3: Trainingscharakteristik des gesamten Studienzeitraumes (Hildebrandt et al., 2021)<sup>2</sup>

	Gesamt	Skitraining	Athletiktraining
Gesamttraining/Saison [h]	425.3	318.1	107.2
Mittleres Trainingsvolumen/Woche [min]	790 ± 297	734 ± 233	201 ± 122
Mittlere Trainingseinheiten/Woche [n]	5.1 ± 1.0	2.9 ± 0.8	1.8 ± 1.0
Mittlere Trainingsintensität/Woche [Index]	11.0 ± 2.1	7.7 ± 3.5	4.8 ± 3.2

<sup>2</sup> Hildebrandt et al., 2021

Abbildung 7 zeigt das durchschnittlichen Gesamttrainingsvolumen in Minuten innerhalb der 32 Wochen. Es zeigte sich ein zu Beginn der Trainingssaison niedriger Trainingsumfang für die ersten 3 Wochen, gefolgt von einer bis zu dreifachen Volumenzunahme bis zum Ende der sechswöchigen Vorbereitungsperiode. Die ersten Wochen der Haupttrainingsperiode (Woche 7-13) waren gekennzeichnet durch starke Schwankungen im Trainingsvolumen, gefolgt von einem konstant mittleren Trainingsvolumen bis zum Ende der Haupttrainingsperiode (Woche 14-26). In der Nachsaisontrainingsperiode war das Gesamttrainingsvolumen am niedrigsten.

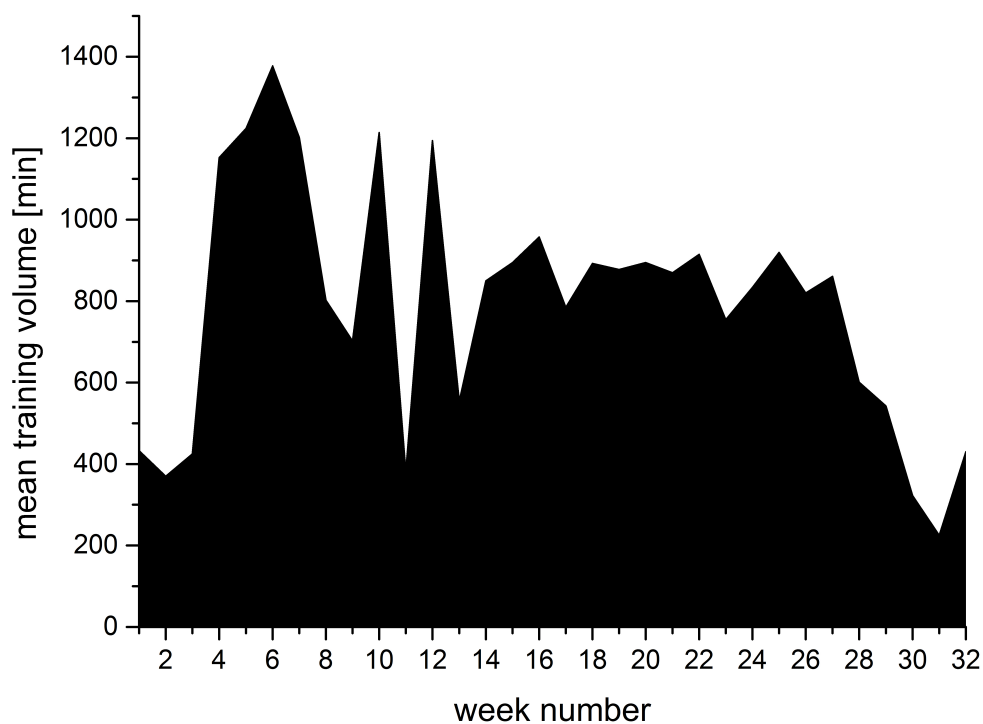


Abbildung 6: Durchschnittliches Gesamttrainingsvolumen pro Woche (Hildebrandt et al., 2021)

In Ergänzung zum Trainingsvolumen repräsentiert die Abbildung 8 die wöchentliche Trainingsintensität über die 32 Wochen. Ähnlich wie bei den Umfängen, waren die Intensitäten zum Einstieg in das sportartspezifische Training am geringsten, gefolgt von sehr wechselnden Intensitäten in den ersten Wochen der Haupttrainingsperiode (Woche 5-13) und in etwa gleichbleibend mittleren Intensitäten bis zum Ende des Wintertrainings.

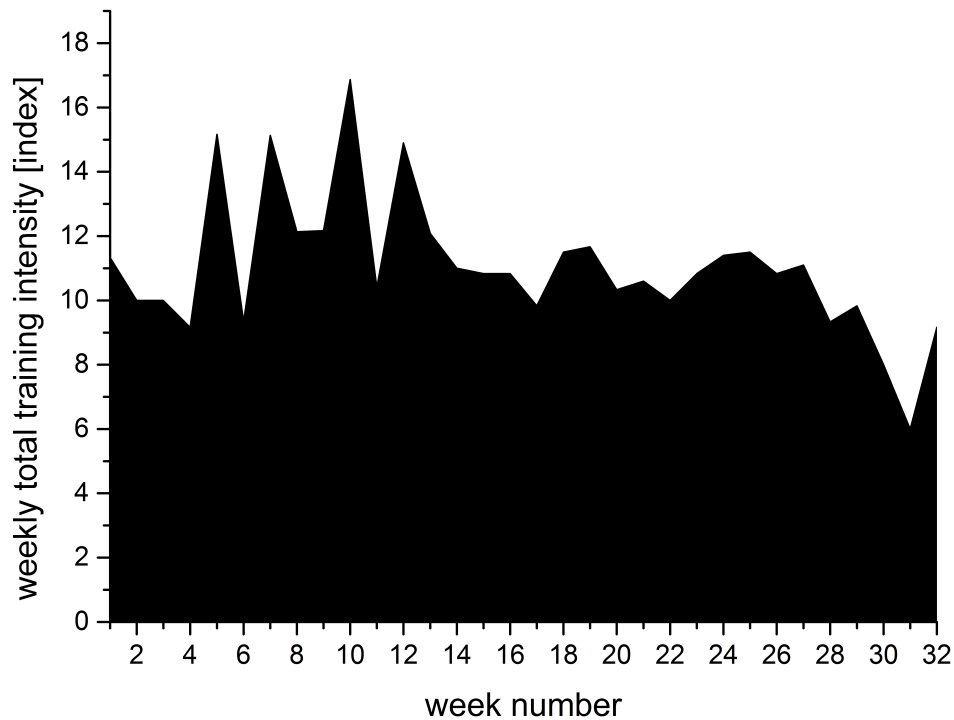


Abbildung 7: durchschnittliche Gesamtintensität (basierend auf dem RPE der Trainer) pro Woche (Hildebrandt et al., 2021)

### 3.2. Verletzungsdatenbank

Über den gesamten Zeitraum wurden 185 medizinische Probleme registriert. Die Inzidenz als Anzahl aller aufgetretenen Gesundheitsprobleme in Relation zur Expositionszeit lag bei 1,4 /1000h. Der Schweregrad, basierend auf den Trainingsausfallstagen, ist Tabelle 4 zu entnehmen. Eine Übersicht aller aufgetretenen medizinischen Probleme (prozentuale Verteilung) zeigt Abbildung 9.

Tabelle 4: Schweregrad von Verletzungen und Krankheiten (Gesamtanzahl) bezogen auf Trainingsausfalltage, (n= Anzahl Gesundheitsprobleme)

	<b>Schweregrad</b>			
	<b>Minimal</b>	<b>Mild</b>	<b>Moderat</b>	<b>Schwerwiegend</b>
	(1-3Tage)	(4-7 Tage)	(8-28 Tage)	(>28 Tage)
Krankheit (n= 132)	55,3%	40,9%	3,8%	0,0%
Überlastungen (n= 12)	41,7%	25,0%	8,3%	25,0%
Traumatische Verletzungen (n= 41)	14,6%	31,7%	36,6%	17,1%

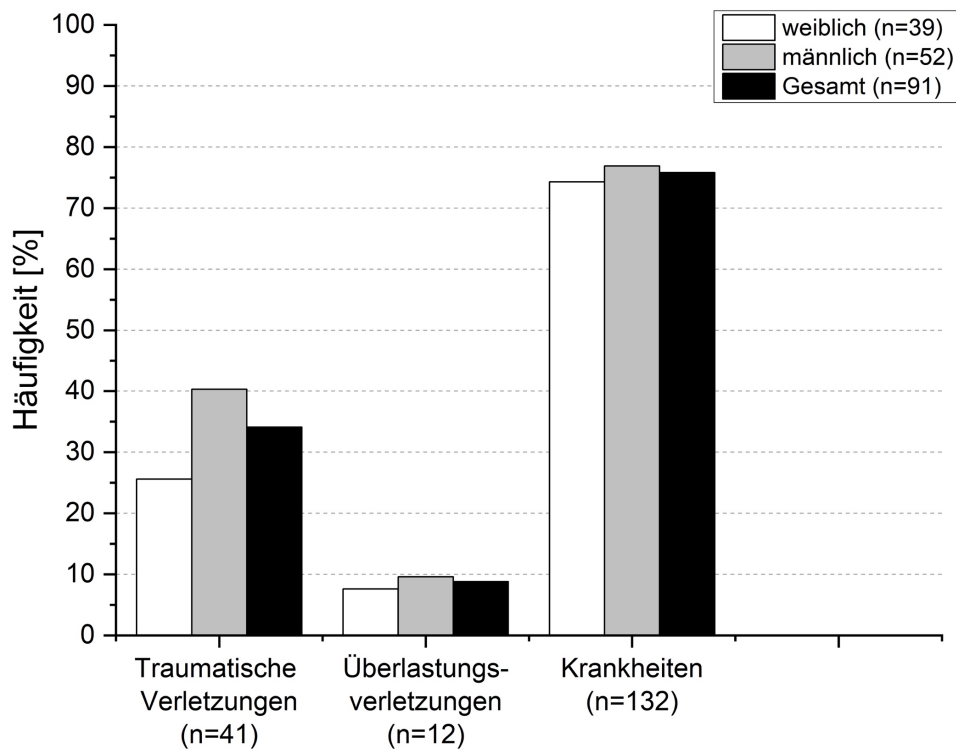


Abbildung 8: prozentuale Häufigkeit aufgetretener Gesundheitsprobleme während des gesamten Studienzeitraumes

### 3.2.1 Traumatische Verletzungen

Die traumatischen Verletzungen stellten mit 41 Verletzungen den größten Anteil an Verletzungen dar. Dies entsprach einer Verletzungsrate von 0,45/Athlet und einer Inzidenz von 1,1/1000 Trainingsstunden. Die 41 Verletzungen wurden von 31 Athleten registriert (10 weiblich, 21 männlich, 60 Athleten blieben unverletzt (29 weiblich, 31 männlich). Die häufigste Verletzungsregion war die untere Extremität mit 39% am Knie und 18% am Unterschenkel (Tabelle 5, Hildebrandt et al., 2021).

Traumatic injuries	Total n (%)
<b>Injury location</b>	
Knee	16 (39)
Lower leg	7 (18)
Ankle	5 (12)
Spine/back	4 (10)
Upper leg	3 (7)
Hip	2 (5)
Foot	2 (5)
Head	1 (2)
Shoulder	1 (2)
<b>Injury type</b>	
Contusion	14 (34)
Fracture	12 (30)
Sprain	6 (15)
Strain	3 (7)
Rupture of the meniscus	2 (5)
Rupture of the ACL	2 (5)
Laceration	1 (2)
Concussion	1 (2)
<b>Total injuries</b>	<b>41 (100)</b>

Tabelle 5: Traumatische Verletzungen nach Lokalisation und Art der Verletzung (Hildebrandt et al., 2021)<sup>3</sup>

Prellungen und Knochenverletzungen (Frakturen und Knochenprellungen) waren insgesamt die häufigsten Entitäten. 43,9% der Verletzungen passierten während des Skitrainings, wobei 2 Athleten eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes (VKB) erlitten. Ursächlich hierfür war das Hängenbleiben mit dem Innenski an einem Abfahrtstor, gefolgt von einem Sturz. Die zweite Ruptur erfolgte nach einem Sprung mit Absitzen in die tiefe Hocke auf Grund der hohen exzentrisch wirkenden Kräfte, gefolgt von einem Sturz. Weitere häufige skispezifische

<sup>3</sup> Hildebrandt et al., 2021

Verletzungen waren Knochenprellungen („bone bruise“) unter anderem im Bereich des Tibiakopfes. Abbildung 10 zeigt ein T2 gewichtetes MRT mit einer anterolateralen Tibiakopfimpression ohne Band- und Meniskusverletzungen. 9,7% der skispezifischen Verletzungen passierte während eines Wettkampfes. Nicht skispezifische, traumatische Verletzungen passierten beim Konditionstraining oder im Freizeitbereich und umfassten insgesamt 22,9%. Eine beispielhafte Auflistung der Verletzungen in Abhängigkeit der Ursache kann Tabelle 6 entnommen werden.

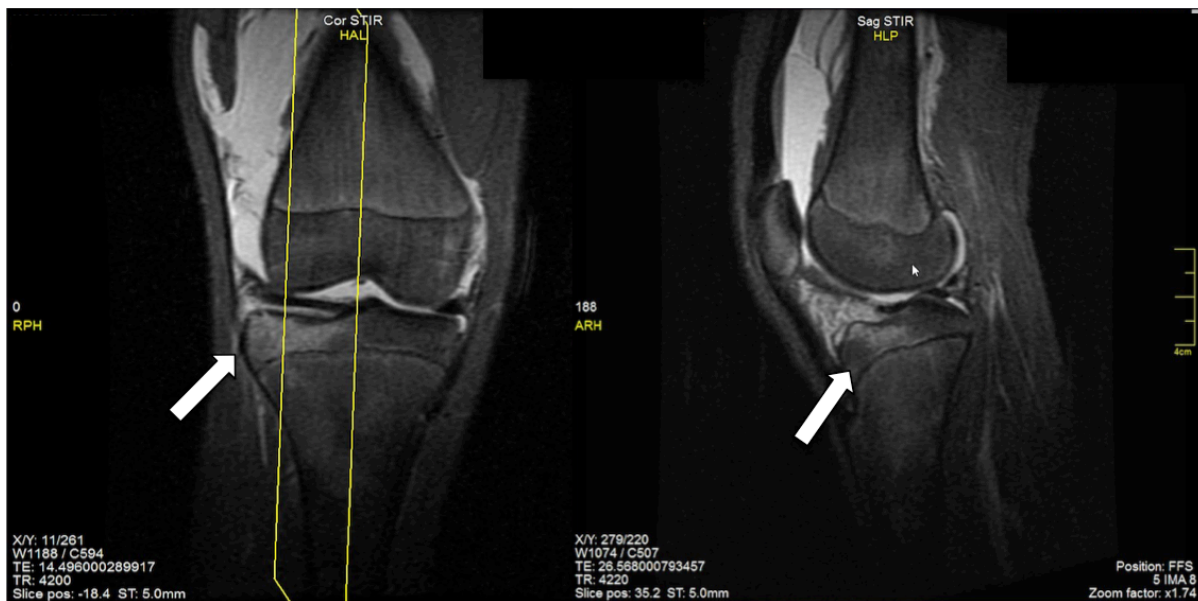


Abbildung 9: T2 gewichtetes MRI koronare und sagittale Schichtung: anterolaterale Tibiakopfimpression ohne Band- und Meniskusverletzungen (Hildebrandt et al., 2017)<sup>4</sup>



Tabelle 6: Typische traumatische Verletzungen in Abhängigkeit der Ursache (Hildebrandt et al., 2017)<sup>4</sup>

skispezifisch	nicht skispezifisch
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anterolaterale Tibiakopfimpression ohne Band- und Meniskusläsion nach Hyperextensionstrauma beim Skitraining (Abbildung 3)</li> <li>• Bone Bruise lateraler Schienbeinkopf ohne Bandläsionen</li> <li>• Meniscokapsulärer Einriss des Hinterhorns Innenmeniskus mit Bone Bruise mediale Femurrolle nach Verdrehung des Knies beim Skifahren</li> <li>• Epiphysenverletzung Calcaneus Aitken I nach Sturz beim Skirennen</li> <li>• Dislozierte distale Radiusfraktur nach Sturz beim Skitraining</li> <li>• Isolierte Ruptur des VKB nach Sprung mit Sturz bei Landung bei Skitraining</li> <li>• Apophysäre Verletzung Tuberositas Tibiae (Ogden I) ohne Gelenkbeteiligung nach Sturz beim Skitraining</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraktur BWK VI (Typ A1) nach Sturz beim Trampolinspringen (Konditionstraining)</li> <li>• Tuberculum majus Fraktur nach Sturz im Konditionstraining</li> <li>• Subluxation tali dexter nach Sturz von Treppe (Freizeit)</li> <li>• Commotio cerebri nach Zusammenstoß beim Fußballspielen (Freizeit)</li> </ul>

### 3.2.2. Überlastungsverletzungen

Im Vergleich zu den traumatischen Verletzungen zeigte sich bei der Auswertung der Überlastungsverletzung eine vergleichsweise niedrige Rate von 0,13 Überlastungen pro Athlet. Es wurden 12 Überlastungen von 8 Athleten (3 weiblich, 5 männlich) registriert. Die Inzidenz lag bei 0,3/1000 Trainingsstunden. Die häufigste Verletzungsregion betraf das Knie (47,8%), mit der häufigsten Diagnose präpatellares Schmerzsyndrom, gefolgt von dem unteren Rücken (36,4%) mit der häufigsten Diagnose muskuläre Verspannungen im Bereich untere Lendenwirbelsäule. Die Einordnung basierend auf den Trainingsausfalltagen war wie folgt: mild (1-3 Tage Ausfall, 41,7%), minimal (4-7 Tage Ausfall, 25,0%), schwerwiegend (>28 Tage Ausfall, 25,0%) und moderat (8-28 Tage Ausfall, 8,3%). Bei den meisten Überlastungen handelte es sich

<sup>4</sup> Hildebrandt et al., 2017

um neu aufgetretene Probleme (92,7%). Zählt man sowohl die Überlastungsverletzungen, als auch die traumatisch bedingten Verletzungen zusammen, so zeigte sich die höchste Verletzungslast während der Nachsaison (46,9 Ausfallstage/1000h Training). Innerhalb der Hauptsaison kam es zu 21,5 Ausfallstagen/1000h Training).

### 3.2.3. Krankheiten

Neben den Verletzungen führten krankheitsbedingte Ausfälle zu Trainingsunterbrechungen. Von den insgesamt 91 Athleten wurden 132 Krankheiten berichtet (1,45 Krankheiten/Athlet). Dies entspricht einer Inzidenz von 3,4 Krankheiten pro 1000 Trainingsstunden. Die 132 Erkrankungen wurden von 69 Athleten (29 weiblich, 40 männlich) berichtet, wobei gastrointestinale Probleme mit 48,5 % und Erkrankungen im Bereich Luftwege/HNO mit 40,3% die häufigsten Diagnosen waren. Die Trainingsausfalltage lagen mit 55,3% im Bereich von 1-3 Tagen (entspricht einem „minimalen“ Schweregrad), gefolgt von einem „milden“ Schweregrad (40,9%, 4-7 Ausfallstage). Die höchste Erkrankungsprävalenz war im Januar (18,9%) und April (13,1%). Die Erkrankungslast war während der Haupttrainingssaison mit 12,4 Ausfallstagen/1000 Stunden Training am höchsten.

## 3.3 Workload

Abbildung 11 zeigt die Anzahl der wöchentlichen traumatischen Verletzungen (graue Fläche) und das korrespondierende Verhältnis von akuter zu chronischer Belastung (workload ratio, schwarze Linie). Die höchste Ratio wurde in der 4. Kalenderwoche gemessen (1,93) ohne folgende Erhöhung der traumatischen Verletzungen. In der Kalenderwoche 18 wurde die höchste Zahl der traumatischen Verletzungen registriert bei einer niedrigen workload ratio von 1,03- 1,21 in den 2 Wochen zuvor. Generell zeigte sich ein zum Teil inverser Verlauf. In der Vorsaison zeigte sich in Woche 4-6 ein hohes akutes workload bei einer niedrigen Anzahl an traumatischen Verletzungen. Innerhalb der Hauptsaison zeigte sich insbesondere in den Wochen 13-26 ein relativ konstantes akutes:chronisches Belastungsverhältnis bei zum Teil sehr schwankenden wöchentlichen Verletzungshäufigkeiten von 0 Verletzungen in der Woche 19 und der höchsten Anzahl traumatischer Verletzungen in der Woche 18 (workload ratio 1,06) und 25 (workload ratio 1,16).

