

Vordere Kreuzbandrekonstruktion im Skirennsport

Einfluss auf die Muskelfunktion der unteren Extremität
nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion

Eisenring Melanie

Merz Sarina

Departement: Gesundheit
Institut für Physiotherapie

Studienjahr: 2018

Eingereicht am: 02.05.2021

Begleitende Lehrperson: Frau Sandra
Schächtelin

**Bachelorarbeit
Physiotherapie**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
1.1	Zielsetzung	8
1.2	Fragestellung.....	8
1.3	Motivation	8
1.4	Problemstellung.....	9
2	Theoretischer Hintergrund.....	11
2.1	Der Skirennsport.....	11
2.2	Anatomie Kniegelenk.....	12
2.2.1	Kreuzbänder	13
2.2.2	Menisken	14
2.2.3	Kollateralbänder.....	14
2.2.4	Muskulatur	15
2.3	Muskelaktivität beim Skifahren	16
2.4	Vordere Kreuzbandruptur	17
2.4.1	Verletzungsmechanismus.....	17
2.4.2	Diagnostik	19
2.4.3	Sekundärverletzungen	19
2.5	Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes.....	20
2.5.1	Operative Behandlung	20
2.5.2	Konservative Behandlung	22
2.6	Trainingsgrundlagen mit Bezug zu Swiss-Ski.....	23
2.6.1	Kraft	24
2.6.2	Schnelligkeit.....	26
2.6.3	Ausdauer	26
2.6.4	Beweglichkeit.....	27
2.6.5	Koordination.....	27

2.7	Testmethoden	28
2.7.1	Squat Jump.....	28
2.7.2	Countermovement Jump.....	29
2.7.3	Isometrische Knieflexions- und Knieextensionsaktivität.....	29
2.7.4	Exzentrische Hamstringsaktivität: Nordic Hamstrings.....	30
2.8	Biomechanik beim Skifahren	31
3	Methode	33
3.1	Literaturrecherche	33
3.2	Keywords.....	34
3.3	Ein- und Ausschlusskriterien	35
3.4	Selektion der Hauptstudien	35
3.5	Instrumente zur kritischen Würdigung	36
4	Ergebnisse.....	37
4.1	Studie 1	37
4.1.1	Zusammenfassung	37
4.1.2	Würdigung	39
4.2	Studie 2	41
4.2.1	Zusammenfassung	41
4.2.2	Würdigung	42
4.3	Studie 3	44
4.3.1	Zusammenfassung	44
4.3.2	Würdigung	46
4.4	Studie 4	48
4.4.1	Zusammenfassung	48
4.4.2	Würdigung	50
4.5	Kurzüberblick über die Methoden und Outcomes der Studien	52
5	Diskussion.....	54

5.1	Methodisches Vorgehen der vier Studien	54
5.2	Gesamtkraft.....	55
5.3	Asymmetrie-Index.....	56
5.4	Kraft VKB-Bein im Vergleich zum Mittelwert der Kontrollgruppe	58
5.5	Limitationen	59
6	Schlussfolgerung.....	61
6.1	Bezug zur Fragestellung.....	61
6.2	Praxistransfer	61
6.3	Limitationen dieser Arbeit	62
6.4	Fazit.....	63
	Verzeichnisse.....	64
	Literaturverzeichnis	64
	Abbildungsverzeichnis.....	70
	Tabellenverzeichnis.....	70
	Eigenständigkeitserklärung.....	71
	Danksagung	71
	Wortanzahl	71
	Anhang	72
	Anhang A: Glossar	72
	Anhang B: Abkürzungsverzeichnis.....	73
	Anhang C: Biomechanik im Skirennsport	74
	Anhang D: Search history	75
	Anhang E: Studienselektion nach Titelscreening	77
	Anhang F: AICA-Formulare der vier Studien.....	90

Abstract

Darstellung des Themas

Skirennfahrende sind aufgrund der enormen muskulären Belastungen einem erhöhten Risiko für Knieverletzungen ausgesetzt, wobei die vordere Kreuzbandruptur mit 38% klar die häufigste darstellt. Um in den Skirennsport zurückzukehren, wird das vordere Kreuzband (VKB) meist rekonstruiert. Dadurch können allerdings muskuläre Defizite in den unteren Extremitäten bestehen bleiben.