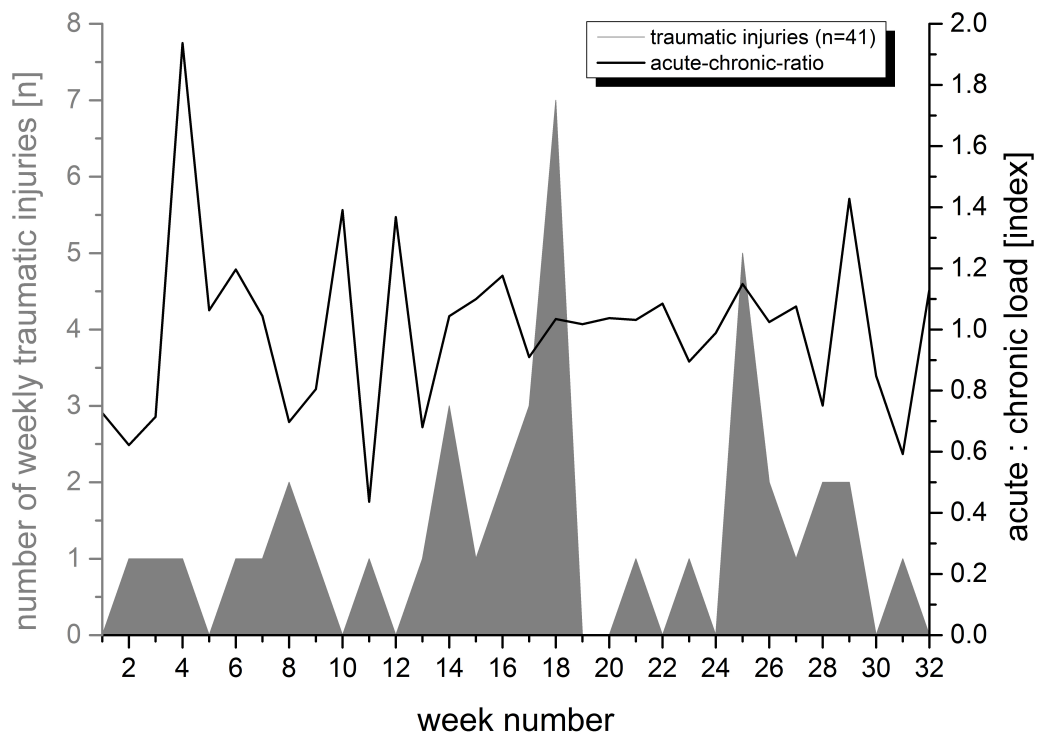


Abbildung 10: Anzahl der wöchentlichen traumatischen Verletzungen in Relation zum Workload

Abbildung 12 zeigt die Anzahl der wöchentlichen Erkrankungen (graue Fläche) und das korrespondierende Verhältnis von akuter zu chronischer Belastung (workload ratio, schwarze Linie). In der Woche mit dem höchsten Verhältnis von akuter zu chronischer Belastung (workload ratio 1,93) zeigte sich eine durchschnittliche Erkrankungsrate von 8 Athleten pro Woche, gefolgt von einem deutlichen Abfall der wöchentlichen Erkrankungen. In der Woche mit der höchsten Erkrankungsrate von 11/Woche zeigte sich in der Woche zuvor ein workload ratio von 1,43 und damit einer erhöhten Akutbelastung.

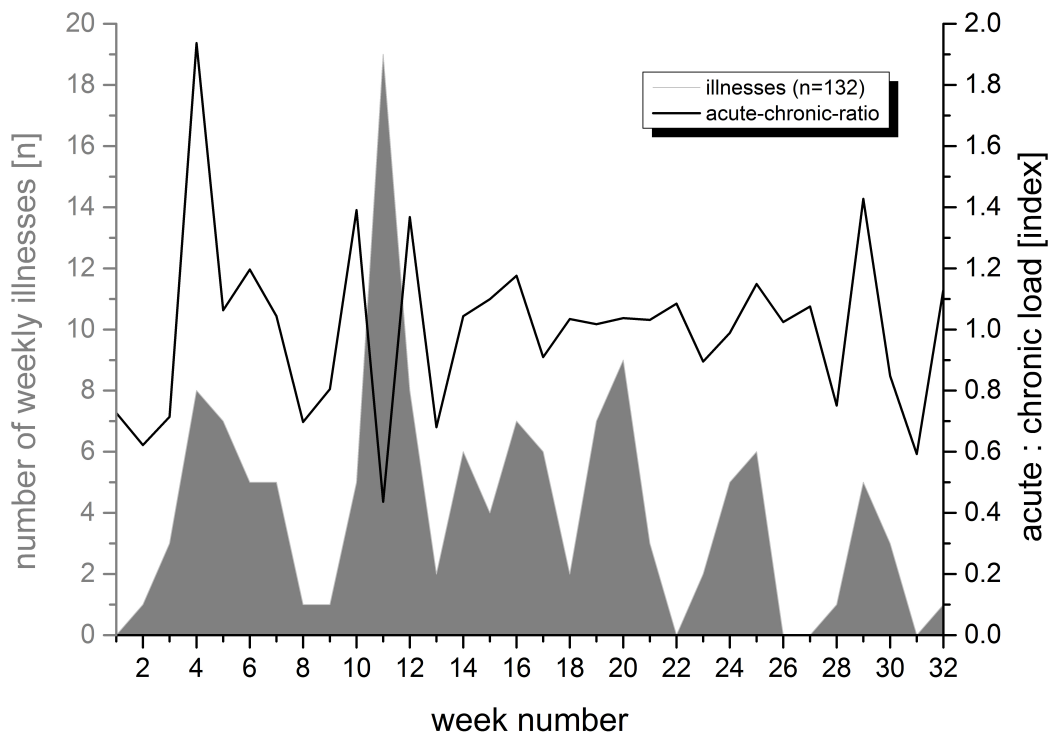


Abbildung 11: Anzahl der wöchentlichen Erkrankungen in Relation zum akut:chronisches Workload

## 4. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Dissertation war die Entwicklung einer Trainings- und Verletzungsdatenbank zur Erhebung trainingsrelevanter Parameter, sowie die Erhebung des Ausmaßes von traumatischen Verletzungen, Überlastungen und Krankheiten bei jungen Athleten im alpinen Skirennsport. Darauf basierend erfolgte die Darstellung des Zusammenhanges von Trainingsbelastungen und aufgetretenen Verletzungs- und Krankheitsproblematiken.

Im Nachwuchsleistungssport sind Konzepte, die Talente behutsam aufbauen, die individuelle Gesamtbelastung analysieren, sowie ein entsprechendes Belastungsmanagement nachhaltig optimieren, gefragter denn je (Soligard et al., 2016). Mit der Implementierung der sportartspezifischen Trainings- und Verletzungsdatenbank für Nachwuchsathleten im alpinen Skirennsport erfolgte ein wichtiger grundlegender Schritt, um trainings- und verletzungsrelevante Daten konsequent und langfristig zu erheben. Dabei nehmen die Trainer eine entscheidende Rolle bei der Erhebung valider Daten ein. Um eine hohe Compliance zu sichern, wurden während einer einjährigen Testphase die Bedürfnisse der Trainer für ein tägliches Monitoring evaluiert und im Folgenden die Datenbank entsprechend angepasst. Weiterhin bestand seitens der Trainer eine tägliche Dokumentationspflicht über die Anwesenheit der Athleten bei den Trainingseinheiten. Bei Abwesenheiten mussten die Gründe ebenfalls dokumentiert werden. Die meisten Studien zur Erhebung von skispezifischen Verletzungsinzidenzen im alpinen Nachwuchsskirennsport basieren auf singulären Events wie beispielsweise den Youth Winter Olympic Games 2016 (Steffen et al., 2016) oder der Erhebung von speziellen Verletzungsarten wie der vorderen Kreuzbandruptur (Raschner et al., 2012). Die Entwicklung der Verletzungs- und Trainingsdatenbank im Rahmen der vorliegenden Dissertation ist grundlegend, um eine umfangreichere Erhebung medizinischer Probleme über einen längeren Zeitraum zu garantieren. Durch die täglichen Eintragungen in die Datenbank kann garantiert werden, dass auch minimale Krankheitsprobleme mit nur wenigen Trainingsausfalltagen registriert werden und zu einem umfangreichen Gesamtbild beitragen. Dabei wurde sowohl das skispezifische Training als auch das nicht-skispezifische Training und die Freizeitaktivitäten berücksichtigt.

## 4.1 Traumatische Verletzungen

Die epidemiologischen Auswertungen bei Nachwuchsathleten im ersten Selektionsalter ergab eine im Vergleich zu anderen Studien im alpinen Skirennensport niedrigere aber dennoch relevante Rate an traumatischen Verletzungen. Die Inzidenz der traumatischen Verletzungen in der vorliegenden Arbeit lag bei 1,1/1000 Stunden Training und damit niedriger als bei Weltcupathleten (36,7/100 Athleten, Flørenes et al., 2009) und Jugendskirennläufern im Alter von 14-18 Jahren (männlich 1,6/1000 Stunden Training, weiblich 1,8/1000 Stunden Training, Westin et al., 2013). In Abgrenzung zu den adoleszenten Skiathleten und Weltcupathleten, bei denen die VKB-Ruptur eine häufige Verletzung darstellte (15,0% Raschner et al., 2012; 13,6% Flørenes et al., 2009), waren in der vorliegenden Arbeit Knochenprellungen und Brüche am häufigsten. Im vorliegenden Studienzeitraum wurden 2 isolierte VKB-Rupturen registriert. Apophysenausrisse durch singuläre Traumata waren als Folge von Skistürzen bedingt und wurden bei jugendlichen Sportlern bereits häufiger berichtet (Nehrer et al., 2002, Kessler et al., 2006). Die Art der Verletzungen zeigte einen hohen Anteil an knöchernen Verletzungen ohne Beteiligung von Bandstrukturen trotz hohem Impact. Die in Abbildung 10 dargestellte Tibiakopfimpression resultierte aus einem Sturz nach einem Sprung und missglückter Landung. Laut Aussagen der Trainer und der Athletin kam es zu einem Hyperextensionstrauma bei der Landung mit anschließender zum Teil massiver Verdrehung des Knies während der Rutschphase. Trotz der vermutlich hohen Krafteinwirkung bei gleichzeitiger Distorsion des Knies kam es nicht zu schwerwiegenden Begleitverletzungen an den Bändern oder Menisken. Eine erhöhte Elastizität und damit geringere Verletzungsanfälligkeit von Sehnen und Bandstrukturen scheint ursächlich und wurde bereits in früheren Studien berichtet (Kubo et al., 2001). Bei 5 Athleten kam es zu Knochenbrüchen, von denen 2 operativ versorgt werden mussten. Auch wenn eine Spontankorrektur bei der Heilung häufig ist, ist darauf zu achten, dass Valgusabweichungen und Achsabweichungen in der Frontalebene schlechter spontan korrigiert werden können und häufiger einer operativen Intervention zugeführt werden müssen als Varusabweichungen und Achsabweichungen in der Sagittalebene (Breitfuss et al., 2006, Jones 2005). Bei jungen Athleten ist zu beachten, dass die Wachstumsfuge noch offen ist und bei Verletzung dieser zu einem frühzeitigen Verschluss führen kann (Janko et al., 2015). In Folge dessen kann es zu Wachstumsdeformitäten kommen. Jede traumatische Verletzung, die im Wachstumsalter verhindert werden kann ist daher von großer Bedeutung. Im Rahmen der Verletzungsprävention ist nicht nur die Art der Verletzung entscheidend, sondern auch wann diese gehäuft auftreten. Schoeb et al., (2020) konnte zeigen, dass bei jungen Skirennfahrern das Auftreten von Gesundheitsproblemen während der Wettkampperiode

deutlich höher war (42,2% der Athleten), als in der Vor- oder Nachsaison. Mit dem Wissen, dass 43,9% der traumatischen Verletzungen in der vorliegenden Studie während dem skispezifischen Training passierten und ein Peak der Verletzungshäufigkeit in der Woche 14 und 19 (ebenfalls Wettkampfsaison) registriert wurde, müssen weitere, auch externe Risikofaktoren zukünftig berücksichtigt werden. Von besonderer Bedeutung ist hier auch der Materialsektor mit den richtigen Einstellungen der Bindungen. Burtscher et al. (2008) konnte zeigen, dass eine falsche Bindungseinstellung besonders bei Frauen das Risiko für Verletzungen erhöht. Betrachtet man die Verletzungslast (traumatische Verletzungen und Überlastungsverletzungen zusammen), welche die Verletzungsrate im Zusammenhang der Trainingsausfallstage definiert, zeigt sich, dass diese in der Nachsaison besonders hoch war (46,9 Ausfallstage/1000h Training) im Vergleich zur Hauptsaison (21,5 Ausfalltage/1000h Training). Nach Beendigung der Wettkampfsaison kann angenommen werden, dass die Athleten physisch und psychisch „müde“ waren und möglicherweise weniger Konzentration beim Skitraining aufwiesen. Dies sind jedoch nur Vermutungen, die weder durch einen Fragebogen, noch durch die Erhebung leistungsrelevanter Parameter verifiziert werden konnten. Des Weiteren wurden mögliche externe Einflussfaktoren wie schlechte Pistenverhältnisse und schlechte Schneequalität durch Tauwetter in der vorliegenden Arbeit nicht erfasst.

## **4.2 Überlastungsverletzungen**

Überlastungsbedingte Verletzungen zeigten durch unterschiedliche funktionelle Beanspruchungen eine Sportartspezifität, welche präventive Maßnahmen im sportlichen Ausbildungsprozess erfordern (Hawkins et al., 2001). Die Überlastungsverletzungen zeigten sich in der vorliegenden Arbeit mit einer Inzidenz von 0,3 Verletzungen/1000 Trainingsstunden als sehr gering. Aus präventiver Sicht scheint eine vielseitige motorische Ausbildung und ein gut abgestimmtes Ausgleichstraining von großer Bedeutung um die Belastbarkeitssicherung wie bei der vorliegenden Kohorte zu garantieren. Sobald ein Athlet Überlastungssymptome äußerte, wurden diese physiotherapeutisch und bei weiterem Bedarf medizinisch abgeklärt. Im Rahmen der Physiotherapie erhielten die Athleten ein individuelles Ausgleichsprogramm welches in 1:1 Betreuung durchgeführt und umgesetzt wurde, um den beginnenden Überlastungsproblemen konsequent entgegen wirken zu können. Die Verteilung des Trainings (53% skispezifisch, 46,7% Ausgleichs- und Athletiktraining) zeigt ebenfalls, dass eine zu frühe Spezialisierung vermieden wurde, so wie es aktuell unter anderem von der *American Medical Society for Sports Medicine* gefordert wurde (Kliethermes et al., 2020). Ein häufiger Grund für

eine ärztliche Abklärung war bei der untersuchten Kohorte Knieschmerz. Auch bei Störungen am reifenden Knochen können ab der pubertalen Phase auftreten und beginnen meist im Beinbereich, da hier das Wachstum vor den anderen Körperteilen beginnt (Klentröu 2016). Eine hohe Rate an Überlastungen am Knie konnte auch bei jungen Skirennfahrern im Wachstumsschub festgestellt werden (Schoeb et al., 2020). Weiterhin wurde bei 14-18-jährigen Jugendskirennläufern häufig eine Überlastung der Apophyse an der Tuberositas tibia berichtet (Hildebrandt et al., 2013). Eine während des Skifahrens erhöhte Spannung im Musculus Quadriceps femoris in Kombination mit erhöhten Druck- und Scherkräften im Patellofemoralgelenk können zu lokalen Überlastungen am Knie führen (Pettersson et al., 2017). In der vorliegenden Studie waren nur 2 Athleten von einer Apophysitis betroffen. Dies spricht für ein gutes Verhältnis von sportartspezifischer Belastung und anschließender Regeneration der belasteten Strukturen. Auch eine begleitende physiotherapeutische Behandlung wurde bei aufkommenden Schmerzen sofort begonnen. Es muss jedoch beachtet werden, dass das Prädilektionsalter für das Auftreten von Morbus Osgood Schlatter im Bereich 12.-16. Lebensjahr liegt (Patel et al., 2017). Für die in dieser Studie untersuchte Kohorte gilt es daher, zukünftig longitudinale Beobachtungen über das 14. Lebensalter hinaus durchzuführen. Die zwar wenig beschriebenen Fälle apophysärer Reizungen und dadurch bedingte Trainingsausfälle oder Einschränkungen waren in der vorliegenden Studie zwar gering, jedoch trat die Mehrzahl dieser in der 2.-4. Woche nach Trainingsbeginn auf. Bei einer genaueren Analyse der Trainingsinhalte fiel auf, dass in dieser Phase des Trainings zum Teil repetitive Sprungbelastungen durchgeführt wurden, die möglicherweise zu einer Überlastung der Strukturen am Knie geführt haben. Starke exzentrische Belastungen der tibialen Apophyse wurden bei adoleszenten Athleten als ursächlich beschrieben (Nührenböcker 2018). Zur Belastbarkeitssicherung der jungen Athleten wurde den Trainern empfohlen, exzessive Sprungbelastungen nicht zu Beginn des Leistungssportlichen Trainings zu integrieren, sowie auf eine adäquate Vorbereitungsarbeit zu achten. Neben den Knien stellt der Rücken eine weitere verletzungsanfällige Struktur bei jungen Athleten dar (Purcell et al., 2009). So wurden Überlastungsverletzungen im Bereich Rücken bei jungen Skifahrern in der Literatur berichtet (Hildebrandt et al., 2013, Spörri et al., 2017). Die hyperkyphotische Haltung in der Abfahrtsposition lässt ein Auftreten von lokalen Belastungen im Bereich der Brustwirbelsäule vermuten. Repetitive, exzentrisch wirkende Kräfte auf die gesamte Wirbelsäule nach einem erfolgten Sprung können ebenfalls zu Überlastungen führen. Während der Erhebungsperiode klagten 3 Athleten über Rückenschmerzen. Nach ärztlicher Abklärung konnten diese im



Bereich muskuläre Ursachen eingestuft werden und einer umfangreichen physiotherapeutischen Behandlung zugeführt werden.

### **4.3. Krankheiten**

Die Erkrankungen stellten mit einer Inzidenz von 3,4 Krankheiten pro 1000 Trainingsstundenden den häufigsten Grund trainingsbedingter Ausfälle dar, wenngleich diese nur mit wenigen Trainingsausfalltagen verbunden waren. Knapp die Hälfte der Diagnosen fiel in den Bereich Magen/Darmtrakt (48%), gefolgt von Problemen im Bereich HNO (40%). In der Literatur wurde ebenfalls eine erhöhte Infektanfälligkeit, mit vor allem Infekte der oberen Atemwege, bei jungen Tennisspielern (60%, Pluim et al., 2016) und bei Athleten während der Youth Olympic Games 2016 (84%, Steffen et al., 2016) berichtet. Die Monate mit gehäufterem Auftreten waren nach Beendigung der Ferien im Januar und April. Aus immunologischer Sicht sollten präventive Maßnahmen daher insbesondere nach kurzen Ferien (Weihnachts- und Osterferien) beachtet werden, um das Infektionsrisiko zu senken. Beispielhaft erwähnt sei hier eine Reduktion hoher Belastung, eine angepasste Ernährung und ausreichend Regenerationsmaßnahmen. Darüber hinaus gilt es das saisonale Keimspektrum zu berücksichtigen und präventive Maßnahmen insbesondere über den Herbst und Winter zu intensivieren. Die generelle Dokumentation ergänzender klinischer Parameter (Infektanfälligkeit, Entzündungsparameter) zur Erhebung des Immunstatus, physiologische Parameter (Leistungsfähigkeit) und psychologische Parameter (Erschöpfungsgrad) über den Verlauf einer Saison wären zukünftig wünschenswert, um gezielte Maßnahmen einleiten und das Training anpassen zu können. 4 Athleten der vorliegenden Kohorte wiesen eine erhöhte Infektanfälligkeit auf mit >6 Erkrankungen im Erhebungszeitraum. Eine über das übliche Maß hinausgehende Infektanfälligkeit wurde definitionsgemäß als 8 Infektionen pro Jahr festgelegt, wobei nicht nur die Anzahl zu berücksichtigen ist, sondern auch das Auftreten pathologischer Warnzeichen wie beispielsweise die Schwere der Infektionen (Wahn et al., 2003, Gleeson 2013). Da alle Athleten die gleiche Trainingsanamnese hatten, wurde den Trainern und Eltern bei Verdacht auf eine erhöhte Infektanfälligkeit empfohlen, die folgenden Kriterien unter Berücksichtigung der individuellen Anamnese abklären zu lassen:

- vegetative Anamnese inklusive Schlafqualität, Gewichtsentwicklungen, Ernährungssituation
- belastende Stressoren in der Schule oder der Familie
- andere klinische Beschwerden, insbesondere kardial

- laborchemische Diagnostik inklusive Parameter der entzündlichen Diagnostik, Eisenstatus und Ausschluss eines Elektrolytmangels
- Erhebung leistungsrelevanter Parameter zum Ausschluss von Defiziten
- Ausschluss sekundärer Ursachen (Zahnstatus)

Die hohe Erkrankungsrate in der 11. Woche waren zum größten Teil bedingt durch Magen-Darm-Infekte. Die kurze Inkubationszeit und hohe Ansteckungsgefahr führten zu einer schnellen Verbreitung. Die vorliegende Kohorte zeichnete sich dadurch aus, dass der gesamte Alltag (Schule, Training, Essen) mit einander verbracht wurde. Um ein schnelles Ausbreiten von Erkrankungen, insbesondere auch bei Magen-Darm-Infekten zu verhindern, wurde mit dem betreuenden Personal über folgende angepasste Hygienemaßnahmen gesprochen.

- Minimierung des Kontaktes erkrankter Athleten
- frühzeitige Isolierung erkrankter Athleten
- regelmäßiges und effektives Händewaschen mit Seife
- Verwendung von Einwegpapiertüchern
- keine gemeinschaftliche Nutzung von Geschirr und Trinkflaschen

#### **4.4. Zusammenhang der Trainingscharakteristik und aufgetretene Gesundheitsprobleme**

Insgesamt wurden 666 Trainingseinheiten analysiert. Hier zeigte sich ein mittleres Trainingsvolumen von 13,2h pro Woche. Ein Positionspapier der Medical Society for Sports Medicine empfiehlt, dass Nachwuchsathleten nicht mehr Stunden pro Woche trainieren sollen als ihr Alter (Brenner et al., 2016). Das durchschnittliche Alter der Kohorte lag bei 12,1 Jahren, somit lag der Trainingsumfang mit 13,2 h/Woche etwas über den Empfehlungen. An dieser Stelle muss jedoch bedacht werden, dass im gesamten Trainingsumfang ebenfalls regeneratives Training und Beweglichkeitstraining mit niedriger Intensität integriert war. Dies erschwerte den Vergleich mit anderen Studien, bei denen nur das sportartspezifische Training analysiert wurde. So wurde in einer Studie mit jungen Leichtathleten deutlich niedrigere Umfänge berichtet ( $5,69 \pm 2,53$ h/Woche), jedoch fehlen Angaben zu nicht-sportartspezifischen Trainingseinheiten (Henriksen et al., 2010). Eine Empfehlung im Nachwuchsleistungssport basiert auf der Steigerung der Trainingsumfänge, welche nicht mehr als 10% betragen soll (Eckard et al., 2018). In der vorliegenden Studie wurde während der letzten Periode der

Vorsaison eine Trainingsvolumenzunahme von 15% registriert. Trotz dieses Anstieges wurden in der Folgewoche keine gehäuften Verletzungen registriert. Trainingsvolumen und Trainingsintensität stellten weder für traumatische Verletzungen noch für Überlastungen einen Risikofaktor dar. Ein Zusammenhang von erhöhtem Trainingsvolumen und aufgetretenen Überlastungsverletzungen wurde in der Literatur mehrfach beschrieben und steht im Gegensatz zu den vorliegenden Untersuchungen. Sugimoto et al. (2019) konnten zeigen, dass ein hohes Trainingsvolumen ein Risikofaktor für Überlastungsverletzungen bei weiblichen Athleten in einem Alter zwischen 12- 18 Jahren darstellte. In einer Studie von Post et al., (2017) bestand ebenfalls eine Assoziation für ein erhöhtes Risiko an Überlastungsverletzungen bei jungen Athleten verschiedener Sportarten bei erhöhtem Trainingsvolumen. Der fehlende Zusammenhang in der vorliegenden Studie könnte auf die Tatsache zurückzuführen sein, dass zwar ein frühes sportartspezifisches Training durchgeführt wurde, jedoch in einem umfangreichen Ausmaß auf ein Ausgleichstraining geachtet wurde. 46,7% des Trainings beinhaltete Athletik- und Ausgleichstraining. In Ergänzung wurden bei den athletischen Trainingseinheiten häufig ein neuromuskuläres Training integriert, um den skispezifischen Anforderungen gerecht zu werden. Die Evidenz zum Zusammenhang von traumatischen Verletzungen und der Trainingscharakteristik ist in der Literatur weniger vorhanden (Windt und Gabbett 2017). Auch in der vorliegenden Arbeit zeigten sich stark schwankende Verletzungsraten im traumatischen Bereich bei gleichbleibenden Trainingsvolumen und damit keinem Zusammenhang. Im Hinblick auf Erkrankungen konnte gezeigt werden, dass eine erhöhte Trainingsintensität mit einer vermehrten Erkrankungsrate in der gleichen Woche einherging und ein erhöhtes Trainingsvolumen mit Erkrankungen in der Folgewoche. Dieser Zusammenhang konnte bereits in anderen Studien belegt werden. In einem systematischen Review longitudinaler Studien wurde gezeigt, dass eine erhöhte Trainingsintensität bei jungen Nachwuchssportlerinnen verschiedener Sportarten mit erhöhten Ermüdungsmarkern im Blut einherging und in Folge mit einer vorübergehenden Immunsuppression. Laborchemische Parameter wie u.a. Blutbild, Entzündungsparameter wurden in der vorliegenden Arbeit nicht erhoben und müssen zukünftig berücksichtigt werden, um das Ausmaß einer möglichen Immunsuppression beurteilen zu können.

Neben dem Trainingsvolumen und der Trainingsintensität ist das Verhältnis der akuten zur chronischen Trainingsbelastung zu betrachten. Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Verhältnis von 0,8-1,3 mit einem niedrigen Verletzungsrisiko einhergehen und als sogenannter „sweet spot“ definiert werden kann. Bei einem Verhältnis über 1,5 besteht ein erhöhtes Verletzungsrisiko, der Athlet befindet sich in der sogenannten „danger zone“

(Gabbett 2016). In einer Studie von Hulin et al., (2014) konnte gezeigt werden, dass ein acute:chronic workload von mehr als 1,5 das Verletzungsrisiko bei jungen Cricketspielern um das 2-4-fache in den folgenden sieben Tage steigerte. Schaut man sich die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit an, so wird deutlich, dass das höchste workload ratio bei 1,9 lag und nicht mit einem konsekutiv erhöhten Verletzungsrisiko einherging. Ein Vergleich mit anderen Studien und insbesondere von Ballsportarten scheint jedoch schwierig, da sich die Trainingscharakteristik stark voneinander unterscheidet. Bei Ballsportarten kommt es durch repetitives Sprinten immer wieder zu kurzzeitigen hochintensiven Einheiten mit konsekutiver Ermüdung, diese Belastungsspitzen fehlen im Training der jungen alpinen Skirennsportler.

## **5. Ausblick**

Die dauerhafte Verwendung der sportartspezifischen Trainings- und Verletzungsdatenbank und deren anwendungsbedingten Modifizierung institutionalisiert den aktiven Wissensaustausch zwischen Trainern, medizinischen Betreuern und wissenschaftlichem Personal. Im Speziellen ist eine Grundlage geschaffen, um zukünftig prospektiv die Frage zu klären, ob jene Athleten, die einer höheren Belastung unterliegen auch die sportlich erfolgreicher sind und sich in der Verletzungshäufigkeiten von jenen unterscheiden, die weniger erfolgreich sind. Dies dient als Grundlage für eine bessere Anpassung der dualen Betreuung an die gesundheitliche Situation. In Bezug auf einflussnehmende Risikofaktoren müssen longitudinale Beobachtungen über das erste Selektionsalter hinaus durchgeführt werden, wobei der Fokus weiterhin auf modifizierbaren Faktoren liegen sollte. Basierend auf der Datenbank können prospektiv mehrere Kenndaten (sportmedizinisch, sportwissenschaftlich, physiotherapeutisch) im Kontext auftretender Gesundheitsprobleme über einen längeren Zeitraum erfasst und analysiert werden, um die Belastungssteuerung der jungen Athleten weiterhin zu optimieren. Eine Modulerweiterung für den Bereich Sportpsychologie, Ernährung und Regeneration muss angestrebt werden, um im Gesamtkontext den kausal wissenschaftlichen Zusammenhang von Risikofaktoren und Gesundheitsproblemen evaluieren zu können. Von besonderer Bedeutung ist zudem eine langfristige Beobachtung über die Entwicklung der Überlastungsverletzungen im Zusammenhang der frühen Sportspezialisierung.

## 6. Literaturverzeichnis

Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine* 2005; 39:324-329.

Bahr R, Clarsen B, Ekstrand J. Why we should focus on the burden of injuries and illnesses, not just their incidence. *British Journal of Sports Medicine* 2018; 52:1018-1021.

Bergstrøm KA, Bergstrøm A, Ekeland A. Organisation of safety measures in an Alpine World Junior Championship. *British Journal of Sports Medicine* 2001; 35:321-324.

Brenner JS. Overuse injuries, overtraining, and burnout in child and adolescent athletes. *Pediatrics* 2007; 119:1242-1245.

Brenner JS. Sports Specialization and Intensive Training in Young Athletes. *Pediatrics* 2016; 138:e20162148.

Breitfuss AM. Wachstumsphänomene bei Frakturen im Kindesalter: Spontankorrekturen und Wachstumsstörungen. *Tscherne Unfallchirurgie*, 2006; 39-49; ISBN: 978-3-540-63287-0, H. Breitfuss, AM. Weinberg, G. Muhr. Springer Verlag.

Brooks JH, Fuller CW. The influence of methodological issues on the results and conclusions from epidemiological studies of sports injuries: illustrative examples. *Sports Medicine* 2006; 36:459-472.

Burtscher 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. *Clinical Journal of Sports Medicine* 2008; 18:355-357.

Carter CW, Micheli LJ. Training the child athlete: physical fitness, health and injury. *British Journal of Sports Medicine* 2011; 45:880-885.

Clarsen B, Rønsen O, Myklebust G, et al. The Oslo Sports Trauma Research Center questionnaire on health problems: a new approach to prospective monitoring of illness and injury in elite athletes. *British Journal of Sports Medicine* 2014; 48:754-760.

Drew MK, Finch CF. The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Medicine* 2016; 46:861-883.

Eckard TG, Padua DA, Hearn DW, Pexa BS, Frank BS. The relationship between training load and injury in athletes. A systematic review. *Sports Medicine* 2018; 48:1929-1961.

Emrich E, Fröhlich M, Güllich A, Klein M. Vielseitigkeit, verletzungsbedingte Diskontinuitäten, Betreuung und sportlicher Erfolg im Nachwuchsleistungs- und Spitzensport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2004; 55:237-242.

Engbretsen L, Steffen K, Alonso JM, Aubry M, Dvorak J, Junge A, Meeuwisse W, Mountjoy M, Renström P, Wilkinson M. Sports injuries and illnesses during the Winter Olympic Games 2010. *British Journal of Sports Medicine* 2010; 44:772-780.

Flørenes TW, Bere T, Nordsletten L, Heir S, Bahr R. Injuries among male and female World Cup alpine skiers. *British Journal of Sports Medicine* 2009; 43:973-978.

Flørenes TW, Nordsletten L, Heir S, Bahr R. Recording injuries among World Cup skiers and snowboarders: a methodological study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2011; 21:196–205.

Fröhner G, Wagner K. Sicherung der Belastbarkeit im langfristigen Leistungsaufbau *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 2006; 13:107-126.

Gabbett TJ. Influence of training and match intensity on injuries in rugby league. *Journal of Sports Science* 2004; 22:409–417.

Gabbett TJ, Whyte DG, Hartwig TB, Wescombe H, Naughton GA. The relationship between workloads, physical performance, injury and illness in adolescent male football players. *Sports Medicine* 2014; 44:989-1003.

Gabbett TJ. The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine* 2016; 50:273–280.

Gleeson M, Bishop NC, Walsh NP (2013) *Exercise Immunology*. London: Routledge (Taylor and Francis). 2013, ISBN 978-0-415-50725-7.

Hawkins D, Metheny J. Overuse injuries in youth sports: biomechanical considerations. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2001; 33:1701–1707.

Henriksen K, Stambulova N, Roessler KK. Successful talent development in track and field: considering the role of environment. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*. 2010; 20:122-132.

Hildebrandt C, Raschner C. Traumatic and overuse injuries among elite adolescent alpine skiers. *International SportMed Journal* 2013; 14:245-255.

Hildebrandt C, Müller L, Oberhoffer R, Fink C, Müller E, Raschner C. Management von Verletzungen bei Nachwuchsathleten am Beispiel des alpinen Skirennsports. *Swiss Sports and Exercise Medicine* 2017; 65, 24-28.

Hildebrandt C, Oberhoffer R, Raschner C, Müller E, Fink C, Steidl-Müller L. Training load characteristics and injury and illness risk identification in elite youth ski racing: A prospective study. *Journal of Sport and Health Science* 2021; 10, 230-236.

Hulin BT, Gabbett TJ, Blanch P, Chapman P, Bailey D, Orchard JW. Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *British Journal of Sports Medicine* 2014; 48:708-712.

Huxley DJ, O'Connor D, Healey PA. An examination of the training profiles and injuries in elite youth track and field athletes. *European Journal of Sport Science* 2014; 14:185–192.

Janko M, Voth M, Frank J, Marzi I. Sporttraumatologische Besonderheiten am Knie im Kindesalter. *OUP* 2015; 6:286–292.

Jayanthi NA, LaBella CR, Fischer D, Pasulka J, Dugas LR. Sports-specialized intensive training and the risk of injury in youth athletes: a clinical case-control study. *American Journal of Sports Medicine* 2015; 43:794-801.

Jones CM, Griffiths PC, Mellalieu S.D. Training Load and Fatigue Marker Associations with Injury and Illness: A Systematic Review of Longitudinal Studies. *Sports Medicine* 2017; 47:943-975.

Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Anterior cruciate ligament injury/reinjury in alpine ski racing: a narrative review. *Open Access Journal of Sports Medicine* 2017; 8:71-83.

Jones M, Simon J, Winell J. Pediatric knee fractures. *Current opinion in Pediatrics* 2005; 17:43-47.

unge A, Engebretsen L, Alonso JM, Renström P, Mountjoy M, Aubry M, Dvorak J. Injury surveillance in multi- sport events: The International Olympic Committee approach. *British Journal of Sports Medicine* 2008; 42:413–421.

Kessler T, Wagner N, Winkler H. Apophysenaustriss der Tuberositas tibiae und Fraktur der dorsalen Tibiakopfepiphyse. *Der Unfallchirurg* 2006; 109:990-994.

Klentrou P. Influence of Exercise and Training on critical stages of bone growth and development. *Pediatric Exercise Science* 2016; 28:178-186.

Kliethermes SA, Nagle K, Côté J, et al. Impact of youth sports specialisation on career and task-specific athletic performance: a systematic review following the American Medical Society for Sports Medicine (AMSSM) Collaborative Research Network's 2019 Youth Early Sport Specialisation Summit. *British Journal of Sports Medicine* 2020; 54:221-230.

Kristiansen E. Walking the line: how young athletes balance academic studies and sport in international competition. *Sport in Society* 2007; 20:47-65.

Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *International Journal of Sports Medicine* 2001; 22:138–143.

Maffulli N, Longo UG, Gougoulas N, Loppini M, Denaro V. Long-term health outcomes of youth sports injuries. *British Journal of Sports Medicine* 2010; 44:21–25.

Malisoux L, Frisch A, Urhausen A, Seil R, Theisen D. Monitoring of sport participation and injury risk in young athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2013; 16:504-508.

Malone S, Owen A, Newton M, Mendes B, Collins KD, Gabbett TJ. The acute: chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2006; 20:561–565.

Murray NB, Gabbett TJ, Townshend AD, Hulin BT, McLellan CP. Individual and combined effects of acute and chronic running loads on injury risk in elite Australian footballers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2017; 27:990-998.

Müller L, Hildebrandt C, Müller E, Oberhoffer R, Raschner C. Injuries and illnesses in a cohort of elite youth alpine ski racers and the influence of biological maturity status and relative age: a two-season prospective study. *Open Access Journal of Sports Medicine* 2017; 8:113-122.

Nehrer S, Huber W, Dirisamer A, Kainberger F. Apophysenschäden bei jugendlichen Sportlern [Apophyseal damage in adolescent athlete]. *Radiologe* 2002; 42:818-822.

Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E. Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *International Journal of Sports Medicine* 2003; 24:571-575.

Nührenböcker C, Gaulrapp H. Morbus Osgood Schlatter. *Sports Orthopaedics and Traumatology* 2018; 34:393-395.

Patel DR, Villalobos A. Evaluation and management of knee pain in young athletes: overuse injuries of the knee. *Translational Pediatrics* 2017; 6:190-198.

Petersen W, Bierke S, Häner M. Frühe Spezialisierung im Sport: Risiko für Überlastungsschäden, Verletzungen und Burnout? *Sports Orthopaedics and Traumatology* 2020; 36:115-122.

Petersen W, Rembitzki I, Liebau C. Patellofemoral pain in athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine* 2017; 8:143-154.

Pluim BM, Loeffen FG, Clarsen B, Bahr R, Verhagen EA. A one-season prospective study of injuries and illness in elite junior tennis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2016; 26:564-571.

Post EG, Trigsted SM, Riekena JW, Hetzel S, McGuine TA, Brooks MA, Bell DR. The association of sport specialization and training volume with injury history in youth athletes. *The American Journal of Sports Medicine* 2017; 45:1405-1412.

Purcell L, Michelli L. Low Back Pain in Young Athletes. *Sports Health*. 2009; 1:212-222.

Rachbauer F, Sterzinger W, Eibl G. Radiographic abnormalities in the thoracolumbar spine of young elite skiers. *American Journal of Sports Medicine* 2001; 29:446-449.

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. *British Journal of Sports Medicine* 2012; 46:1065-1071.

Raschner C, Müller L, Hildebrandt C. Talent detection and development in alpine ski racing. In: Müller E, Kröll J, Lindinger S, Pfusterschmied J, Stöggl T. (Eds.), *Science and Skiing VI*, 2015, Meyer & Meyer Sport, 65-75.

Raschner C, Müller L, Patterson C, Platzer HP, Ebenbichler C, Luchner R, Lembert S, Hildebrandt C. Current performance testing trends in junior and elite Austrian alpine ski, snowboard and ski cross racers. *Sports Orthopaedics and Traumatology* 2013; 29:193-202.

Schoeb T, Peterhans L, Fröhlich S, Frey W, Gerber C, Spörri J. Health problems in youth competitive alpine skiing: A 12-month observation of 155 athletes around the growth spurt. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2020; 30:1758-1768.

Soligard T, Schwellnus M, Alonso JM. How much is too much? International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine* 2016; 50:1030-1041.

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 Medicine* 2017; 47:599-614.



Steffen K, Engebretsen L. More data needed on injury risk among young elite athletes. *British Journal of Sports Medicine* 2010; 44:485-489.

Steffen K, Moseid CH, Engebretsen L, Sjøberg PK, Amundsen O, Holm HK, Moger T, Soligard T. Sports injuries and illnesses in the Lillehammer 2016 Youth Olympic Winter Games. *British Journal of Sports Medicine* 2016; 51:29-35.

Sugimoto D, Jackson SS, Howell DR, Meehan WP, Straccolini A. Association between training volume and lower extremity overuse injuries in young female athletes: implications for early sports specialization. *Physical Sportsmedicine* 2019; 47:199-204.

Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Medicine* 1992; 14:82-99.

Veugelers KR, Young WB, Fahrner B, Harvey JT. Different methods of training load quantification and their relationship to injury and illness in elite Australian football. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2016; 19:24-28.

Wahn V, Ehl S, Niehues T. Infektanfälligkeit – Versuch einer Definition. *Allergologie* 2003; 26:456–459.

Westin M, Alricsson M, Werner S. Injury profile of competitive alpine skiers: a five-year cohort study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2013; 20:1175-1181.

Windt J, Gabbett TJ, Ferris D, Khan KM. Training load--injury paradox: is greater preseason participation associated with lower in-season injury risk in elite rugby league players? *British Journal of Sports Medicine* 2017; 51:645-650.

## 7. Danksagung

Zum Gelingen meines Promotionsvorhabens haben mich viele Leute unterstützt, denen ich dafür meinen großen Dank aussprechen möchte.

Für die Möglichkeit zur Realisierung meines Projektes, der zuverlässigen Betreuung, der konstruktiven Kritik und dem Korrekturlesen möchte ich mich bei meiner Betreuerin Frau Prof. Dr. Renate Oberhoffer-Fritz, Lehrstuhl für Präventive Pädiatrie der TU München, sowie bei meinem Mentor Herrn ao. Univ.-Prof. Ing. Mag. Dr. Christian Raschner, Institut für Sportwissenschaft der Universität Innsbruck bedanken.

Weiterhin möchte ich meinen Projektkollegen für die Unterstützung bei der Durchführung der Messungen und Datenerhebungen danken.

Mein Dank gilt auch den Studienteilnehmern, den Eltern, den Betreuern der Skimittelschule, sowie dem medizinischen Personal für die stets kooperative Zusammenarbeit und Zuverlässigkeit.

Ein ganz besonderer Dank geht an meinen lieben Ehemann Thomas Hildebrandt-Strobl und an unseren Sonnenschein Finn für die stetige Geduld, moralische Unterstützung und zeitliche Entbehrung der Mama.

Nicht zuletzt danke ich von ganzen Herzen meinen lieben Eltern für Ihre stets unermüdliche Unterstützung auf meinem Lebensweg. Vati, du wärst sicher sehr stolz gewesen.

## 8. Publikationen

Original article

# Training load characteristics and injury and illness risk identification in elite youth ski racing: A prospective study

Carolin Hildebrandt<sup>a,b,\*</sup>, Renate Oberhoffer<sup>b</sup>, Christian Raschner<sup>a</sup>, Erich Müller<sup>c</sup>,  
Christian Fink<sup>d</sup>, Lisa Steidl-Müller<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Sport Science, University of Innsbruck, Innsbruck 6020, Austria

<sup>b</sup> Department of Sport and Health Science, Preventative Pediatrics, Technical University of Munich, Munich 80992, Germany

<sup>c</sup> Department of Sport Science and Kinesiology, University of Salzburg, Salzburg 5400, Austria

<sup>d</sup> Gelenkpunkt – Sports and Joint Surgery, Innsbruck 6020, Austria

Received 22 November 2019; revised 9 February 2020; accepted 12 March 2020

Available online 16 May 2020

2095-2546/© 2021 Published by Elsevier B.V. on behalf of Shanghai University of Sport. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## Abstract

**Purpose:** The study aimed to investigate the role of training load characteristics and injury and illness risk in youth ski racing.