Ziel

Das Ziel dieser Arbeit ist, die muskulären Funktionsdefizite der unteren Extremitäten bei Elite-Skirennfahrenden nach einer VKB-Rekonstruktion zu untersuchen, um durch Evaluation der Muskelfunktionsdefizite in der Rehabilitation sowie Prävention einen physiotherapeutischen Einfluss zu ermöglichen.

Methode

In den gesundheitspezifischen Datenbanken Medline, CINAHL, GoogleScholar und Pubmed wurde der Fragestellung entsprechende Literatur gesucht. Diese wurde anhand definierter Ein- und Ausschlusskriterien ausgewählt. Die Beurteilung der Studien erfolgte anhand des Arbeitsinstruments für ein Critical Appraisal (AICA).

Relevante Ergebnisse

Die vier ausgewählten Studien zeigen signifikante Kraftdefizite der Quadriceps- und Hamstringsmuskulatur in der betroffenen Extremität sowohl im Vergleich zur Gegenseite als auch zu Unverletzten. Aufgrund des unterschiedlichen methodischen Vorgehens in den Studien konnten Muskelfunktionsdefizite in verschiedenen Kraft-Assessments festgestellt werden.

Schlussfolgerung

Regelmässige Muskelkraft-Assessments sind für die Rehabilitation wie auch die Prävention entscheidend, um allfällige Defizite frühzeitig zu erkennen und diesen durch Physiotherapie spezifisch entgegenzuwirken.

Keywords

ski, acl, reconstruction, strength, force, muscle, muscle activity

Abstract

Description of the subject

Due to the enormous muscular stress, ski racers are exposed to a high risk of knee injury whereat the anterior cruciate ligament (ACL) is with 38% the most common. To return to ski sport the ACL is usually reconstructed. Still, there might persist muscular deficits in lower limbs.

Objective

The aim of this bachelor's thesis is to assess the muscular functional deficits of lower limbs in elite ski racers who have undergone an ACL-reconstruction. With the evaluation of the functional muscle deficits in rehabilitation as well as prevention a physiotherapeutic intervention is enabled.

Methods

The health specific databases Medline, CINAHL, GoogleScholar and Pubmed were scanned for relevant literature appropriate to the issue. According to defined including and excluding factors the literature was selected. The evaluation was made with the tool for a critical appraisal (AICA).

Relevant Results

The four main studies show significant strength deficits of the quadriceps and hamstrings muscles in the affected limb compared to the opposite side as well as to uninjured athletes. Owing to the methodical differences in these studies functional muscle deficits in several strength assessments were detected.

Conclusion

It is worthwhile to undertake muscle strength assessments regularly to get an early response about functional muscle deficits which makes a specific physiotherapeutic influence in the rehabilitation and prevention possible.

Keywords

ski, acl, reconstruction, strength, force, muscle, muscle activity

1 Einleitung

Jedes Jahr sind allein in Schweizer Skigebieten über 2,5 Millionen Ski- und 370'000 Snowboardfahrende auf der Piste unterwegs. Laut einer Schätzung der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) verletzen sich davon jährlich rund 76'000 Personen derart, dass sie ärztlich behandelt werden müssen. Trotz der hohen Verletzungszahlen beim Skifahren ist das relative Verletzungsrisiko im sportartenübergreifenden Vergleich, angesichts der ausgeübten Stunden Sport, deutlich geringer als bei anderen populären Sportarten wie zum Beispiel Fussball, Squash oder Badminton. (Derrer et al., 2018)