**Methods:** The training load characteristics as well as traumatic injuries, overuse injuries, and illnesses of 91 elite youth ski racers (age = 12.1 ± 1.3 years, mean ± SD) were prospectively recorded over a period of 1 season by using a sport-specific online database. Multiple linear regression analyses were performed to monitor the influence of training load on injuries and illnesses. Differences in mean training load characteristics between preseason, in-season, and post-season were calculated using multivariate analyses of variance.

**Results:** Differences were discovered in the number of weekly training sessions ( $p = 0.005$ ) between pre-season ( $4.97 \pm 1.57$ ) and post-season ( $3.24 \pm 0.71$ ), in the mean training volume ( $p = 0.022$ ) between in-season ( $865.8 \pm 197.8$  min) and post-season ( $497.0 \pm 225.5$  min) and in the mean weekly training intensity (Index) ( $p = 0.012$ ) between in-season ( $11.7 \pm 1.8$ ) and post-season ( $8.9 \pm 1.7$ ). A total of 185 medical problems were reported (41 traumatic injuries, 12 overuse injuries, and 132 illnesses). The weekly training volume and training intensity was not a significant risk factor for injuries ( $p > 0.05$ ). Training intensity was found to be a significant risk factor for illnesses in the same week ( $\beta = 0.348$ ;  $p = 0.044$ ;  $R^2 = 0.121$ ) and training volume represents a risk factor for illnesses in the following week ( $\beta = 0.397$ ;  $p = 0.027$ ;  $R^2 = 0.157$ ).

**Conclusion:** A higher training intensity and volume were associated with increased illnesses, but not with a higher risk of injury. Monitoring training and ensuring appropriate progression of training load between weeks may decrease incidents of illness in-season.

**Keywords:** Health problems; Injury and illness prevention; Training load; Youth ski racing

## 1. Introduction

Alpine ski racing has become a popular sport among children in Austria, and a strong focus has therefore been placed on youth developmental programs, including injury prevention. A large number of specialized ski boarding schools for talented young athletes provide a fundamental basis for a future professional career.<sup>1</sup> Although regular sports activities at a young age have health benefits, there is a growing risk of suffering an injury that may counteract these beneficial effects.<sup>2</sup> Existing research indicates that athletes are more likely to sustain injuries due to inappropriate training loads during growth.<sup>3</sup> Alpine skiing is a late specialization

sport, and the peak performance in alpine ski racing is mostly achieved between the ages of 26 and 28 years.<sup>4</sup>

However, specialization at an early age combined with an athlete's long competitive life needs to be considered when implementing strategies to develop talents. Huxley et al.<sup>5</sup> showed that there is a relationship between high volumes of training in 13- to 14-year-old cricket bowlers and early retirement due to injuries. Previous research in adolescent and adult sports activities such as soccer, basketball, and Australian football has proven the correlation between a higher number of injuries and spikes in training loads or chronically high workloads and intensities.<sup>6–8</sup> However, these data refer to older athletes, and research on youth athletes are missing.

General recommendations exist for coaches working with youth athletes. These include avoiding specialization in only

Peer review under responsibility of Shanghai University of Sport.

\* Corresponding author.

E-mail address: [Carolin.Hildebrandt@uibk.ac.at](mailto:Carolin.Hildebrandt@uibk.ac.at) (C. Hildebrandt).

<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.03.009>

Cite this article: Hildebrandt C, Oberhoffer R, Raschner C, Müller E, Fink C, Steidl-Müller L. Training load characteristics and injury and illness risk identification in elite youth ski racing: a prospective study. *J Sport Health Sci* 2021;10:230–6.

1 sport at an early age and restricting the organized training to less than 8 months per year and to fewer hours a week than a child's age.<sup>9,10</sup> However, sport-specific recommendations are missing for alpine ski racing, even though this is a sport with a generally high risk of injury.<sup>11</sup>

A further challenge in youth sport specializations is the dual management of the training programs and academic commitments.<sup>12</sup> Physiologic and psychological overload combined with inappropriate regeneration may have a negative effect on the immune system. Previous research in adults has suggested that higher volumes of exercises are associated with an increased infection rate.<sup>13</sup> However, it can be assumed that young athletes may adapt differently to comparable training volumes and intensities than older and more experienced athletes, but there is a paucity of research on youth athletes that examines the relationship between training characteristics and illness. Consequently, the purpose of the present study was to prospectively examine training load as it relates to the occurrence, severity, and burden of injuries and illnesses in youth alpine ski racers.

## 2. Methods

### 2.1. Study design

All procedures were approved by the Institutional Review Board of the Department of Sport Science at the University of Innsbruck and by the Board for Ethical Questions at the University of Innsbruck. A 1-season prospective study design was used to record traumatic injuries, overuse injuries, illnesses, and training characteristics in a cohort of elite youth alpine ski racers. Analyzed data from the season were evaluated from the beginning of the school in September, 2017 to the end of the training in May, 2018. Data from each week of the study period were analyzed, except for 1-week vacations in December, February, and April. A total of 32 training weeks (holiday weeks were not considered) were analyzed, which were divided into the following training phases: pre-season (6 weeks), in-season (20 weeks), and post-season (6 weeks). The pre-season training phase was defined as the period between the start of the school until the first skiing competition. Likewise, the post-season was defined as the end of the regular skiing competition season until the end of May. The weeks in between were defined as the in-season period and included all competitions. To record training characteristics, a sport-specific, Internet-based database was developed (innjury.net). All data were systematically checked with the coaches and physiotherapists either by e-mail or by telephone. When uncertain or missing information was identified, direct verification with either the coaches, parents, a medical attendant, or a physiotherapist was done. In cases where all relevant information could not be collected, the data were excluded from the data analysis. The general methodology has been reported elsewhere.<sup>14</sup>

### 2.2. Participants

All athletes were recruited from a skiing boarding school in Austria. To attend this school, the pupils had to pass an entrance examination that included both skiing-specific and general physical performance tests, as well as successfully complete exercises

related to alpine skiing. Following these tests, a maximum of 22 of the best-performing pupils each year were eligible to attend the school. Participants, parents, and coaches were given a clear explanation of the study design, including the risks and benefits. All parents of the pupils ( $n = 92$ ) who were eligible for the study agreed to the study and provided their written consent. Throughout the 1-season period, 1 athlete (male) left the school; therefore, a total of 91 elite youth ski racers (52 males, 39 females) between the ages of 10 and 14 years who were free of acute injury at the beginning of the study were enrolled. The anthropometric characteristics for male and female athletes are presented in Table 1.

### 2.3. Data collection

#### 2.3.1. Injury registration

As previously reported,<sup>14</sup> all injuries and illnesses were included in the data analyses as soon as they resulted in a restriction to full participation in training for at least 1 day. Each athlete's health problems were recorded by that athlete's particular coach on a daily basis. A medical report was included in the database where provided. Following the approach of Brooks and Fuller,<sup>15</sup> a traumatic injury was defined as an injury with a sudden onset. Overuse injuries were defined as any physical complaint without a single identifiable event being responsible. The severity of injuries and illnesses was calculated based on the number of absence days, classified by Clarsen et al.<sup>16</sup> as minimal (1–3 days), mild (4–7 days), moderate (8–28 days), and severe (>28 days). Injury incidence was calculated as the number of injuries per 1000 h of exposure. In addition, as suggested by Bahr et al.,<sup>17</sup> injury burden combines the rate and the measure of loss and was therefore calculated as the number of injury days lost per 1000 h of training.

#### 2.3.2. Training characteristics and competitions

Using the training database, the coaches immediately recorded external measures after each training session (Table 2). These sessions were divided into skiing-specific and athletic-specific (off-snow) training. The intensity of each training session was constantly recorded to provide a rating of perceived exertion. The coaches rated each session as a daily group average using the following scale: 1 = *easy*, 2 = *moderate*, 3 = *intense*, and 4 = *very intense*.<sup>5</sup> The number of sessions in each intensity category was multiplied by the assigned coefficient for each category. The overall weekly intensity was then calculated as the sum of the calculated intensity sessions, for example,  $(2 \times 1) + (1 \times 2) + (2 \times 3) + (1 \times 4) = 14$ . In addition, a weekly and monthly average of training load (in minutes) was calculated

Table 1  
Anthropometric characteristics of male and female athletes (mean  $\pm$  SD).

	Male ( $n = 52$ )	Female ( $n = 39$ )
Age (year)	12.1 $\pm$ 1.3	12.0 $\pm$ 1.3
Height (cm)	152.6 $\pm$ 9.8	152.4 $\pm$ 10.0
Weight (kg)	42.7 $\pm$ 8.8	43.5 $\pm$ 9.7
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	17.9 $\pm$ 2.0	18.5 $\pm$ 2.3

Abbreviation: BMI = body mass index.

to provide an acute:chronic workload ratio. To calculate this ratio, the training data were grouped into weekly blocks (Monday to Sunday). The calculated average 1-week training load (i.e., 480 min) represented the acute workload. The chronic workload was calculated as the 4-week rolling average acute workload (i.e., 420 min). The ratio was then calculated by dividing the acute workload by the chronic workload (e.g., 480 min divided by 420 min results in a ratio of 1.14). Therefore, a value above 1 represents a higher acute workload than chronic workload, and a value below 1 represents a higher chronic workload than acute workload.

#### 2.4. Statistical analyses

Descriptive statistics are presented as a mean  $\pm$  SD for continuous variables and as frequency counts and percentages for categorical variables. The rate of injuries and illnesses per athlete was calculated as the number of injured and ill ski racers divided by the total number. The incidence per 1000 h of training was assessed by the number of injuries and illnesses divided by the total number of hours of exposure of all athletes multiplied by 1000. Multiple linear regression analyses with stepwise backward elimination were performed to identify the influence of training load characteristics on injuries and illnesses. The regression analyses were calculated twice, with injuries and illnesses in the same week as well as injuries and illnesses in the following week. Differences in mean training load characteristics between pre-season, in-season, and post-season were calculated using multivariate analyses of variance. The level of significance was set at  $p < 0.05$ . All calculations were performed using SPSS Version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

### 3. Results

#### 3.1. Training load characteristics

A total of 666 training sessions were analyzed (311 athletic specific and 355 skiing specific; Table 2). The mean weekly training volume of skiing-specific training sessions with free-skiing exercises was  $344.8 \pm 196.6$  min, and the mean weekly training volume of skiing-specific training sessions with gates was  $382.8 \pm 166.3$  min. The total mean number of competitions during the season was  $16.4 \pm 8.8$  for males and  $16.8 \pm 9.6$  for female ski racers. With respect to the rating of perceived exertion, most athletic training sessions were intense (46.6%), followed by moderate (39.9%), highly intense (10.4%), and easy (3.1%). Most skiing-specific training sessions were defined as intense (69.3%)

Table 2  
Training characteristics of skiing- and athletic-specific training sessions (mean  $\pm$  SD).

	Total	Skiing	Athletic
Total exposure time per season (h)	425.3	318.1	107.2
Mean training volume per week (min)	$790.0 \pm 296.8$	$734.0 \pm 232.7$	$201.1 \pm 122.0$
Mean number of training sessions per week ( <i>n</i> )	$5.1 \pm 1.0$	$2.9 \pm 0.8$	$1.8 \pm 1.0$
Mean training intensity per week	$11.0 \pm 2.1$	$7.7 \pm 3.5$	$4.8 \pm 3.2$

or highly intense (16.1%), and 14.6% were rated as moderate. The analyses of variance showed significant differences in the number of weekly training sessions ( $F = 6.54$ ,  $p = 0.05$ ), weekly mean training volume (in minutes) ( $F = 4.43$ ,  $p = 0.021$ ) and weekly mean training intensity (index) ( $F = 5.19$ ,  $p = 0.012$ ) between pre-season, in-season, and post-season. *Post-hoc* tests revealed differences in weekly training sessions ( $p = 0.005$ ) between pre-season ( $4.97 \pm 1.57$ ) and post-season ( $3.24 \pm 0.71$ ) and in the mean training volume ( $p = 0.022$ ) between in-season ( $865.8 \pm 197.8$  min) and post-season ( $497.0 \pm 225.5$  min), as well as in the mean weekly training intensity ( $p = 0.012$ ) between in-season ( $11.7 \pm 1.8$ ) and post-season ( $8.9 \pm 1.7$ ).

The total mean weekly training volume is presented in Fig. 1. A low training volume was applied during the first 3 training weeks, followed by high-volume training at the end of the preparation phase. Within the first 7 weeks of the in-season weeks (Weeks 7–13), there was a high fluctuation in training volume, followed by a relatively constant volume until the end of in-season weeks (Weeks 14–26). In the post-season period, the training volume was lowest (Weeks 27–32). The total weekly training intensity is presented in Fig. 2. The analysis of the training intensity resulted in a pattern similar to that of the volume. There was a low intensity of training at the beginning, followed by a high intensity at the end of the preparation phase and at the beginning of the competition season, and a relatively constant intensity during the competition season. The linear regression analyses showed that the weekly number of training sessions, weekly training volume, and training intensity did not represent a significant risk factor for traumatic and overuse injuries ( $p > 0.05$ ). However, training intensity was found to be a significant risk factor for illnesses in the same week ( $\beta = 0.348$ ;  $p = 0.044$ ,  $R^2 = 0.121$ ), and training volume represents a risk factor for illnesses in the following week ( $\beta = 0.397$ ;  $p = 0.027$ ,  $R^2 = 0.157$ ).

#### 3.2. Traumatic injuries, overuse injuries, and illnesses

A total of 185 medical problems were reported, with an injury incidence rate for all injuries of 1.4 injuries per 1000 h of training.

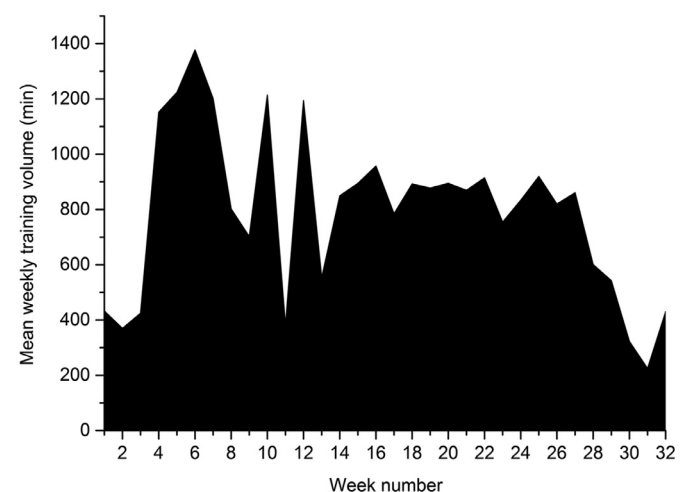


Fig. 1. Mean weekly training volume in a 32-week season for youth ski racers.

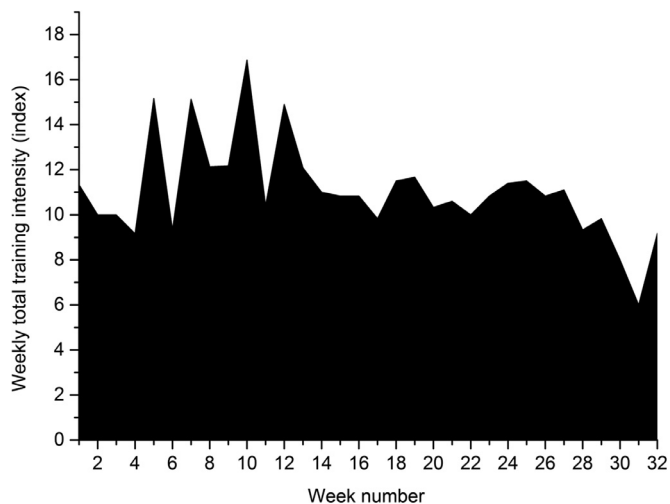


Fig. 2. Mean weekly training intensity in a 32-week season for youth ski racers.

3.2.1. Traumatic injuries

Of these injuries, 41 traumatic injuries (0.45 injuries/athlete) were recorded, representing an incidence of 1.1 per 1000 h of training. The 41 traumatic injuries were reported by 31 athletes (10 females and 21 males). Most of these traumatic injuries were categorized as moderate (36.6%) or mild (31.7%); only 17.1% were severe and 14.6% were minimal. They occurred either during skiing-specific training (43.9%), during leisure sport activities, or during athletic training sessions (22.0%); 9.7% occurred during competitions. The location and type are shown in Table 3.

3.2.2. Overuse injuries

A total of 12 overuse injuries (0.13 injuries/athlete) were reported, with an incidence of 0.3 injuries per 1000 h of training. The 12 overuse injuries were reported by 8 athletes (3 females and 5 males) and mostly affected the knee (47.8%), followed by

Table 3  
Traumatic injuries for all ski racers

Traumatic injuries	Total n (%)
<b>Injury location</b>	
Knee	16 (39)
Lower leg	7 (18)
Ankle	5 (12)
Spine/back	4 (10)
Upper leg	3 (7)
Hip	2 (5)
Foot	2 (5)
Head	1 (2)
Shoulder	1 (2)
<b>Injury type</b>	
Contusion	14 (34)
Fracture	12 (30)
Sprain	6 (15)
Strain	3 (7)
Rupture of the meniscus	2 (5)
Rupture of the anterior cruciate ligament	2 (5)
Laceration	1 (2)
Concussion	1 (2)
<b>Total injuries</b>	<b>41 (100)</b>

the upper lumbar spine (36.4%). Most overuse injuries were mild (41.7%); others were minimal or severe (25.0%) and only 8.3% were moderate. Most of overuse injuries were new (92.7%), 4.9% were recurrent, and 2.4% were unknown. For both traumatic and overuse injuries, the highest burden was found in the post-season (46.9 absence days/1000 h of training), followed by in-season injuries (21.5 absence days/1000 h of training).

3.2.3. Illnesses

A total of 132 illnesses (1.45 illnesses/athlete) was found, with an incidence of 3.4 illnesses per 1000 h of training. The 132 illnesses were reported by 69 athletes (29 females and 40 males). Most illnesses consisted of gastrointestinal problems (48.5%), followed by respiratory tract infections (40.3%). The illnesses were categorized as either minimal (55.3%), mild (40.9%), or moderate (3.8%). The highest illness burden was found to be in-season (12.4 absence days/1000 h of training), followed by the post-season (11.7 absence days/1000 h of training).

3.2.4. Acute:chronic workload according to injuries and illnesses

A higher acute training load was found during the weeks with the highest rate of illnesses (acute:chronic workload ratio, 1.93) and the week before the highest rate of illnesses (1.41) compared to the weeks with the lowest rate of illnesses, whereas no relation was found for the rate of injuries (overuse and traumatic). The total number of weekly traumatic injuries and the corresponding acute:chronic workload ratio are shown in Fig. 3, with the total number of weekly illnesses and the acute:chronic workload ratio shown in Fig. 4.

4. Discussion

4.1. Training load characteristics in youth alpine ski racers

The present study investigated the relationship between training load characteristics and the occurrence of injuries and illnesses. Weekly training volume and training intensity did not represent a significant risk factor for traumatic and overuse

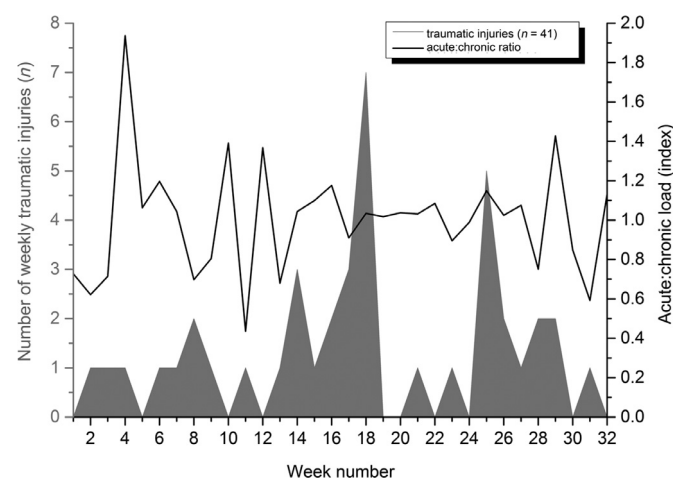


Fig. 3. Number of weekly traumatic injuries (grey) and the corresponding acute:chronic workload ratio (black) during a 32-week season for youth ski racers.