Der Kreuzbandriss ist eine typische Verletzung beim Skifahren. Nicht nur bei Skirennfahrenden ist die Verletzung weitverbreitet, auch im Hobbysport kommen während der Skiferien Kreuzbandrisse häufig vor. Besonders wenn Ermüdung, zunehmendes Selbstvertrauen und ungenügendes Training aufeinandertreffen, wird das Risiko, sich einen Kreuzbandriss zuzuziehen, stark erhöht. (Barral, 2011)

Laut Brucker et al. (2014) liegt das Verletzungsrisiko bei Skirennfahrenden im Weltcup ungefähr zwei- bis dreimal höher als bei Hobbyskifahrenden. Mit steigender Fahrgeschwindigkeit steigt das Verletzungsrisiko im Skirennsport zusätzlich an. Bereits in den Jahren 2007-2010 stellten Brucker et al. (2014) fest, dass das Kniegelenk sowohl bei Frauen als auch Männern die häufigste Verletzungslokalisation darstellt. Mit 38% stellt dabei die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) die am meisten auftretende Knieverletzung dar.

Eine solche Kreuzbandverletzung kann schwerwiegende Instabilitätsprobleme im Kniegelenk mit sich bringen und im schlimmsten Fall sogar das Karriereende für die Athletin oder den Athleten bedeuten (Schmitt et al., 2016). Das Risiko, sich im Rahmen eines Skirennens der International Ski Federation (FIS) eine Kreuzbandruptur zuzuziehen, liegt bei einer Inzidenz von 5.4-8.5 / 100 Ski-Saisons (Csapo et al., 2019). Um die Karriere bei Spitzensporttreibenden nach einer solchen Verletzung fortführen zu können, wird das Kreuzband oft operativ rekonstruiert. Trotzdem können zusammenhängende, längerfristige Muskelfunktionsdefizite bestehen.

1.1 Zielsetzung

Die vorliegende Bachelorarbeit untersucht, welche muskulären Funktionsdefizite der unteren Extremitäten bei Skirennfahrerinnen und Skirennfahrern nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion festgestellt werden können. Dafür wird das Muskelfunktions- und Kraftverhältnis des Quadriceps und der Hamstrings nach der Rekonstruktion beurteilt.

Weiter kann durch die Analyse der Muskelfunktionsdefizite ein Fokus auf spezifische Kräftigungsübungen für den Skirennsport in der Rehabilitation nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion gelegt werden.

1.2 Fragestellung

Welchen Einfluss hat eine vordere Kreuzbandrekonstruktion auf die Muskelfunktion des Quadriceps femoris und der Hamstrings der betroffenen unteren Extremität im Seitenvergleich und verglichen mit Unverletzten im Skirennsport? Dies wird gemessen an funktionellen Sprüngen, exzentrischer Aktivität der Hamstrings sowie isometrischer Anspannung des Quadriceps und der Hamstrings.

1.3 Motivation

Die Autorinnen konnten im Rahmen einer Wintersaison wertvolle Erfahrungen als Schneesportlehrerinnen sammeln. Der Unterricht mit Kindern zeigte auf, dass sich diese auch bei heftigen Stürzen kaum verletzen. Erwachsene können sich bereits bei harmlosen Unfällen teils schwerwiegende Verletzungen zuziehen.

Als begeisterte Schneesporttreibende ist man regelmässig mit Unfällen und Verletzungen, die beim Skifahren passieren, konfrontiert. Zudem zeigen eigene Beobachtungen, dass an einem sonnigen Skitag in der Hochsaison der Pistenrettungsdienst und die Rega (Schweizerische Rettungsflugwacht) unter Umständen mehrfach im selben Skigebiet gesichtet werden.

Im Vergleich zum Skifahren im Breitensport sind die Teilnehmenden des Weltcups durch ihr hohes Tempo deutlich höheren muskulären und artikulären Belastungen ausgesetzt. Deshalb muss der Stabilität der unteren Extremität sowie der Rumpfmuskulatur umso mehr Beachtung geschenkt werden.