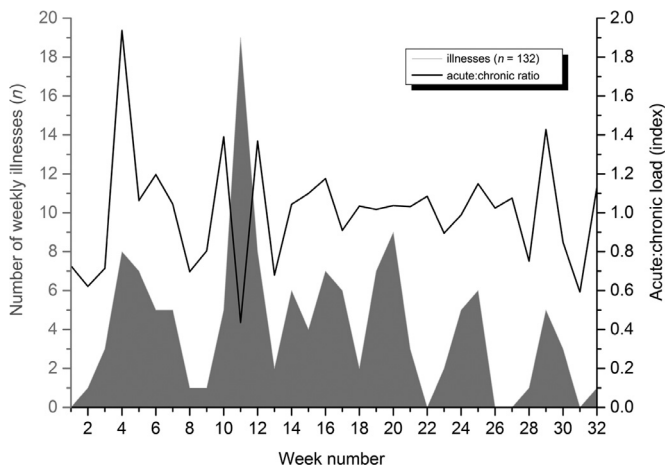


Fig. 4. Number of weekly illnesses (grey) and the corresponding acute: chronic workload ratio (black) during a 32-week season for youth ski racers.

injuries, but training intensity did affect illnesses in the same week and training volume was a risk factor for illnesses in the following week. The mean total training volume was 5.1 training sessions and 790.0 min (13.2 h) per week. The position statement guidelines from the American Medical Society for Sports Medicine recommends that youth athletes should not spend more hours of training per week than their age.<sup>18,19</sup> The average age of the ski racers was 12.1 years; therefore, the training volume of 13.2 h/week was slightly above the American Medical Society for Sports Medicine recommendations. In addition, the training volume for the young alpine ski racers was higher compared to the exposure reported in other youth sports, such as track and field athletics ( $5.69 \pm 2.53$  h/week).<sup>20</sup> However, results of the present study include all kinds of training and not only sport-specific training. As expected, the training of the young ski racers was lower compared to the training hours for World Cup elite ski racers.<sup>21</sup> The number of weekly training sessions for Olympic ski racers ranges from 10 to 14 training sessions and a total of 14 to 21 h. The athletic training of the young ski racers includes not only classical strength and coordination training, but also a wide variety of physical activities, including cycling, running, swimming, rollerblading, and team sports (soccer, basketball, and hockey). However, most of the injuries (43.9%) occurred during skiing-specific training. With this in mind, coaches should focus on skiing-specific injury prevention.

#### 4.2. Relationship between training load characteristics and injuries

Previous research on young athletes has shown that the injury incidence ranges from 1 to 12 injuries per 1000 h of training, with most injuries categorized as severe.<sup>22</sup> The incidence of traumatic injuries in the present study was 1.1 per 1000 h of training, a relatively low incidence compared to other studies involving alpine ski racing among adolescents (14–18 years of age) ski racers (males: 1.62 injuries/1000 h of training; females: 1.77 injuries/1000 h of training),<sup>23</sup> but was in line with previous research

in youth (10–14 years of age) ski racing (0.86 injuries/1000 h of training).<sup>14</sup> A closer look at the type of injury in the present study reveals a very low incidence of overuse injuries (0.30/1000 h of training), which was also reported previously by Müller et al.<sup>14</sup> (0.28 injuries/1000 h of training). Guidelines in youth sport suggest avoiding peaks in the training load of more than 10%.<sup>20</sup> There were peaks of more than 10% in the present study, especially during the last period of the pre-season, where the highest increase in volume was found to be up to 15%. However, despite this increase, overuse injuries were not reported frequently in the following weeks. There may be 2 reasons for this. First, coaches were advised to focus on general athletic training and to avoid excessive jumps during the pre-season, as these were found to be responsible for a high rate of knee overuse injuries (anterior knee pain) in a cohort of adolescent athletes.<sup>24</sup> Therefore, coaches were advised to administer low-impact training to enable the passive structures to adapt at the beginning of the training. Second, coaches were aware of the implementation of injury prevention based on discussions and lectures prior to the start of the study. In line with other studies in alpine ski racing, the knee was most frequently affected.<sup>23,25</sup> Among elite alpine ski racers, the anterior cruciate ligament is frequently ruptured in the event of an injury (e.g., 13.6% of all diagnoses at the World Cup level<sup>25</sup> and 15% in adolescent alpine ski racers<sup>26</sup>). However, the findings in the present study showed that bone fractures (5 fractures), including physal fractures, were more common than ruptures of the anterior cruciate ligament (2 ruptures). Bone fractures are common in children, and the characteristics of the growing skeleton make young athletes susceptible to specific fractures that do not occur in adults.<sup>27</sup> Moreover, it can be assumed that the physis is weaker than ligaments, so that fractures are more likely to occur than a rupture of the anterior cruciate ligament.<sup>28</sup>

Not only is the type of the injury of special interest, but so is information about when the highest risk of injury occurs during a full season. Gabbett<sup>29</sup> found that injury rates were highest during the pre-season in semi-professional rugby players. Likewise, Owen et al.<sup>30</sup> found that there seems to be a positive relationship between the training load and probability of sustaining an injury in elite level professional soccer players during the pre-season. These findings were not consistent with our results. In our study, both traumatic and overuse injuries were lowest at the beginning of the season, showing that coaches were aware that appropriate training volumes and intensities allow an athlete to adapt physiologically. The incidence of injuries in the present cohort was highest between Weeks 12–19 (in-season), with a clear peak in Week 18 and Weeks 24–30 (post-season). Most injuries occurred during skiing-specific training. Our findings indicate that there is a higher risk of sustaining an injury not only during the competition season, but also at the end of the season. The high incidence of traumatic injuries in Week 18 can only be explained speculatively. All injuries in this week occurred on different days and only during skiing-specific training and not during competitions. This may be due to the fact that bad weather conditions on the slopes were present (i.e., limited visibility, icy slopes). However, we cannot provide detailed information about this possibility.

In addition, when considering the burden of the traumatic injuries, it becomes evident that they cause the greatest problem,



especially during the post-season. Knowing that the exposure on snow is less between Weeks 24–30 compared to in-season training, this is an important finding that should be considered for a general training program. When the competition season is over but there is still ongoing training on snow, the weather conditions might not be the best and the risk of sustaining an injury due to external factors such as snow quality and the resulting poor quality of the slopes might be greater.

Another key finding in the present study was that volume and intensity did not represent a risk factor for injuries. Malisoux et al.<sup>31</sup> found that only training intensity, and not training volume, was associated with a higher injury risk in young rugby players. It can be assumed that the skiing-specific training in particular may be insufficiently intense to contribute to a higher risk of injury. It would appear that the greater risk comes from exposure and external factors, such as snow quality. However, it should be mentioned that the coaches rated the intensity. Rating of perceived exertion is very individualized, and the ski racers may have perceived the intensity of the training differently. This may limit the accuracy of the interpretation. Recent research suggests that the acute (weekly) and chronic (monthly) workload should be considered.<sup>32</sup> Hulin et al.<sup>33</sup> showed that an acute:chronic workload ratio of more than 1.5 increased the risk of injury by 2 to 4 times in the following 7 days for elite cricket bowlers. In contrast with Hulin et al.'s findings, the highest workload ratio in our study was 1.9, but an increase in injury rate in the following week was not observed. However, Hulin et al.<sup>33</sup> investigated elite cricket bowlers, a sport in which it can be assumed that spikes in workloads are more intense due to repetitive sprinting, leading to lactic acidosis and cumulative fatigue. In the youth alpine ski racing occurring in our study, spikes in training volume were mainly due to a focus on technique training and free skiing, which have a relatively low intensity and less accumulation of fatigue.

#### *4.3. Relationship between training characteristics and illnesses*

Training intensity was found to be a significant risk factor for illnesses in the same week. The highest rate of illness was found within a period of high-volume, high-intensity training that occurred following the preparation phase (Week 11), meaning that immunosuppression seems to occur following an increase in training intensity and volume. These findings were similar to those of Jones et al.,<sup>27</sup> who found a relationship between a high training load, increased fatigue markers, and an increase in illness in athletes participating in different sports. Furthermore, a higher acute training load was found before the weeks with the highest rate of illnesses compared to the weeks with the lowest rate. This finding is similar to that of Brink et al.,<sup>34</sup> who showed that an increase in the acute training workload resulted in a higher rate of illnesses in youth soccer players.

The highest burden was found to be in-season, causing an average absence of training days of 12.4 per 1000 h of training. However, this phase was in November and December, a period in which the infection rate is generally high. Gastrointestinal infections (48.5%) were more prevalent in the present cohort compared to the findings in other studies using youth athletes, in

which respiratory tract infections represented the highest rate of infections.<sup>35</sup> The highest peak of illnesses in Week 11 was caused by a very high rate of gastrointestinal infections (84%). This might be explained by the fact that the risk of infection is highest for gastrointestinal infections that are spread from person to person, especially when the cohort of the young ski racers live close together in the boarding school. Knowing this, preventive procedures, such as exclusion from school and other institutional measures that are kept in place until at least 48 h after the athlete is free of symptoms, adequate hand washing, and the use of paper towels, should be discussed with the coaches and supervising tutors in school. The second highest rate of illnesses was found for respiratory tract infections (40.3%). Previous research has shown that the average adult has 2–4 respiratory tract infections each year and young children have twice as many.<sup>36</sup> Peaks in this kind of infection were predominant in the weeks following holidays, including Christmas holidays (Week 16), winter holidays (Week 22), and Easter holidays (Week 28). It can be assumed that the combination of the start of the training and the get-together of all athletes causes a temporary immunosuppression. In order to reduce the number of infections, the focus should be on preventive measures, such as sufficient regeneration and sleep, as well as healthy nutrition, especially following holidays.

#### **5. Conclusion**

The results of the present study should lead to a better understanding of how training load characteristics relate to time of season and health problems in young ski racers and thus help coaches to reduce the risk of injuries and illnesses and to provide adequate training with a long-term beneficial effect. The weekly training volume and training intensity did not represent a significant risk factor for traumatic and overuse injuries. However, training intensity was found to be a significant risk factor for illnesses occurring in the same week and training volume represents a risk factor for illnesses in the following week. A higher acute training load was found before and within the weeks with the highest rate of illnesses, while no differences were found for the rate of injuries. Based on season, the burden of all injuries was highest in the post-season, whereas for illnesses the highest burden was found to be in-season. However, these findings should be interpreted only as a tendency since the injury and illness risk identified here may also be related to a number of additional factors that were not measured. Alpine ski racing is a sport with a high risk of injuries. Therefore, external factors, such as snow quality and weather conditions, should also be considered before any determinations and recommendations are made regarding which part of the ski season has the highest injury and illness risk, as well as which part of the season offers the best opportunities to prevent injury and illness. Future research with young cohorts of athletes should also include measures of internal loads, including school workload, quality of sleep, and regeneration, because these loads measure the combination of physiologic stress and psychological demand. Finally, the ability to draw conclusions from the findings in the present study may be limited by the relatively low number of participants and the total injury rate.

## Acknowledgments

The authors would like to thank all of the athletes and their parents for participating in the study. Additionally, many thanks to the skiing boarding school, headmaster, and head coach, as well as to all of the coaches for their cooperation.

## Authors' contributions

CH devised the study, contributed to the data collection, analyses and interpretation, and drafted most of the manuscript; CR supervised the study design, contributed to the data collection and interpretation, and reviewed the manuscript; RO contributed to the interpretation of the data; EM contributed to the data analysis and interpretation; CF participated in the data collection and contributed to the interpretation of the data; LSM devised the study, contributed to the data collection, analyses, and interpretation, and drafted the manuscript. All authors have read and approved the final version of the manuscript, and agree with the order of presentation of the authors.

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## References

- Raschner C, Müller L, Hildebrandt C. Talent detection and development in alpine ski racing. In: Müller E, editor. *Science and Skiing VI*. Aachen: Meyer & Meyer Sport; 2015.p.65–75.
- Maffulli N, Longo UG, Gougoulas N, Loppini M, Denaro V. Long-term health outcomes of youth sports injuries. *Br J Sports Med* 2010;**44**:21–5.
- Soligard T, Schweltnus M, Alonso JM, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* 2016;**50**:1030–41.
- Raschner C, Müller L, Patterson C, et al. Current performance testing trends in junior and elite Austrian alpine ski, snowboard and ski cross racers. *Sport Orthop Sport Traumatol* 2013;**29**:193–202.
- Huxley DJ, O'Connor D, Healey PA. An examination of the training profiles and injuries in elite youth track and field athletes. *Eur J Sport Sci* 2014;**14**:185–92.
- Gabbett TJ, Whyte DG, Hartwig TB, Wescombe H, Naughton GA. The relationship between workloads, physical performance, injury and illness in adolescent male football players. *Sports Med* 2014;**44**:989–1003.
- Anderson L, Triplett-McBride T, Foster C, Doberstein S, Brice G. Impact of training patterns on incidence of illness and injury during a woman's collegiate basketball season. *J Strength Cond Res* 2003;**17**:734–8.
- Veugelers KR, Young WB, Fahrner B, Harvey JT. Different methods of training load quantification and their relationship to injury and illness in elite Australian football. *J Sci Med Sport* 2015;**19**:24–8.
- Bergeron MF, Mountjoy M, Armstrong N, et al. International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *Br J Sports Med* 2015;**49**:843–51.
- Post EG, Triggsted SM, Riekena JW, et al. The association of sport specialization and training volume with injury history in youth athletes. *Am J Sports Med* 2017;**45**:1405–12.
- 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.
- Kristiansen E. Walking the line: how young athletes balance academic studies and sport in international competition. *Sport Society* 2016;**20**:47–65.
- Watson A, Brickson S, Brooks A, Dunn W. Subjective well-being and training load predict in-season injury and illness risk in female soccer players. *Br J Sports Med* 2017;**51**:194–9.
- Müller L, Hildebrandt C, Müller E, Oberhoffer R, Raschner C. Injuries and illnesses in a cohort of elite youth alpine ski racers and the influence of biological maturity status and relative age: a two-season prospective study. *Open Access J Sports Med* 2017;**8**:113–22.
- Brooks JH, Fuller CW. The influence of methodological issues on the results and conclusions from epidemiological studies of sports injuries: illustrative examples. *Sports Med* 2006;**36**:459–72.
- Clarsen B, Rønsen O, Myklebust G, Flørenes TW, Bahr R. The Oslo Sports Trauma Research Center questionnaire on health problems: a new approach to prospective monitoring of illness and injury in elite athletes. *Br J Sports Med* 2014;**48**:754–60.
- Bahr R, Clarsen B, Ekstrand J. Why we should focus on the burden of injuries and illnesses, not just their incidence. *Br J Sports Med* 2018;**52**:1018–21.
- Eckard TG, Padua DA, Hearn DW, Pexa BS, Frank BS. The relationship between training load and injury in athletes. A systematic review. *Sports Med* 2018;**48**:1929–61.
- Brenner JS, Council on Sports Medicine and Fitness. Sports specialization and intensive training in young athletes. *Pediatrics* 2016;**138**:e20162148. doi:10.1542/peds.2016-2148.
- Henriksen K, Stambulova N, Roessler KK. Successful talent development in track and field: considering the role of environment. *Scand J Med Sci Sports* 2010;**20**:122–32.
- Gilgien M, Reid R, Raschner C, Supej M, Holmberg HC. The training of Olympic alpine ski racers. *Front Physiol* 2018;**9**:1772–8.
- Jones CM, Griffiths PC, Mellalieu SD. Training load and fatigue marker associations with injury and illness: a systematic review of longitudinal studies. *Sports Med* 2017;**47**:943–75.
- Westin M, Alricsson M, Werner S. Injury profile of competitive alpine skiers: a five-year cohort study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscop* 2012;**20**:1175–81.
- Hildebrandt C, Raschner C. Traumatic and overuse injuries among elite adolescent alpine skiers. *Int Sport Med J* 2013;**14**:245–55.
- Flørenes 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.
- 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.
- Jones MH, Simon JE, Winell J. Pediatric knee fractures. *Curr Opin Pediatr* 2005;**17**:43–7.
- Klentrou P. Influence of exercise and training on critical stages of bone growth and development. *Pediatr Exerc Sci* 2016;**28**:178–86.
- Gabbett TJ. Influence of training and match intensity on injuries in rugby league. *J Sports Sci* 2004;**22**:409–17.
- Owen AL, Forsyth JJ, Wong DP, Dellal A, Connelly SP, Chamari K. Heart rate based training intensity and its impact on injury incidence amongst elite level professional soccer players. *J Strength Cond Res* 2015;**29**:1705–12.
- Malisoux L, Frisch A, Urhausen A, Seil R, Theisen D. Monitoring of sport participation and injury risk in young athletes. *J Sci Med Sport* 2013;**16**:504–8.
- Schweltnus M, Soligard T, Alonso JM, et al. How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* 2016;**50**:1043–52.
- Hulin BT, Gabbett TJ, Blanch P, Chapman P, Bailey D, Orchard JW. Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *Br J Sports Med* 2014;**48**:708–12.
- Brink MS, Visscher C, Arends S, Zwerver J, Post WJ, Lemmink KA. Monitoring stress and recovery: new insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *Br J Sports Med* 2010;**44**:809–15.
- Svensen IS, Taylor IM, Tønnessen E, Bahr R, Gleeson M. Training-related and competition-related risk factors for respiratory tract and gastrointestinal infections in elite cross-country skiers. *Br J Sports Med* 2016;**50**:809–15.
- Cotton M, Innes S, Jaspan H, Madide A, Rabie H. Management of upper respiratory tract infections in children. *S Afr Fam Pract (2004)* 2008;**50**:6–12.

# Management von Verletzungen bei Nachwuchsathleten am Beispiel des alpinen Skirennsports

Hildebrandt C<sup>1,2</sup>, Müller L<sup>1</sup>, Oberhoffer R<sup>2</sup>, Fink C<sup>3</sup>, Müller E<sup>4</sup>, Raschner C<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Sportwissenschaft, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Präventive Pädiatrie, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften, Technische Universität München, München, Deutschland

<sup>3</sup> Gelenkpunkt – Sport- und Gelenkchirurgie, Innsbruck, Österreich.

<sup>4</sup> Research Unit für Sportmedizin und Verletzungsprävention, ISAG/UMIT, Hall, Österreich.

<sup>4</sup> IFFB Sport- und Bewegungswissenschaft, Institut für Sportwissenschaft, Universität Salzburg, Salzburg, Österreich

## Zusammenfassung

Der alpine Skirennlauf gilt als ein beliebter aber auch verletzungsträchtiger Sport. Für einen erfolgreichen und langfristigen Leistungsaufbau ist die Sicherung der sportlichen Belastbarkeit eine zwingende Voraussetzung. Bis dato fehlen jedoch in Bezug auf sportartspezifische Risikofaktoren wissenschaftliche Untersuchungen im Bereich Ski Alpin bei Nachwuchsathleten. Basierend auf der Entwicklung einer Trainings- und Verletzungsdatenbank zeigten die Ergebnisse einer 2-jährigen prospektiven Erhebung erste Hinweise auf die Verletzungs- und Überlastungsproblematik bei 82 Skiathleten im Alter von 9 bis 14 Jahren. Die relativ hohe Rate an traumatischen Verletzungen (0,86/1000 Trainingsstunden) unterstreicht die Notwendigkeit weiterer sportartspezifischer Studien. Im Bereich Überlastungsverletzungen gab es eine vergleichsweise niedrige Rate von 0,28/1000 Trainingsstunden. Weiterführende longitudinale Beobachtungen der Athleten über das erste Selektionsalter hinaus sind wesentlich, um die auftretenden Gesundheitsprobleme im Kontext der biologischen Entwicklung, Risikofaktoren sowie der Trainings- und Wettkampfanforderungen darzustellen.

### Schlüsselwörter:

Nachwuchsleistungssport, Verletzungs- und Trainingsdatenbank, alpiner Skirennsport, traumatische Verletzungen, Überlastungen

## Abstract

The popularity of alpine skiing is growing among young athletes. However, this development also carries the risk of early health problems such as traumatic and overuse injuries. To support a long-term beneficial effect of an early sport specialization, the amount of appropriate volume and intensity of training need to be investigated. As a basis for a prospective and reliable data collection, we developed a training and injury database to repeatedly record the occurrence of traumatic injuries and overuse injuries. Study participants were 82 young talented alpine skiers aged between 9 and 14 years. We found a relatively high rate of 0,86 traumatic injuries per 1000 hours of training. In contrast a low occurrence of overuse injuries were recorded (0,28/1000 hours of training). Further research is required on sport specific, age- and development-related risk factors and the appropriate amount of training to guarantee long-term health benefits of youth elite athletes.