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, ist das Verletzungsrisiko im Spitzensport zwei- bis dreimal höher als im Freizeitsport: Bezogen auf 1000 Skitage beträgt das Verletzungsrisiko im Freizeitsport 1.1-3.2 Unfälle, im Spitzensport gar 4.1 Unfälle. (Brucker et al., 2014)

Diese häufige Verbreitung der vorderen Kreuzbandruptur im Skirennsport weckte das Interesse, dem Einfluss eines solchen Rückschlags auf die Muskelfunktion nachzugehen.

1.4 Problemstellung

Nach der ersten Idee des Erstellens eines Präventionstrainings für den Skibreitensport, musste das Thema aufgrund mangelnder physiotherapeutischer Relevanz oder Einflussmöglichkeiten aus physiotherapeutischer Sicht angepasst werden. In der Rehabilitation haben Physiotherapeutinnen und -therapeuten einen deutlich höheren Einfluss als in der Prävention. Die hohe Verletzungsinzidenz auf der Skipiste und die damit verbundenen Defizite der Muskelfunktion bei Skirennfahrenden weckte das eigene Interesse, den Folgen einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion nachzugehen.

Zu vorderen Kreuzbandrupturen im Sport sind wegen der hohen Verletzungsinzidenz bereits zahlreiche Forschungsbeiträge vorhanden. Die Muskelfunktion im Skirennsport ist bisher allerdings weniger erforscht worden. Deshalb entschieden sich die Autorinnen dazu, sich dem Thema der Muskelfunktion nach VKB-Rekonstruktion im Skirennsport vertieft zu widmen.

Um nach einer Kreuzbandverletzung wieder die volle Quadriceps- und Hamstringskraft sowie eine vergleichbare Kniefunktion wie vor der Verletzung zu erlangen, werden laut Jordan et al. (2017a) durchschnittlich ungefähr zwei Jahre

benötigt. Zudem sind Betroffene einer vorderen Kreuzbandruptur einem deutlich höheren Risiko einer Reruptur ausgesetzt. Die Studie von Jordan et al. (2017b) sagt, dass sich rund 19% der Skirennfahrenden mit VKB-Rekonstruktion das VKB am selben Knie nochmals reißen und sich sogar gut 30% das Kreuzband auf der Gegenseite rupturieren.

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden die Grundlagen, die für das Verständnis dieser Arbeit benötigt werden, erarbeitet und erklärt. Da sich diese Arbeit auf Verletzungen im Skirennsport bezieht, wird dieser zu Beginn kurz beschrieben. Der physiotherapeutische Fokus liegt jedoch mehr auf der Muskelfunktion der Sportlerinnen und Sportler anstatt auf der Sportart selbst. Deshalb werden für das Verständnis die relevante Anatomie des Kniegelenks sowie mögliche Verletzungsmechanismen und Sekundärverletzungen vorgestellt. Für die Rehabilitation nach der Kreuzbandrekonstruktion ist entscheidend, die skirennsportspezifische Muskulatur wieder gezielt aufzubauen. Darum werden entsprechende Kraftaufbau- und Trainingsmethoden von Swiss-Ski präsentiert.

2.1 Der Skirennsport

Bei Ski Alpin handelt es sich um eine olympische Wintersportdisziplin. Das Ziel des Skirennsports ist es, einen durch Tore abgesteckten Kurs auf einer präparierten Piste schnellstmöglich zu durchfahren. Dabei unterscheidet man zwischen technischen und Speed-Disziplinen.

Zu den Speed-Disziplinen zählen die Abfahrt und der Super-G. Eine Abfahrt zeichnet sich durch viele Gleitpassagen, Steilhänge, Sprünge und sehr hohe Tempi bis zu 140 km/h aus. Der Super-G unterscheidet sich davon insofern, dass bei diesem mehr Richtungsänderungen, somit tiefere Tempi und kürzere Strecken gefahren werden. (Swiss-Ski, 2020a)

Zu den technischen Disziplinen gehören der Riesenslalom sowie der Slalom. Im Unterschied zu den Speed-Disziplinen, wo jeweils nur ein Durchgang gefahren wird, gibt es bei den technischen Läufen jeweils zwei Durchgänge, wobei die Summe der beiden Läufe dem Endergebnis entspricht. Wie der Name bereits erraten lässt, sind beim Riesenslalom die Torabstände grösser als beim Slalom. (Swiss-Ski, 2020a)

Diese vier Disziplinen sind die häufigsten. Weiter gibt es die Alpine Kombination, bestehend aus einem Slalom und einem Speed-Rennen, sowie Parallel-Wettkämpfe und Team Events, welche jedoch seltener stattfinden. (Swiss-Ski, 2020a)

Das Kader von Swiss-Ski zählt 95 aktive Athletinnen und Athleten in der Disziplin Ski Alpin. Das höchste Swiss-Ski Kader ist die Nationalmannschaft, in welcher für die Saison 2020/2021 im Ski Alpin acht Frauen und elf Männer selektioniert wurden. Die restlichen Athletinnen und Athleten starten in A-, B- und C-Kadern. (Swiss-Ski, 2020b)

2.2 Anatomie Kniegelenk

Das Kniegelenk verbindet die längsten Hebelarme des menschlichen Skeletts und gilt dadurch als das grösste Gelenk des menschlichen Körpers (Rossberg, 2016). Im Vergleich zu den anderen Gelenken des Körpers ist es kaum mit Weichteilbedeckungen geschützt. Die Gelenkkörper Femur und Tibia sind mit der Patella wenig kongruent, wodurch die hohe Häufigkeit von Knieverletzungen, unfall- und krankheitsbedingt, erklärt werden kann. Indirekte Traumata mit Dreh- und Knickmechanismen sind häufige Sportunfälle, wobei die Sportarten Fussball, Volleyball und der alpine Skirennsport die Spitzenreiter darstellen. (Aumüller et al., 2014)

Das Kniegelenk ist ein (bi-)kondyläres *Scharniergelenk* (*kursiv*: Erklärung siehe Glossar) zwischen den zwei langen Hebeln Femur und Tibia, das mit der Patella auf der Vorderseite kongruiert (Palastanga & Soames, 2015). Die Femurkondylen artikulieren einerseits mit den Tibiakondylen und andererseits mit der Rückseite der Patella, wodurch sich das Kniegelenk in zwei Einzelgelenke unterteilen lässt: Articulatio (Art.) Femorotibialis und Art. Femoropatellaris. Beim Menschen sind diese Gelenke durch eine Gelenkkapsel miteinander verbunden und es besteht dadurch eine grosse Gelenkhöhle. (Waschke et al., 2015)

Dieses Kondylengelenk kann Rotations- und Translationsbewegungen durchführen, das heisst: Flexion, Extension, Innen- und Aussenrotation. Im Unterschied zu den