### Keywords:

youth athletes, injury and training database, alpine skiing, traumatic injuries, overuse injuries





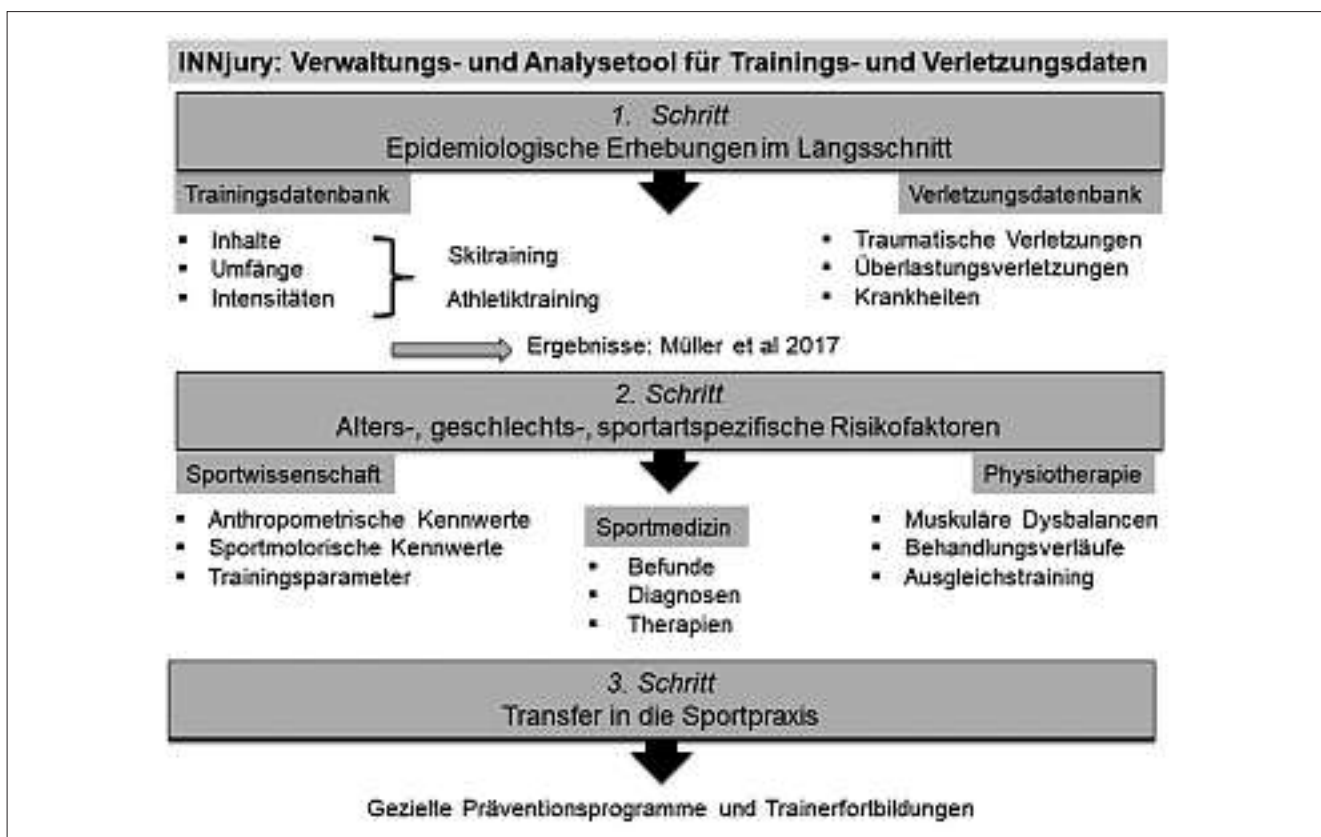
## Nachwuchskonzept Ski Alpin: Interaktion von Belastung und Beanspruchung

Die gesellschaftliche Bedeutung des alpinen Skirennsports in Österreich hat in den letzten Jahren stetig zugenommen, und so unterliegt auch der Nachwuchsleistungssport einer rasanten Entwicklung. Vom talentierten Nachwuchssportler hin zum Spitzensportler gilt es einen langen Weg mit hohen Beanspruchungen zu bewältigen. Regelmässige Trainings- und Wettkampfeinheiten, verbunden mit der schulischen Ausbildung stellen hohe Anforderungen an die jungen Talente. Bereits im Alter von 10 Jahren beginnt die erste Selektionsphase eines Nachwuchsskiathleten. Der frühe Einstieg in den Nachwuchsleistungssport kann durch eine Summation häufiger Verletzungen eine Leistungssportkarriere nachhaltig beeinträchtigen. Insbesondere im Kindes- und Jugendalter wurde ein gehäuftes Auftreten von gesundheitlichen Problemen mehrfach beschrieben [1,2]. Der Zusammenhang von übermässigen Trainingsumfängen/-intensitäten und erhöhten Verletzungs-/Überlastungsrisiken bei Nachwuchssportlern konnte bereits in einigen Sommersportarten nachgewiesen werden [1,3,4]. Bis dato fehlen jedoch in Bezug auf epidemiologische Daten und Risikofaktoren wissenschaftliche Untersuchungen im Bereich alpiner Skirennsport, obwohl der alpine Skirennlauf als eine Risikosportart zu werten ist [5]. Eine Studie von Westin et al. (2013) zeigte bei adoleszenten Skiathleten schwere Knieverletzungen (41%) mit einem Trainingsausfall von mehr als 28 Tagen [6]. Epidemiologische Daten zu Athleten im Bereich des ersten Selektionsalters (10–14 Jahre) sind hingegen ausständig. Überlastungen und Verletzungen im alpinen Skirennsport weisen durch die hohen mechanischen und funktionellen Beanspruchungen eine Sportartspezifik auf, die frühzeitige präventive Massnahmen

erfordern [7]. So zeigten Untersuchungen, dass Defizite im Bereich der maximalen Rumpfkraft eine mögliche Ursache für vermehrte Kreuzbandverletzungen bei jungen Skirennläufern sind [8]. Neben traumatisch bedingten Verletzungen führen repetitive Überlastungsverletzungen zu häufigen Trainingsausfällen. Eine 2-jährige, retrospektive Studie an 15- bis 18-jährigen Skirennfahrern zeigte, dass mehr als 50% mindestens eine mit Trainingsausfällen verbundene Überlastungsverletzung hatten [9]. Die Sicherung der sportlichen Belastbarkeit durch Minimierung verletzungsbedingter Ausfälle ist daher eine zwingende Voraussetzung für einen erfolgreichen langfristigen Leistungsaufbau.

## Ziele und Umsetzung der Prävention am Beispiel einer Skiinternatsschule: Entwicklung einer Trainings- und Verletzungsdatenbank

Die Erforschung verletzungspräventiver Massnahmen orientiert sich an einem 4-Phasen-Modell nach van Mechelen [10]. Im 1. Schritt gilt es, das sportartspezifische Ausmass der Verletzungen anhand epidemiologischer Daten darzustellen. Im 2. Schritt werden Risikofaktoren identifiziert, um daraus im 3. Schritt entsprechende Präventionsmassnahmen ableiten zu können. Im letzten Schritt müssen diese Massnahmen basierend auf einer Effizienzprüfung erneut durch Abhandlung des 1. Schrittes evaluiert werden. Um die Belastbarkeit der heranwachsenden Athleten optimieren zu können, bedarf es einer komplexen und zuverlässigen Erhebung relevanter Parameter. Abbildung 1 stellt die konkreten Ziele und Umsetzungen bei 9- bis 14-jährigen Schülern (51 männlich, 31 weiblich) einer renommierten Skiinternatsschule dar. Basierend auf einer eigens entwickelten Onlinedatenbank er-



**Abbildung 1:** Schema zur schrittweisen Umsetzung der Prävention basierend auf einer Verletzungs- und Trainingsdatenbank

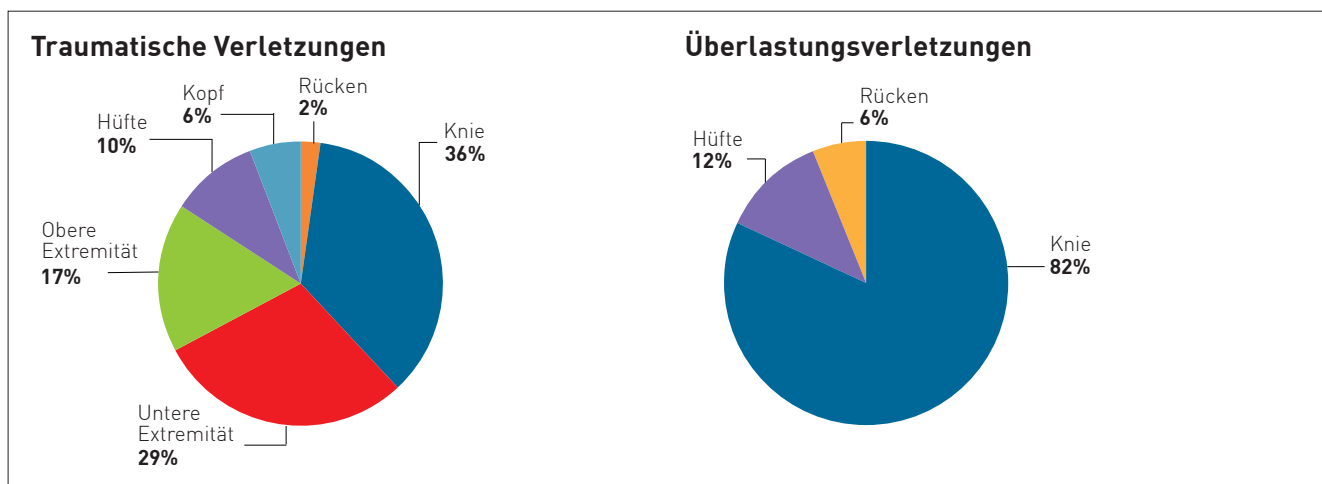
folgt die regelmässige Erhebung der Trainings- und Verletzungsdaten. Nach einer 1-jährigen Pilottestung und entsprechenden Modifikationen werden seit 2014 kontinuierlich Daten registriert. Neben der Erhebung wissenschaftlicher Daten stand auch die benutzerfreundliche Anwendung im Vordergrund, sodass eine zuverlässige und vollständige Dokumentation seitens der Trainer erfolgen kann. Jeder Trainer erhielt nach einer Einführung zur Arbeitsweise mit der Datenbank einen personalisierten Zugang zur Onlineplattform und registrierte Inhalte, Umfänge und Intensitäten der jeweiligen Trainingseinheiten (Ski/Kondition/Ausgleichstraining). Konnte ein Athlet nicht am regulären Training teilnehmen, registrierte der Trainer die Abwesenheit und den Grund. Bei gesundheitlichen Problemen wie traumatischen Verletzungen und Überlastungen wurden relevante medizinische Informationen in Kooperation mit den Eltern, den Trainern sowie den behandelnden Physiotherapeuten und Ärzten eingeholt. Erfolgte eine ärztliche Behandlung, wurde der Befundbericht ausgewertet. Die Einteilung des Schweregrades der Verletzungen erfolgte basierend auf den Trainingsausfalltagen in minimal (1–3 Tage), mild (4–7 Tage), moderat (8–28 Tage) und schwerwiegend (>28 Tage) [11]. Vor Studienbeginn erfolgte die Aufklärung über Inhalte und Ziele der Studie, von jedem Elternteil sowie den verantwortlichen Trainern wurde die Einverständniserklärung eingeholt.

## Ausmass der Verletzungen

Die epidemiologischen Ergebnisse beziehen sich auf die kürzlich publizierte Studie von Müller et al. (2017) [12]. Zur genaueren Beschreibung der Datenerhebung und Auswertung sei an dieser Stelle auf diese Publikation verwiesen.

### Traumatische Verletzungen

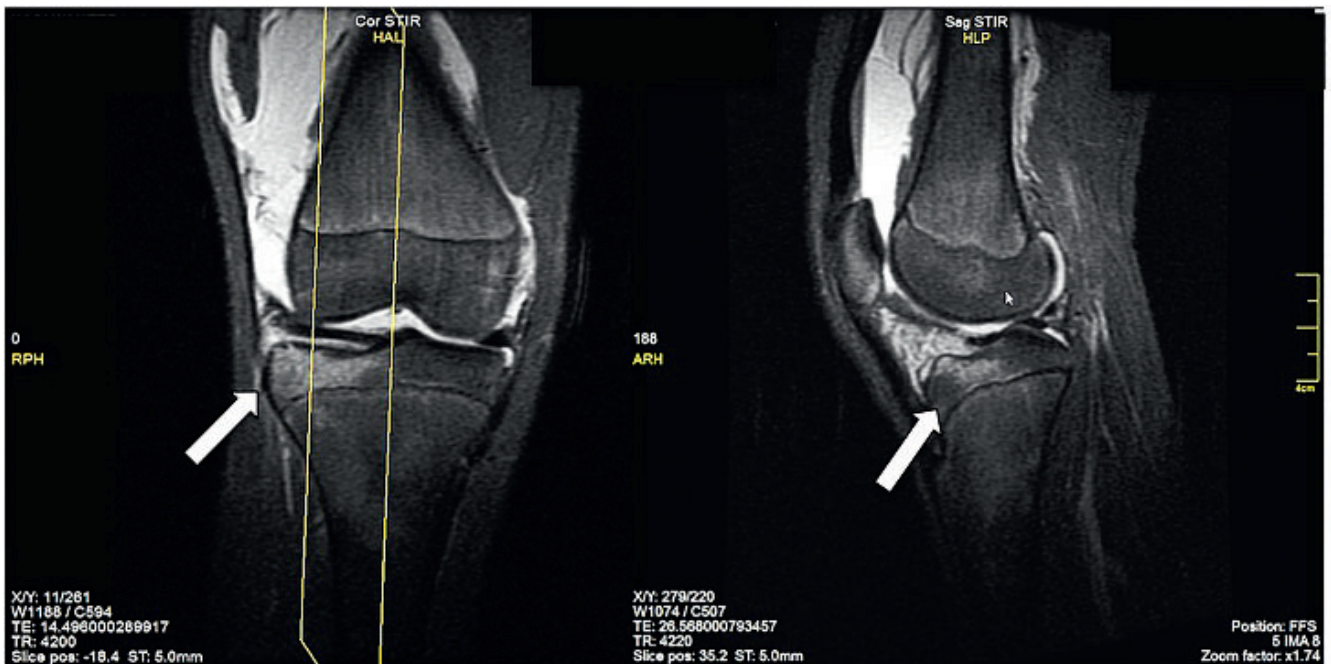
Den grössten Anteil an allen Verletzungen stellten mit 52 Verletzungen bei 35 Athleten (14 weiblich, 21 männlich) über den Zeitraum von 2 Jahren die traumatischen Verletzungen dar. Dies entsprach einer Verletzungsrate von 0,63/Athlet und 0,86/1000 Trainingsstunden. Die häufigste Verletzungsregion waren die unteren Extremitäten mit 36,5% am Knie und 28,4% am Unterschenkel (Abb. 2). Verletzungen am Knochen (46,1%) waren insgesamt die häufigsten Entitäten, wobei eine führende Diagnose «bone bruise» war (Abb. 3). Der grösste Anteil der Verletzungen wurde als moderat eingestuft (44,0%), 11,5% galten als schwerwiegend. Tabelle 1 gibt einen exemplarischen Überblick zu spezifischen Befunden, die ursächlich beim Skifahren passierten (72,6%) und jenen, die nicht skispezifisch diagnostiziert wurden (27,4%). Die Auswertung bei Athleten im



**Abbildung 2:** Prozentuale Verteilung der Lokalisation traumatischer Verletzungen und Überlastungen im Nachwuchsskirennsport (nach Müller et al. 2017)

skispezifisch	nicht skispezifisch
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anterolaterale Tibiakopfimpression ohne Band- und Meniskusläsion nach Hyperextensionstrauma (Abb. 3)</li> <li>• «Bone Bruise» lateraler Schienbeinkopf ohne Bandläsionen</li> <li>• Menisco-kapsulärer Einriss des Hinterhorn-Innenmeniskus mit «Bone Bruise» mediale Femurrulle nach Verdrehung des Knies</li> <li>• Epiphysenverletzung Calcaneus Aitken 1 nach Sturz beim Skirennen</li> <li>• Dislozierte distale Radiusfraktur nach Sturz</li> <li>• Isolierte Ruptur des vorderen Kreuzbandes nach Sprung mit Sturz bei Landung</li> <li>• Apophysäre Verletzung Tuberositas Tibiae (Ogden 1) ohne Gelenkbeteiligung nach Sturz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraktur BWK VI (Typ A1) nach Sturz beim Trampolinspringen (Konditionstraining)</li> <li>• Tuberculum majus Fraktur nach Sturz im Konditionstraining</li> <li>• Subluxation tali dexter nach Sturz von Treppe (Freizeit)</li> <li>• Comotio cerebri nach Zusammenstoss beim Fussballspielen (Freizeit)</li> </ul>

**Tabelle 1:** Typische traumatische Verletzungen im Nachwuchsskirennsport in Abhängigkeit der Ursache



**Abbildung 3:** Anterolaterale Tibiakopfimplosion ohne Band- und Meniskusverletzungen im T2-gewichteten MRI (koronare und sagittale Schichtung)

ersten Selektionsalter ergab eine im Vergleich zu Weltcupathleten niedrigere, aber dennoch relevante Rate an traumatischen Verletzungen. In Abgrenzung zu den adoleszenten Skiathleten und Weltcupathleten, bei denen die vordere Kreuzbandruptur (VKB) eine häufige Verletzung darstellte [5,8], sind bei jungen Nachwuchssportlern Knochenprellungen und Brüche am häufigsten. Über die 2-Jahres-Periode wurde nur eine VKB-Ruptur eines männlichen Athleten registriert. Apophysenaustrisse durch singuläre Traumata als Folge von Skistürzen, wurden bei jugendlichen Sportlern bereits häufiger berichtet [13,14]. Traumabedingte knöchernere Verletzungen wurden häufig ohne Beteiligung von Bandstrukturen diagnostiziert. Eine erhöhte Elastizität und damit geringere Verletzungsanfälligkeit von Sehnen und Bandstrukturen scheint ursächlich und wurde in früheren Studien berichtet [15].

## Überlastungen

Im Bereich Überlastungsverletzungen gab es eine vergleichsweise niedrige Rate von 0,21 Überlastungen/Athlet (17 Überlastungen bei 13 Athleten, davon 11 männlich) bzw. 0,28/1000 Trainingsstunden. Die häufigste Überlastungsregion war mit 82,3% das Knie (Abb. 2). Die während des Wachstums auftretende relative Verkürzung der Muskulatur durch Längenwachstum der Knochen führte insbesondere bei den männlichen Athleten zu apophysären Problemen. Eine häufig gestellte Diagnose war «anterior knee pain» sowie die Überlastung der Apophyse an der Tuberositas Tibiae, die als Morbus Osgood Schlatter als typische Überlastungsverletzung in der Literatur beschrieben wurde [16]. Die während des Skifahrens erhöhte Spannung im M. quadriceps femoris sowie erhöhte Druck- und Scherkräfte, welche auf die Wachstumsfuge oft rechtwinklig zur Belastungsachse wirken, führen zu lokalen Überlastungen. Auch wirken im Patellofemorallenk in Abhängigkeit vom Kniebeugewinkel hohe Drücke

[17]. Das Prädispositionsalter ist das 12.–16. Lebensjahr. Weiterführende, longitudinale Beobachtungen über das 14. Lebensalter hinaus sind notwendig, um ein vollständiges Bild zur Prävalenz zu bekommen. Neben dem Knie wurden Überlastungsverletzungen im Bereich Rücken als häufige, skispezifische Problematiken in der Literatur berichtet [9,18]. Eine hyperkyphotische Haltung während des Skifahrens lässt das Auftreten von lokalen Überlastungen der Brustwirbelsäule bis hin zum Morbus Scheuermann vermuten [19]. In der vorliegenden Studie gab es während des Erhebungszeitraums von 2 Jahren nur 2 Athleten, die von Rückenschmerzen berichteten, wobei diese nach diagnostischer Abklärung als muskulär eingestuft wurden. Ein frühes konsequentes Ausgleichstraining scheint in präventiver Hinsicht von grosser Relevanz.

## Ausblick

Mit der Implementierung einer sportartspezifischen Trainings- und Verletzungsdatenbank erfolgte bereits der erste grundlegende Schritt, um zukünftig verletzungsrelevante Daten konsequent und langfristig zu erheben. Zur Überprüfung und Auswertung von Risikofaktoren gilt es nun, die vorhandenen sportwissenschaftlichen, sportmedizinischen und physiotherapeutischen Kenndaten im Hinblick auf Geschlecht und Alter zusammenhängend auszuwerten. Dabei müssen insbesondere modifizierbare Risikofaktoren zur Reduktion traumatischer Verletzungen Beachtung finden. Die niedrige Rate an Überlastungen der heranwachsenden Athleten scheint auf das regelmässig durchgeführte Screening des Muskel- und Skelettsystems (Physiotherapie), einem konsequenten Ausgleichstraining sowie einer frühzeitigen Belastungsreduktion bei gesundheitlichen Problemen zurückzuführen zu sein. Weiterführende longitudinale Beobachtungen der Athleten über das erste Selektionsalter hinaus sind wesentlich, um die auftreten-



den Verletzungen im Kontext der biologischen Entwicklung sowie der Trainings- und Wettkampfanforderungen darzustellen.

### Das Wichtigste für die Praxis

- In der Praxis der Präventionsforschung zeigte sich die Implementierung einer sportartspezifischen Trainings- und Verletzungsdatenbank als eine wichtige Voraussetzung für eine fundierte, prospektive Erhebung von sportmedizinischen und sportwissenschaftlichen Daten.
- Traumatische Verletzungen bei jungen Skinachwuchsathleten sind charakterisiert durch eine hohe Rate an knöchernen Verletzungen. In Abgrenzung zu Weltcupathleten sind ligamentäre Strukturen deutlich seltener betroffen.
- Überlastungsverletzungen sind im ersten Selektionsalter (10–14 Jahre) von niedriger klinischer Relevanz. Eine frühzeitige Reduktion der Trainingsumfänge und Trainingsintensitäten bei entsprechender Symptomatik sowie ein regelmässiges Ausgleichstraining sind aus präventiver Sicht von grosser Bedeutung.
- Unabhängig von der Verletzungsart stellt das Knie das am häufigsten betroffene Gelenk bei heranwachsenden Skiathleten dar.