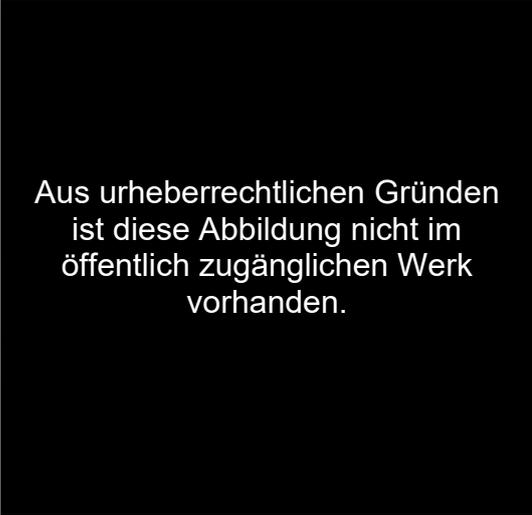
meisten anderen Gelenken im Körper gilt das Kniegelenk als ein stützendes Gelenk, da es eine Bewegungsfreiheit in einer Ebene nur zulässt, wenn gleichzeitig in der anderen Ebene stark stabilisiert wird (besonders bei der Streckung). Denn normalerweise vernachlässigt ein Gelenk zugunsten der Stabilität oder Bewegungsfreiheit den anderen Aspekt. Das Knie kann jedoch beide Eigenschaften bieten, die durch einen komplexen Muskel- und Bandapparat mit Roll- und Gleitbewegungen gewährleistet werden können. Trotzdem ist das Gelenk anfällig für Zerrungen und Luxationen. Damit das gesamte Körpergewicht auf den nur kleinen Trageflächen lasten kann, braucht es viele Kompensationsmechanismen im Knie, welche durch kräftige Seiten- und intrakapsuläre Bänder, die Gelenkkapsel und Verstärkungen durch Sehnen und *Aponeurosen* gewährleistet werden. (Palastanga & Soames, 2015)

Für die Kniebeugung spielen anatomisch und funktionell-mechanisch besonders zwei Strukturen im Kniegelenk eine wichtige Rolle: die Kreuzbänder und Menisken (Palastanga & Soames, 2015).

2.2.1 Kreuzbänder

Ligamenti cruciata werden die beiden Kreuzbänder in der Medizin genannt und in ein Anteriores und ein Posteriores aufgeteilt. Die beiden Bänder kreuzen sich im Zentrum des Knies, wodurch auch der Name zu erklären ist (siehe Abbildung 1). (Palastanga & Soames, 2015)

Sie liegen intrakapsulär zwischen der Membrana fibrosa und Membrana synovialis der Gelenkkapsel und sind dadurch nicht frei im Gelenk. (Aumüller et al., 2014)



Aus urheberrechtlichen Gründen ist diese Abbildung nicht im öffentlich zugänglichen Werk vorhanden.

Abbildung 1: Rechtes Kniegelenk in Beugstellung mit Ansicht der Kreuzbänder nach Entfernung der Gelenkkapsel und Patella (Schünke et al., 2007)

Das vordere Kreuzband zieht von cranial, dorsal (Innenfläche des lateralen Femurkondyls) schräg nach ventral, caudal zwischen die Kondylen der Tibia. Das hintere Kreuzband (HKB) zieht im Vergleich von cranial, ventral (Innenfläche des medialen Femurkondyls) nach dorsal, caudal und lateral zur Hinterseite zwischen den Tibiakondylen. In der gebeugten Knieposition sind die Kreuzbänder entspannt, bei Streckung maximal angespannt. (Aumüller et al., 2014)

Die Funktion der Kreuzbänder besteht in der Sicherung des Gelenks bei Verschiebungen der Tibia gegenüber dem Femur in der *Sagittalebene*. Das vordere Kreuzband schützt vor einer Anteriotranslation, das Hintere vor einer Posteriortranslation der Tibia. (Aumüller et al., 2014)

2.2.2 Menisken

Die C-förmigen Menisken bilden das passende Zwischenstück zwischen den Gelenkteilen des Femurs und der Tibia und sind relativ dick. Dadurch sorgen sie, trotz ihrer kleinen Kontaktfläche zwischen den langen Röhrenknochen, für eine gleichmässige Druckverteilung und können die Inkongruenz zwischen den beiden Gelenkskörpern ausgleichen (Aumüller et al., 2014). Durch die Meniskusvorder- und hinterhörner werden extreme Flexion und Extension begrenzt. Ausserdem verteilen die Menisken die Synovialflüssigkeit im Gelenk und verbessern dadurch die Ernährung des Gelenkknorpels. (Hochschild, 2012)