### Korrespondenzadresse

Carolin Hildebrandt  
Institut für Sportwissenschaft,  
Universität Innsbruck  
Fürstenweg 185, 6020 Innsbruck,  
Österreich  
Tel. +43 (0) 512507-45907  
E-Mail: carolin.hildebrandt@uibk.ac.at



Note: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

### Literatur

1. Drew MK, Finch CF. The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Med.* 2016;46(6):861-883.
2. Maffulli N, Longo UG, Spiezia F, Denaro V. Sports Injuries in Young Athletes: Long-Term Outcome and Prevention Strategies. *Phys Sportsmed.* 2010;38(2):29-34.
3. Huxley DJ, O'Connor D, Healey PA. An examination of the training profiles and injuries in elite youth track and field athletes. *Europ J Sport Sci.* 2014;14(2):185-192.
4. Malisoux L, Frisch A, Urhausen A, Seil R, Theisen D. Monitoring of sport participation and injury risk in young athletes. *J Sci Med Sport.* 2013;16(6):504-508.
5. Flørenes 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):973-978.
6. Westin M, Alricsson M, Werner S. Injury profile of competitive alpine skiers: a five-year cohort study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(6):1175-1181.
7. 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(4):599-614.
8. 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(15):1065-1071.
9. Hildebrandt C, Raschner C. Traumatic and overuse injuries among elite adolescent alpine skiers. *Int SpoMed J.* 2013;14(4):245-255.
10. van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries: a review of concepts. *Sports Med.* 1992;14(2):82-99.
11. Clarsen B, Rønsen O, Myklebust G, Flørenes TW, Bahr R. The Oslo Sports Trauma Research Center questionnaire on health problems: a new approach to prospective monitoring of illness and injury in elite athletes. *Br J Sports Med.* 2014;48(9):754-760.
12. Müller L, Hildebrandt C, Müller E, Oberhoffer R, Raschner C. Injuries and illnesses in a cohort of elite youth alpine ski racers and the influence of biological maturity status and relative age: a two-season prospective study. *Open Access J Sports Med.* 2017;(8):113-122.
13. Kessler T, Wagner N, Winkler H. Apophysenaufriss der Tuberositas tibiae und Fraktur der dorsalen Tibiakopfepiphyse. *Unfallchirurgie.* 2006;109(11):990-994.
14. Nehrer S, Huber W, Dirisamer A, Kainberger F. Apophyseal damage in adolescent athlete. *Radiol.* 2002;42(10):818-822.
15. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *Int J Sports Med.* 2001;22(2):138-143.
16. Patel DR, Villalobos A. Evaluation and management of knee pain in young athletes: overuse injuries of the knee. *Transl Pedia.* 2017;6(3):190-193.
17. Petersen W, Rembitzki I, Liebau C. Patellofemoral pain in athletes. *Open Access J Sports Med.* 2017;(8):143-154.
18. Spörri J, Kröll J, Haid C, Fasel B, Müller E. A Descriptive Biomechanical Study. *Am J Sports Med.* 2015;43(8):2042-2048.
19. Purcell L, Michelli L. Low Back Pain in Young Athletes. *Sports Health.* 2009;1(3):212-222.

# Injuries and illnesses in a cohort of elite youth alpine ski racers and the influence of biological maturity and relative age: a two-season prospective study

Lisa Müller<sup>1</sup>  
Carolin Hildebrandt<sup>1,2</sup>  
Erich Müller<sup>3</sup>  
Renate Oberhoffer<sup>2</sup>  
Christian Raschner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Sport Science, University of Innsbruck, Innsbruck, Austria; <sup>2</sup>Department of Sport and Health Science, Preventative Pediatrics, Technical University of Munich, Munich, Germany; <sup>3</sup>Department of Sport Science and Kinesiology, University of Salzburg, Salzburg, Austria

**Background:** Studies on injuries and illnesses involving youth ski racers younger than 15 years are lacking in the literature. The aim of this study was prospectively to assess the incidence, prevalence, and severity of traumatic and overuse injuries, as well as illnesses of elite youth ski racers with regard to sex, biological maturity status, and relative age.

**Subjects and methods:** A prospective, longitudinal cohort design was used to monitor the anthropometrics, training characteristics, traumatic and overuse injuries, and illnesses of 82 elite youth ski racers (51 males, 31 females, age 9–14 years) over 2 consecutive years. The exact training exposure (skiing and athletic) was recorded. Relative age and estimated biological maturity status were assessed.

**Results:** Relatively low injury incidence or prevalence (traumatic, 0.86/1,000 hours of training; overuse, 0.28/1,000 hours) and comparably high illness prevalence (2.4/athlete) were reported. The knee was the most commonly affected body part (traumatic injuries 36.5%, overuse injuries 82%). A high number of bone fractures were revealed (46%), while no stress fractures occurred; 66% of the illnesses were respiratory tract infections. No differences were found between males and females, the differing maturity groups, or relative age quartiles. Early-maturing athletes had comparably low traumatic and overuse-injury rates. Relatively younger athletes had low traumatic injury rates.

**Conclusion:** The injury-prevention measures implemented in the training process of youth ski racers seem to contribute to a low incidence of injury. Biological maturity status should be considered in the training process to prevent injuries in late-maturing athletes.

**Keywords:** traumatic and overuse injuries, health problems, youth alpine ski racing, birth quarter, biological development

## Introduction

Alpine ski racing is a sport with a high risk of injury.<sup>1</sup> Through the extensive efforts of the Fédération International de Ski (FIS), there has been an increase in data on traumatic injuries in elite, high-level alpine ski racing.<sup>2,3</sup> Injury rates of 36.2–36.7 injuries per 100 athletes per season have been reported among World Cup athletes.<sup>3,4</sup> The most commonly injured body part is the knee; rupture of the anterior cruciate ligament (ACL) is the most frequent traumatic injury.<sup>5,6</sup> However, reliable collection of injury data in youth alpine ski racers remains a challenge; therefore, studies involving youth ski racers, particularly with regard to overuse injuries, are less common and represent a gap in scientific research on injury prevention in alpine ski racing.<sup>1</sup> Additionally,

Correspondence: Lisa Müller  
Department of Sport Science, University of Innsbruck, 185 Fürstenweg, Innsbruck 6020, Austria  
Tel +43 512 5074 5904  
Email [lisa.mueller@uibk.ac.at](mailto:lisa.mueller@uibk.ac.at)





off-season and off-snow training should be investigated.<sup>1</sup> The first step in injury prevention is to establish the extent of injury problems by examining the sport-specific incidence and severity.<sup>7</sup> One study involving youth ski racers (>16 years of age) revealed similar results to studies at the elite level. Ligament injuries in the knee were the most common, and nearly half of the injuries were classified as severe.<sup>8</sup> High training volume, intensity, and the adolescent growth spurt represent multiple risk factors for overuse injuries in youth sport.<sup>9,10</sup> In a 2-year retrospective study, more than half of all investigated 15- to 18-year-old ski racers had at least one overuse injury.<sup>11</sup> Additionally, youth ski racers had significantly higher rates of anterior end-plate lesions than age-matched control subjects.<sup>12</sup> The combination of frontal bending, lateral bending, and torsion in the loaded trunk has been found to be a potential risk factor for overuse injuries in elite ski racers.<sup>13</sup> Given these factors, skiing-specific overuse injuries, especially in young athletes, are of particular interest, due to possible growth disturbances and long-term deformities. A further challenge in youth-sport specializations is the dual management of training programs and school education. Physiological and psychological overload combined with inappropriate regeneration may negatively affect the immune system of young athletes, leading to a higher incidence of illness. To date, no studies have reported illness data in youth alpine ski racers, even though illnesses can inhibit training adaptation if they exceed a certain frequency.

Likewise, injury prevention in youth sport includes investigation of the relationship between biological maturity status and injuries. No such studies have been undertaken in alpine ski racing. In youth soccer, no significant differences were found in the overall incidence of injury among players of differing maturity status.<sup>14</sup> However, late-maturing athletes had a higher incidence of severe injuries than normal-maturing athletes. Additionally, in Canadian youth ice hockey, relatively older athletes were at an increased risk of injury compared to relatively younger players.<sup>15</sup> However, the influence of relative age on injuries in alpine ski racing has not been investigated, although the relative age effect is present in all age categories at both the national and international levels<sup>16</sup> and is influenced by biological maturity status.<sup>17</sup>

Most studies conducted to establish the extent of injuries and illness have been retrospective or based on questionnaires;<sup>11,18,19</sup> however, recall bias associated with retrospective study designs often restricts the interpretation of injury-surveillance studies. As such, a prospective study design should be used to avoid recall biases. Therefore, the first aim of the present study was to develop a user-friendly

training-and-injury database as the basis for prospective and reliable data collection. Second, prospective assessment of the incidence, prevalence, and severity of traumatic and overuse injuries, as well as illnesses, of elite youth ski racers with regard to sex, biological maturity status, and relative age should be performed. It was hypothesized that relative age and maturity status would affect the characteristics of traumatic and overuse injuries and illnesses.

## Subjects and methods

### Participants

In total, 82 elite youth ski racers (51 males and 31 females) aged 9–14 years were included in the study. The athletes were pupils of a well-known ski boarding school, for which they had to pass an entrance exam with both skiing-specific and general physical performance tests, as well as alpine skiing-specific exercises. All athletes compete at the national junior level. Prior to the study, written informed consent was obtained from the parents of the subjects and the head coach, as well as the coaches of the single classes.

### Design and data collection

A prospective, longitudinal cohort design was used to monitor anthropometrics, training characteristics, traumatic and overuse injuries, and illnesses over two consecutive seasons (2014–2015 and 2015–2016), ie, school years, which lasted from the beginning of September until the beginning of July. Prior to the study, an Internet-based database (training and injury) was developed specifically for this ski boarding school to record all relevant information with regard to training, injuries, and illnesses. For each training session (athletic and skiing), the presence or absence of each athlete and a detailed training profile were recorded by the coaches, who received detailed instruction on injury definition and explanation and how to complete the injury-and-illness surveillance sheet. The reason (illness, injury, or other) for the absence of an athlete was indicated for each training session, and certain medical information was provided (illness: major symptoms, medical attendance, fever; injury: type of injury, affected body part, reason, recurrence, treatment). This information was implemented by the member responsible in the study team. All data were systematically checked with the coaches and physiotherapists, either face-to-face or by telephone. In cases of injuries and illnesses that required medical attention, a detailed medical report was provided.

A traumatic injury was defined as injury with a sudden onset based on time loss,<sup>20</sup> and the type of traumatic injury and affected body part were defined according to the

injury-surveillance consensus paper of the International Olympic Committee.<sup>21</sup> The classification of injury severity (minimal, time loss of 1–3 days; mild, 4–7 days; moderate, 8–28 days; severe, >28 days; injury causing end of career) was performed according to Clarsen et al.<sup>22</sup> An overuse injury was defined as any physical complaint that was not attributable to a single identifiable event and caused time loss from full participation in training.

The anthropometric characteristics of each athlete were assessed both prior to the start of winter training (September) and at the end of the season (May). In total, four measurements were performed during the 2 years, and the mean was calculated including the biological maturity status. This was assessed using the noninvasive method of calculating the age at peak height velocity (APHV) with sex-specific prediction equations.<sup>23</sup> The good validity of this method was shown in an examination of youth ski racers by comparing the APHV method with the estimation of skeletal age using X-rays of the left wrist.<sup>24</sup> Following the approach used by Deprez et al.,<sup>25</sup> the athletes were then divided into three maturity groups (early-, normal-, or late-maturing) based on the mean  $\pm$  standard deviation (SD) of the APHV of the total sample (separated by sex; normal, APHV within mean  $\pm$  SD; early, APHV < mean – SD; late, APHV > mean + SD).

The birth dates of all participants were collected and categorized into four relative age quartiles (Q1–Q4) according to their birth months (Q1, January–March; Q2, April–June; Q3, July–September; Q4, October–December). The anthropometric data of the participants separated by sex are presented in Table 1 (mean of four measurements). The study was performed according to the Declaration of Helsinki and was approved by the Institutional Review Board of the Department of Sport Science of the University of Innsbruck and the Board for Ethical Questions of the University of Innsbruck.

## Statistical analyses

All data were controlled for double reporting. Descriptive statistics are presented as mean  $\pm$  SD for continuous variables

**Table 1** Anthropometric data (mean  $\pm$  SD) of participants according to sex

Anthropometrics	Males (n=51)	Females (n=31)
Age (years)	11.6 $\pm$ 1.5	11.8 $\pm$ 1.3
Height (cm)	153.4 $\pm$ 9.0	154.9 $\pm$ 7.7
Weight (kg)	42.3 $\pm$ 8.1	43.8 $\pm$ 7.9
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	17.8 $\pm$ 1.9	18.1 $\pm$ 2.2
APHV (years)	13.7 $\pm$ 0.5	12.0 $\pm$ 0.5

**Abbreviations:** BMI, body mass index; APHV, age at peak height velocity; SD, standard deviation.

and as frequency counts and percentages for categorical variables. Categorical variables, such as sex-specific differences and differences between the three groups of maturity status and athletes of the four relative age quartiles, were assessed by  $\chi^2$ -tests. Additionally, odds ratios (ORs) and 95% confidence intervals (95% CIs) were calculated. The injury rate was calculated as the number of injured ski racers divided by number of ski racers (separated by sex). The incidence of traumatic injuries per 1,000 hours of training exposure (athletic and skiing-specific) was assessed by the number of injuries divided by total number of hours of exposure multiplied by 1,000. The prevalence rates of illness and overuse injuries were also calculated.<sup>22,26</sup> The level of significance was set at  $P < 0.05$ . All calculations were performed using SPSS 23.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

## Results

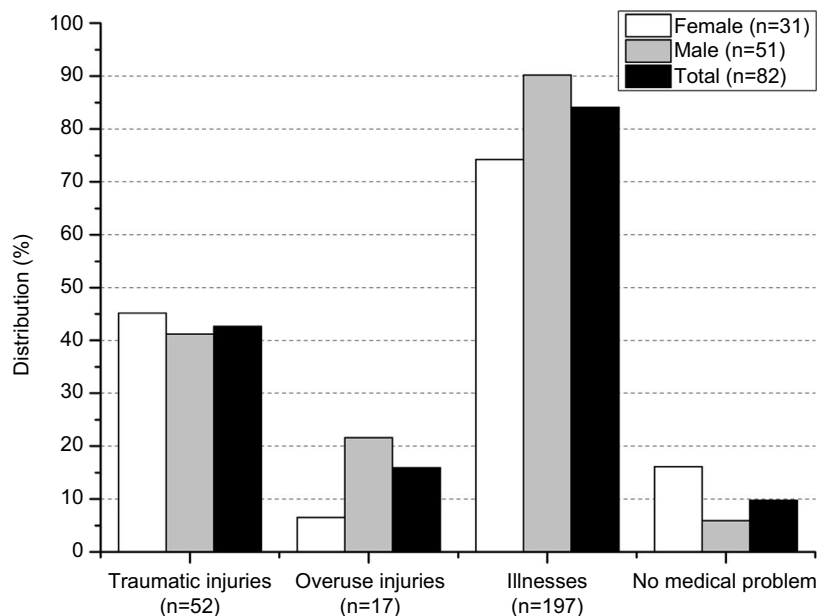
At the beginning of the study, 85 athletes were enrolled. Throughout the 2-season study period, three athletes left the school. The 82 remaining athletes reported 266 medical problems in total.

### Training exposure

Throughout the two-season study period, 2,020 training sessions (922 skiing, 1,098 athletic) were analyzed. A total mean exposure time of 738 hours (261 hours of athletic training, 477 hours of skiing-specific training) was recorded. A mean of 2.9 ( $\pm 0.1$ ) skiing sessions and 1.9 ( $\pm 0.1$ ) athletic sessions were performed per week; this corresponded to 12 ( $\pm 0.9$ ) hours of skiing training and 3.7 ( $\pm 0.5$ ) hours of athletic training per week, as well as 236.6 ( $\pm 17.8$ ) hours of skiing training and 130.1 ( $\pm 17.2$ ) hours of athletic training per season. The athletes participated in a mean of 17 ( $\pm 6.3$ ) races per season.

### Traumatic injuries

In total, 52 traumatic injuries were reported by 42.7% of the athletes (n=35, 14 females, 21 males; Figure 1), which produced a rate of 0.63 injuries/athlete and an incidence of 0.86 traumatic injuries per 1,000 hours of training (males, 0.9/1,000 hours of training; females, 0.79/1,000 hours of training). Among all female athletes with a traumatic injury, 7% (n=1) reported two injuries; all other injured females sustained one traumatic injury during the two-season study period. Among injured male athletes, 71.4% (n=15) reported one, 23.8% (n=5) reported two, and 4.8% (n=1) sustained three traumatic injuries. The month with the highest injury rate was January (26.9%), followed by November and June (13.5% each). Table 2 presents the distribution of injury type



**Figure 1** Traumatic and overuse injuries of the total sample, separated by sex (percentage of affected athletes of total sample).

**Table 2** Distribution of injury type and injured body part

Type and localization of injury	Category of injury, n (%)		Total, n (%)
	Overuse	Traumatic	
<b>Type of injury</b>			
Muscle and tendon	16 (94.1)	9 (17.3)	25 (36.2)
Ligament	0	13 (25)	13 (18.8)
Joint	1 (5.9)	3 (5.8)	4 (5.8)
Bone	0	24 (46.1)	24 (34.8)
Brain/spinal cord	0	3 (5.8)	3 (4.4)
<b>Injured body part</b>			
Head/neck	0	3 (5.8)	3 (4.4)
Upper extremity	0	9 (17.4)	9 (13.1)
Trunk/back	1 (5.9)	1 (1.9)	2 (2.9)
Knee	14 (82.3)	19 (36.5)	33 (47.8)
Hip/thigh	2 (11.8)	5 (9.6)	7 (10.1)
Lower leg/foot/ankle	0	15 (28.8)	15 (21.7)

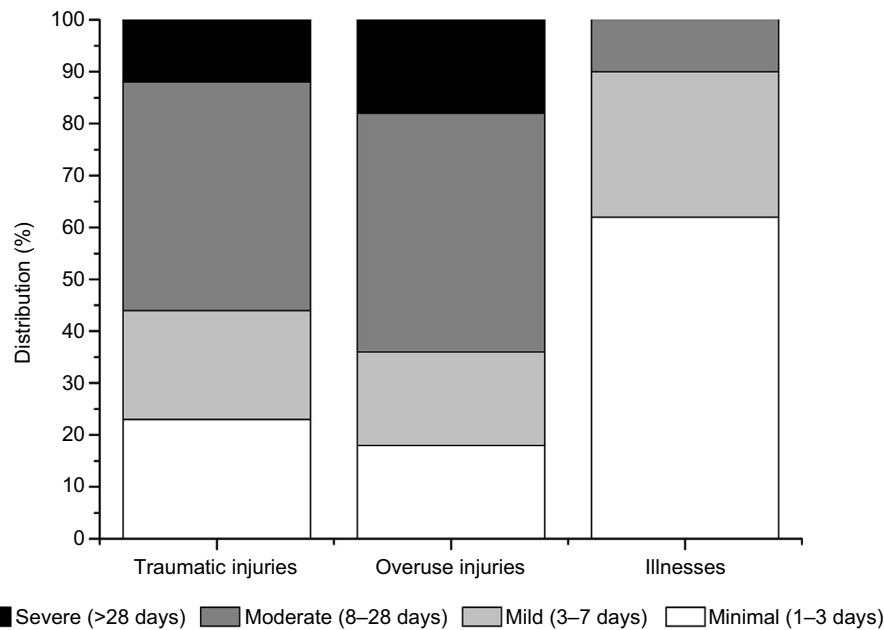
and injured body parts. Most of the traumatic injuries affected the bones (46.1%), resulting in fractures and bone bruises, as well as ligament injuries (25%). The knee was the most commonly injured body part (36.5%), followed by the lower extremities (28.8%). Only one male athlete sustained an ACL rupture. More than half of the injuries occurred in training sessions (57.7%), followed by leisure time activities (26.9%) and competition (9.6%); 5.8% could not be classified. Most of the traumatic injuries (44.2%) were classified as moderate (Figure 2). No significant differences were observed in the frequencies of traumatic injuries between males and females ( $P=0.617$ ; Figure 1), the three groups of maturity ( $P=0.643$ ; Figure 3), or the four relative age quartiles ( $P=0.3$ ; Figure 4).

## Overuse injuries

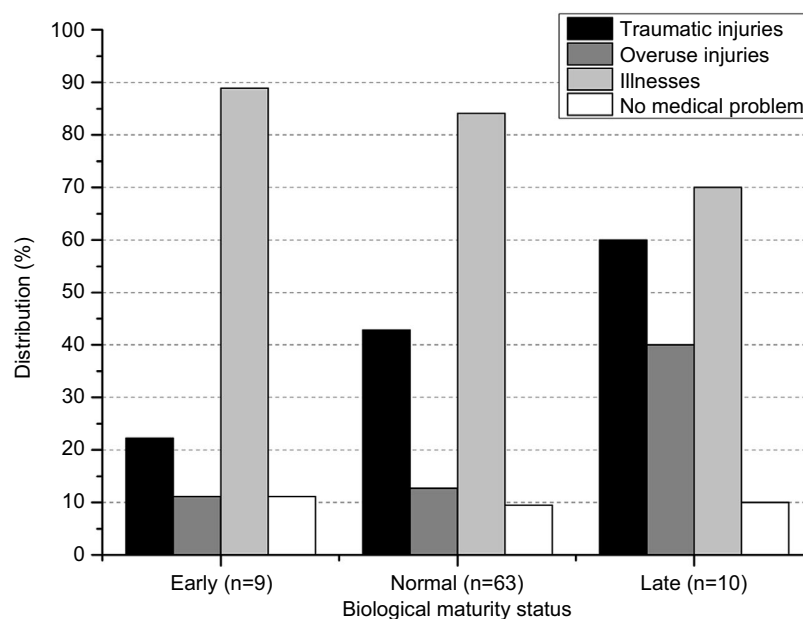
In total, 17 overuse injuries were reported by 13 athletes (10.7%, 2 females, 11 males; Figure 1), with a rate of 0.21 overuse injuries/athlete and a prevalence of 0.28 overuse injuries/1,000 hours of training (males, 0.4/1,000 hours of training; females, 0.09/1,000 hours of training). Most of the overuse injuries had occurred for the first time, while only 23.1% were defined as recurrent. The most commonly affected body part was the knee (82.3%), and nearly all overuse injuries comprised tendon and muscle structures (94.1%; Table 2). May and September (23.5% each) were the months with the highest overuse-injury rates. All overuse injuries caused time loss, and most were classified as moderate (47.1%) or severe (17.6%; Figure 2). No significant differences were present in the frequencies of overuse injuries between males and females ( $P=0.81$ ; Figure 1), the three groups of maturity ( $P=0.696$ ; Figure 3), or among the four relative age quartiles ( $P=0.22$ ; Figure 4).

## Illnesses

A total of 69 athletes (84.1%, 23 females, 46 males; Figure 1) were affected by 197 illnesses, with a rate of 2.4 illnesses/athlete. Most of the illnesses were respiratory tract infections (66.4%), followed by gastrointestinal problems (18.7%), and headache/dizziness (10.7%). The months with the highest prevalence of illnesses were January (15.2%) and April (12.7%). Most of the illnesses were categorized as minimal (61.9%; Figure 2). A quarter of illnesses required



**Figure 2** Severity of traumatic and overuse injuries as well as illnesses.



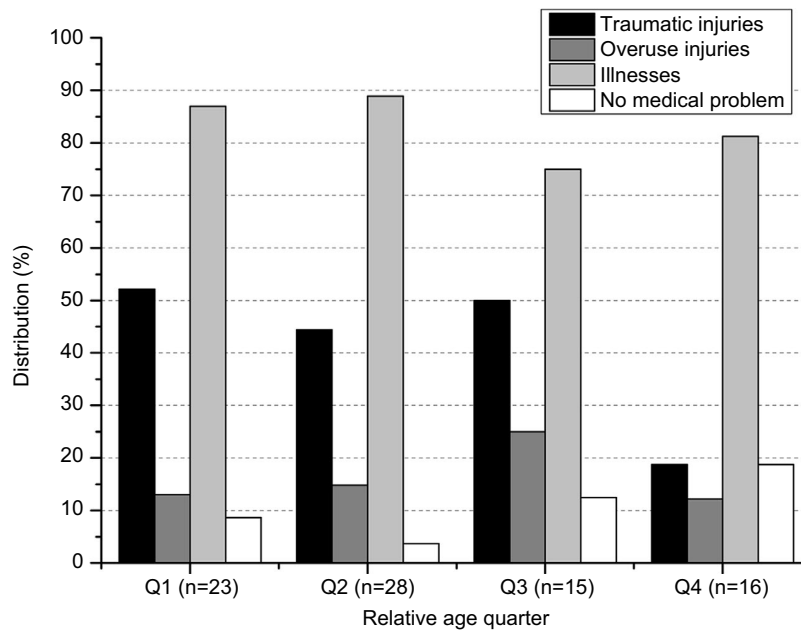
**Figure 3** Traumatic injuries, overuse injuries, and illnesses separated by biological maturity status (percentages of affected athletes in each category).

medical attendance, and 31% caused a fever of at least 1 day. No significant differences were present in the frequency of illnesses between males and females ( $P=0.554$ ; Figure 1), the three groups of maturity ( $P=0.931$ ; Figure 3), or among the four relative age quartiles ( $P=0.752$ ; Figure 4).

### Absence of medical problems

Among all athletes, eight (9.8%, three males, five females; Figure 1) reported no medical problems. Female athletes

had a significantly higher chance of having no medical problems ( $\chi^2=5.775$ , OR 0.85, 95% CI 0.48–1.5;  $P=0.016$ ). No significant differences were present in the frequencies of “no medical problem” among the three groups of maturity ( $P=0.761$ ; Figure 3) or the four relative age quartiles ( $P=0.106$ ; Figure 4). When the first and the last relative age quartile were compared, Q4 athletes had a significantly higher chance of having no medical problems ( $\chi^2=5.74$ , OR 0.38, 95% CI 0.13–1.05;  $P=0.017$ ).



**Figure 4** Traumatic injuries, overuse injuries, and illnesses separated by relative age quarter (percentage of affected athletes in each category).

## Discussion

The present study was the first prospective study on injury incidence and severity involving youth alpine ski racers younger than 15 years, as suggested by Spörri et al.<sup>1</sup> Relatively low incidence of traumatic and overuse injuries and comparably high prevalence of illnesses were revealed. No sex-specific differences were present, except for females presenting a higher chance of having no medical problems. No significant differences were found between differing maturity groups and relative age quartiles. However, Q4 athletes had a significantly higher chance of having no medical problems than Q1 athletes, and only small percentages of relatively younger (Q4) and early-maturing athletes were affected by traumatic and overuse injuries.

To date, most studies on injury and illness rates have investigated major events, with data acquisition over only a few days.<sup>27–29</sup> However, to understand the epidemiology of sport-specific health problems better, a long-term data analysis of the amount of time spent in training is required. In the present study, the numbers of training sessions and hours (including off-snow training) were regularly documented for each athlete over the entire study period; therefore, the results on incidence and prevalence reflect the exact exposure data.

### Traumatic and overuse injuries

The incidence and rate of traumatic injuries (0.86 injuries/1,000 hours of training, 0.63 injuries/athlete) were smaller than in studies at both the youth (1.7 injuries/1,000 ski hours)<sup>8</sup> and elite levels (36.7 injuries/100 athletes).<sup>1–4</sup>

Consistent with other studies,<sup>8,11</sup> no sex-specific differences were present in the number of traumatic injuries among youth ski racers, which may be associated with similar training-load exposure (skiing-specific and athletic training sessions were conducted together for males and females). In contrast, at the elite level, male athletes had a higher injury risk in general.<sup>4</sup> A possible explanation could be the more demanding course settings, diverse slope characteristics, and higher speeds in elite male ski racing compared to female ski racing, whereas at the youth level no such differences are apparent. Furthermore, it needs to be considered that the competition rate in youth athletes is much lower compared to the elite level.

The knee was the most commonly affected body part (36.5%) followed by the lower extremities (28.8%). This finding is consistent with the results of studies of World Cup athletes (knee 35.6%, lower leg 11.5%)<sup>2,6</sup> and youth athletes (knee 41%).<sup>8</sup> Previous studies have shown a high incidence of ACL ruptures in competitive alpine ski racers;<sup>2,6,30</sup> however, in the present study, only one male athlete suffered an ACL rupture. It can be assumed that the elastic properties of tendon structures in the growing athlete are higher and thus more compliant compared to full-grown athletes.<sup>31</sup> Most of the traumatic injuries were classified as moderate (44.2%), which is comparable to the results of Hildebrandt and Raschner (46%).<sup>11</sup> However, traumatic injuries at the World Cup level were mostly classified as severe (35.6%).<sup>4</sup> A possible reason for these contrasting results could be the retrospective study design at the elite level; it could be assumed that not all minimal or moderate

injuries were able to be assessed, because of missing data. A novel finding was the relatively high number of bone fractures, including physal fractures (46.1%). Two possible explanations exist. First, the age of peak bone mass is later than APHV by up to 1 year, which could lead to a higher vulnerability to bone fractures in athletes younger than 16 years.<sup>32</sup> Second, the physis is weaker than ligaments; therefore, fractures are more likely to occur than a rupture. Even though this injury is typical in children, further investigations are necessary.<sup>32</sup>

High training volumes, overscheduling, and the adolescent growth spurt represent risk factors for overuse injuries.<sup>33</sup> Epidemiological studies of overuse injuries in alpine ski racing are rare, especially those involving youth ski racers prior to or during puberty. A 2-year retrospective analysis of adolescent ski racers reported that more than 50% sustained at least one overuse injury.<sup>11</sup> In the present study, however, only 17 overuse injuries were reported. Therefore, an incidence of 0.28 injuries/1,000 hours of training was assessed. No sex-specific differences were found, although females had descriptively lower overuse-injury incidence (0.09 versus 0.4 injuries/1,000 hours of training); this finding is consistent with the results of Hildebrandt and Raschner.<sup>11</sup> However, it can be assumed that the prevalence of overuse injuries was underestimated. According to DiFiori,<sup>34</sup> overuse injuries can be classified into five stages. In the present study, only stage five was considered, which includes symptoms that cause an absence from full training. Although physiotherapists verified the overuse injuries, their classification is difficult, because overuse injuries do not have a precise onset.

In the present study, few reported overuse injuries were recurrent (23.1%) but classified as moderate (47.1%) or severe (17.6%). Therefore, the youth athletes had sufficient time to recover, and the pressure to return to training and competition or to train despite symptoms was not as high as it probably could have been for adolescent athletes. The most commonly affected body part was the knee (82.3%), which is consistent with previous findings for youth alpine ski racing<sup>11</sup> and other types of youth sport.<sup>9,26</sup> Growing athletes suffer from unspecified but self-limiting knee problems independently of the type of sport. The growth rate of the apophysis is slower than that of the epiphyseal plate, leading to problems of the interface between bone and ligaments. Most overuse injuries are classified as typical apophysitis, such as Osgood–Schlatter disease.<sup>35</sup> Despite the high number of fractures included as traumatic injuries, no stress fractures occurred. The highest overuse-injury rates were reported at the beginning of training following the holiday (September

and after changes in training (May); therefore, during these periods, low-impact training should be performed to enable the passive structures to adapt.

In total, relatively low rates of both traumatic and overuse injuries were revealed. Both the close cooperation with the coaches of the ski boarding school and the discussion about injury prevention in youth ski racing prior to the injury-prevention implementation at the beginning of the study might have shifted coaches' awareness. According to LaBella and Myer,<sup>36</sup> injury prevention in youths should include appropriate time for complementary training instead of focusing only on sport-specific training. Therefore, a regular physiotherapy examination was implemented in the training process of the ski boarding school. Based on these examinations, individual, complementary training sessions were applied to compensate for or prevent muscular imbalances and asymmetries in the young athletes. Additionally, a screening program with potentially preventive effects was performed in the ski boarding school. The program was conducted twice per year to identify pathophysiological conditions and to minimize intrinsic risk factors, such as joint instability, muscle-strength asymmetry, and muscle weakness. Therefore, it can be assumed that all these measures contributed to the relatively low traumatic and overuse-injury incidence and prevalence compared to the adolescent and elite levels.

## Illnesses

Illnesses represented the most common medical problem in the present study. During the two-season study period, 84.1% of all athletes were ill at least once, which corresponded to an illness rate of 2.4 illnesses/athlete. Most of the illnesses were respiratory tract infections (66.4%), which is consistent with the results of youth tennis (60%)<sup>26</sup> and those of adolescent athletes at the Winter Youth Olympic Games in 2016 (84%).<sup>29</sup> In the present study, 62% of illnesses were categorized as minimal, with a time loss of 1–3 days. No sex-specific differences were found in the prevalence of illnesses; however, at the Winter Youth Olympic Games in 2016, a significantly higher proportion of illnesses was reported among female athletes.<sup>29</sup> It can be assumed that the comparable illness rates for males and females may be associated with similar training-load exposure, because training was conducted together for males and females. Most of the illnesses occurred in January or April after short holidays. However, it is important to consider that these findings are based on a group of young pupils; as such, the combination of sport and life at the boarding school can contribute to a higher risk of infecting one another.



## Biological maturity status

The distribution of normal- (77%), early- (11%), and late-maturing (12%) athletes did not significantly differ from the expected normal distribution. This finding is consistent with the distribution of youth ski racers (10–15 years old) participating in provincial races in Austria.<sup>17</sup> No significant differences were observed in the occurrence of injuries and illnesses between differing maturity groups, which is consistent with a study of youth soccer<sup>14</sup> in which differences were found only in injury severity (late-maturing athletes had a higher incidence of severe injuries) and types of injury, but not in injury incidence. Mismatches in biological maturity between young athletes have been suggested to contribute to higher injury risk.<sup>37</sup> Interestingly, in the present study 60% of all late-maturing athletes had a traumatic injury and 40% an overuse injury, whereas only 22% of all early-maturing athletes had a traumatic injury and 11% an overuse injury. However, the differences were not significant, but a trend can be assumed wherein biological maturity status influences injury risk in youth ski racers. The small sample sizes in the groups of early- and late-maturing athletes and the generally low rates of injuries might explain the insignificant result. Nevertheless, these findings revealed that biological maturity status should be considered in the training process of youth ski racers to prevent traumatic and overuse injuries, especially in late-maturing athletes.

## Relative age

In Canadian youth ice hockey, relatively older athletes were shown to be at higher risk of injury, which additionally increased as the level of play became more competitive.<sup>15</sup> In the present study, no significant differences were found. However, relatively younger athletes had a significantly higher chance of having no medical problems than Q1 athletes. Additionally, only 19% of the Q4 athletes had a traumatic injury; the percentages of the other quartiles were much higher (Q1 52%, Q2 44%, Q3 50%). Although not significant, these results demonstrate that relatively younger athletes, who may have counteracted their relative age disadvantage if they were more mature and possibly at a higher level of physical fitness, seem to have a lower risk of traumatic injuries than their relatively older counterparts, which would again be in line with the results in Canadian youth ice hockey.<sup>15</sup> A high percentage of early-maturing athletes (41%) was found among relatively younger youth ski racers selected for national final races.<sup>17</sup> Therefore, the present findings could confirm that athletes of the last relative age quartile might be more mature and may thus have lower injury risk. However, further research is necessary.

## Conclusion

A relatively low incidence of traumatic and overuse injury and a high prevalence of illness were found among elite youth alpine ski racers under 15 years of age. No significant sex-specific differences were present, although females reported a descriptively lower overuse-injury rate than males. Relatively younger and early-maturing athletes sustained a comparatively low number of traumatic and overuse injuries. Therefore, biological maturity status should be considered in the training process to help prevent injuries. Both the prospective study design and implementation of the training-and-injury database seem to offer reliable data. The injury-prevention strategies implemented in the ski boarding school appear to have contributed to low incidences of traumatic and overuse injuries. Further investigations with larger sample sizes should be performed. Additionally, following the multistage sequence by van Mechelen et al,<sup>7</sup> the next step should involve evaluation of the detailed causes of injury, risk factors, and assessment of mechanisms in a cohort of youth ski racers.

## Strengths and limitations

Several strengths of the present study can be mentioned. It was the first study with regard to injury incidence and severity and illness prevalence involving youth ski racers younger than 15 years. The main strength is the prospective study design to avoid recall bias. Additionally, the exact time durations spent in skiing specific and athletic training were regularly documented, whereas in other studies injury incidence often could only be calculated per hours of races and off-snow training was not considered. Until now, no studies have been published with regard to illnesses in youth ski racing, although illnesses can inhibit training adaptations, which is another strength of the present study. The two aspects of biological maturity status and relative age were new approaches in injury-prevention research in alpine ski racing.

The main limitation of the present study was the small sample size. This is explained by the fact that there were no more youth ski racers available at the ski boarding school. However, the group of youth ski racers investigated was a cohort of high-level athletes who represented the most talented athletes of the given age and region. In the future, a similar study should be performed involving a larger sample size.

## Acknowledgments

The authors would like to thank all of the athletes and their parents for participating in the study. Additionally, many

thanks go to the ski boarding school, headmaster and head coach, and all coaches for their cooperation.

## Disclosure

The authors report no conflicts of interest in this work.

## References

- 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(4):599–614.
- Flørenes 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):973–978.
- Haaland B, Steenstrup SE, Bere T, 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;50(1):32–36.
- 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*. 2013;48(1):36–40.
- Flørenes 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(2):196–205.
- Flørenes TW, Nordsletten L, Heir S, Bahr R. Injuries among World Cup ski and snowboard athletes. *Scand J Med Sci Sports*. 2012;22(1):58–66.
- van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries: a review of concepts. *Sports Med*. 1992;14(2):82–99.
- Westin M, Alricsson M, Werner S. Injury profile of competitive alpine skiers: a five-year cohort study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(6):1175–1181.
- Leppänen M, Pasanen K, Kujala UM, Parkkari J. Overuse injuries in youth basketball and floorball. *Open Access J Sports Med*. 2015;6:173–179.
- Drew MK, Finch CF. The relationship between training load and injury, illness and soreness: a systematic and literature review. *Sports Med*. 2016;46(6):861–883.
- Hildebrandt C, Raschner C. Traumatic and overuse injuries among elite adolescent alpine skiers: a two-year retrospective analysis. *Int Sport Med J*. 2013;14(4):245–255.
- Rachbauer F, Sterzinger W, Eibl G. Radiographic abnormalities in the thoracolumbar spine of young elite skiers. *Am J Sports Med*. 2001;29(4):446–449.
- Spörri J, Kröll J, Haid C, Fasel B, Müller E. Potential mechanisms leading to overuse injuries of the back in alpine ski racing. *Am J Sports Med*. 2015;43(8):2042–2048.
- Le Gall F, Carling C, Reilly T. Biological maturity and injury in elite youth football. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17(5):564–572.
- Wattie N, Copley S, Macpherson A, Howard A, Montelpare WJ, Baker J. Injuries in Canadian youth ice hockey: the influence of relative age. *Pediatrics*. 2007;120(1):142–148.
- Müller L, Müller E, Raschner C. The relative age effect in alpine ski racing: a review. *Talent Dev Excell*. 2016;8(1):3–14.
- Müller L, Müller E, Hildebrandt C, Raschner C. Biological maturity status strongly intensifies the relative age effect in alpine ski racing. *PLoS One*. 2016;11(8):e0160969.
- Huxley DJ, O'Connor D, Healey PA. An examination of the training profiles and injuries in elite youth track and field athletes. *Eur J Sport Sci*. 2014;14(2):185–192.
- Østerås H, Garnæs KK, Augestad LB. Prevalence of musculoskeletal disorders among Norwegian female biathlon athletes. *Open Access J Sports Med*. 2013;4:71–78.
- Brooks JH, Fuller CW. The influence of methodological issues on the results and conclusions from epidemiological studies of sports injuries: illustrative examples. *Sports Med* 2006;36(6):459–472.
- Junge A, Engebretsen L, Alonso JM, et al. Injury surveillance in multi-sport events: the International Olympic Committee approach. *Br J Sports Med*. 2008;42(6):413–421.
- Clarsen B, Rønsen O, Myklebust G, Flørenes TW, Bahr R. The Oslo Sports Trauma Research Center questionnaire on health problems: a new approach to prospective monitoring of illness and injury in elite athletes. *Br J Sports Med*. 2014;48(9):754–760.
- Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(4):689–694.
- Müller L, Müller E, Hildebrandt C, Kapelari K, Raschner C. [The assessment of biological maturation for talent selection: which method can be used?] *Sportverletz Sportschaden*. 2015;29(1):56–63. German.
- Deprez D, Coutts AJ, Deconinck F. Relative age, biological maturation and anaerobic characteristics in elite youth soccer players. *Int J Sports Med*. 2013;34(10):897–903.
- Pluim BM, Fuller CW, Batt ME, et al. Consensus statement on epidemiological studies of medical conditions in tennis. *Br J Sports Med*. 2009;43(12):893–897.
- Engebretsen L, Steffen K, Alonso JM, et al. Sports injuries and illnesses during the Winter Olympic Games 2010. *Br J Sports Med*. 2010;44(11):772–780.
- Soligard T, Steffen K, Palmer-Green D, et al. Sports injuries and illnesses in the Sochi 2014 Olympic Winter Games. *Br J Sports Med*. 2015;49(7):441–447.
- Steffen K, Moseid CH, Engebretsen L, et al. Sports injuries and illnesses in the Lillehammer 2016 Youth Olympic Winter Games. *Br J Sports Med*. 2017;51(1):29–35.
- 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(15):1065–1071.
- Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *Int J Sports Med*. 2001;22(2):138–143.
- Klentrou P. Influence of exercise and training on critical stages of bone growth and development. *Pediatr Exerc Sci*. 2016;28(2):178–186.
- DiFiori JP, Benjamin HJ, Brenner JS, et al. Overuse injuries and burnout in youth sports: a position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Br J Sports Med*. 2014;48(4):287–288.
- DiFiori JP. Evaluation of overuse injuries in children and adolescents. *Curr Sports Med Rep*. 2010;9(6):372–378.
- Caine D, DiFiori J, Maffulli N. Physéal injuries in children's and youth sport: reason for concerns? *Br J Sports Med*. 2006;40(9):749–760.
- LaBella CR, Myer GD. Youth sports injury prevention: keep calm and play on. *Br J Sports Med*. Epub 2016 Dec 5.
- Steffen K, Engebretsen L. More data needed on injury risk among young elite athletes. *Br J Sports Med*. 2010;44(7):485–489.



### Open Access Journal of Sports Medicine

Dovepress

#### Publish your work in this journal

The Open Access Journal of Sports Medicine is an international, peer-reviewed, open access journal publishing original research, reports, reviews and commentaries on all areas of sports medicine. The journal is included on PubMed. The manuscript management system is completely online and includes a very quick and fair

peer-review system. Visit <http://www.dovepress.com/testimonials.php> to read real quotes from published authors.

Submit your manuscript here: <http://www.dovepress.com/open-access-journal-of-sports-medicine-journal>