Der Innenmeniskus ist etwas weniger gekrümmt als der Aussenmeniskus und mit dem medialen Seitenband verwachsen. Dadurch ist er in seiner Beweglichkeit etwas eingeschränkter. (Aumüller et al., 2014)

2.2.3 Kollateralbänder

Die Kollateralbänder sichern das Kniegelenk seitlich. Es gibt ein mediales und ein laterales Seitenband. Das Ligamentum (Lig.) collaterale tibiale ist eine Verstärkung der medialen Gelenkkapsel (kapsuläres Band) und verhindert eine *Valgisierung*

oder Abduktion des Knies in der *Frontalebene*. Ausserdem werden die Rotationen durch die entsprechenden anterioren und posterioren Anteile begrenzt. Bei leichter Flexion ist das Band entspannter, dadurch sind in dieser Position grössere Rotationen und eine grössere Valgisierung möglich. Das Lig. collaterale fibulare ist von der Gelenkkapsel getrennt und dadurch ein extrakapsuläres Band. Es verhindert eine *Varisierung* oder Adduktion des Kniegelenks und begrenzt nur die Aussenrotation. Auch dieses Band ist in Extension angespannt und in leichter Flexion entspannt. (Aumüller et al., 2014)

2.2.4 Muskulatur

In diesem Kapitel wird nur auf die für uns relevanteste Muskulatur beim Skifahren eingegangen. Diese sind in erster Linie der Musculus (M.) Quadriceps femoris sowie die Hamstringsmuskulatur.

2.2.4.1 Quadriceps

Der M. Quadriceps femoris (auch Streckmuskel genannt) (siehe Abbildung 2) kann als vorderer Oberschenkelmuskel die Kniegelenksstreckung zu 100% vollführen. Er wird in vier verschiedene Anteile unterteilt: M. rectus femoris, M. vastus intermedius, M. vastus lateralis und M. vastus medialis. (Aumüller et al., 2014)

Der M. rectus femoris ist der mittlere Anteil des Quadriceps, welcher über dem M. vastus intermedius liegt und 15% des Gesamtdrehmoments der Kniegelenksexension ausmacht (Aumüller et al., 2014). Er ist der einzige zweigelenkige Anteil und kann dadurch auch die Hüftflexion beeinflussen (Waschke et al., 2015). Seitlich wird er durch den M. vastus medialis respektive lateralis abgegrenzt. Seinen Ursprung hat er am Pfannendach des Hüftgelenks sowie an der Spina iliaca

Aus urheberrechtlichen Gründen ist diese Abbildung nicht im öffentlich zugänglichen Werk vorhanden.

Abbildung 2: M. Quadriceps femoris rechts aus Ansicht von frontal (Hochschild, 2012)

anterior inferior und verläuft dann über das Lig. Patellae zur Tuberositas tibiae (Schünke et al., 2018). Die Musculi vasti machen 85% der Kniestreckung aus und ziehen von der Linea aspera mediale (M. vastus medialis) und laterale (M. vastus lateralis) sowie der Anteriorfläche des Femurschafts (M. vastus intermedius) zur Tuberositas Tibiae und den medialen und lateralen Teilen der Tibiakondylen (Aumüller et al., 2014).

2.2.4.2 Hamstrings

Die Hamstrings (siehe Abbildung 3) werden auch als Ischiocrurale Muskulatur bezeichnet. Sie sind für ca. 90% der Flexion im Kniegelenk verantwortlich und werden aus drei verschiedenen Muskeln gebildet: M. biceps femoris, M. semimembranosus und M. semitendinosus. (Aumüller et al., 2014)

Alle drei entspringen am Tuber ischiadicum und ziehen dann an die medialen respektive lateralen Tibiakondylen am Kniegelenk. Die Hamstrings sind zudem auch für die Adduktion, Extension und Stabilisierung des Beckens verantwortlich. (Schünke et al., 2018)

Aus urheberrechtlichen Gründen ist diese Abbildung nicht im öffentlich zugänglichen Werk vorhanden.

Abbildung 3: Ischiocrurale Muskulatur: Hamstrings aus Ansicht von dorsal (Hochschild, 2012)

2.3 Muskelaktivität beim Skifahren

Die Ischiocruralmuskulatur spielt im Skirennsport zum Schutz des vorderen Kreuzbandes eine entscheidende Rolle. Besonders die exzentrische Muskelaktivität der Ischiocruralmuskulatur, die in der Hockeposition auffällig ist, überwiegt bezogen auf die Dauer und Intensität der konzentrischen Muskelaktivität. (Spiess et al., 2019)

Da das VKB die Tibia vor einer Anteriotranslation schützt, arbeitet dieses synergistisch mit der Ischiocruralmuskulatur, weshalb einer guten Ischiocruralmuskulatur auch ein Schutz vor VKB-Rupturen zugesprochen wird. Aussergewöhnlich ist die grosse exzentrische Aktivität, die beim Skirennsport relevant ist. (Spiess et al., 2019)

2.4 Vordere Kreuzbandruptur

Zur Ruptur des VKBs führen unterschiedliche Unfallmechanismen sowie daraus resultierende Schweregrade der Verletzung. Eher selten wird das VKB isoliert gerissen, häufiger wird es von Sekundärverletzungen begleitet. Dieses Kapitel widmet sich den Unfallmechanismen, der Diagnostik der VKB-Ruptur und häufigen Sekundärverletzungen.

2.4.1 Verletzungsmechanismus

Im Skibreiten- sowie Skirennsport gelten Stürze ohne Fremdbeteiligung als die häufigste Verletzungsursache (Engelhardt et al., 2005). Im Skibreitensport ereignen sich die meisten Kreuzbandrupturen bei Vorwärtsdrehstürzen mit akutem Fassen/Verkanten des Skis im Schnee (Brucker et al., 2014). Im alpinen Skirennsport hingegen treten die meisten Verletzungen beim Landen nach Sprüngen in der Abfahrt auf. Dabei geschieht die Verletzung bei der Landung selbst und nicht im darauffolgenden Sturz. Eine Überlastung im Schwung gilt ebenfalls als verbreitete Verletzungsursache, wo die Belastung auf die Skier und Beinextensoren enorm hoch ist. Zusätzliche Hyperflexion und Innenrotation im Kniegelenk begünstigen Knieverletzungen. (Engelhardt et al., 2005)

Bereits eine isolierte Hyperextension oder -flexion, ein varus- oder valgusforciertes Rotationstrauma oder die alleinige Anspannung des M. Quadriceps bei der Landung eines Sprungs bei gebeugtem Kniegelenk können eine vordere Kreuzbandruptur verursachen. Subjektiv wird oft von einem Rupturknacken oder Zerreißungsgefühl berichtet. (Engelhardt et al., 2005)

Bere et al. (2011) haben nach den World Cup Saisons 2006-2009 zwanzig Videos von vorderen Kreuzbandrupturen detailliert ausgewertet und konnten dabei drei Hauptkategorien von Verletzungsmechanismen erkennen. Diese werden nachfolgend erklärt.

2.4.1.1 Slip-Catch-Mechanismus

Der 'Slip-catch'-Mechanismus ist Ursache bei der Hälfte dieser zwanzig VKB-Rupturen: Das Gleichgewicht auf den Skier wird für einen kurzen Moment nach hinten oder auf die Kurveninnenseite verloren, dadurch vermindert sich der Druck des Aussenskis auf der Schneefläche und das Aussenbein bewegt sich vom Körperzentrum weg. Für erneutes Gleichgewicht streckt sich das Aussenbein, fasst plötzlich wieder Kontakt mit dem Schnee und kommt auf übermäßige Innenrotation sowie Valgusstellung. Die Kombination der Streckung mit plötzlicher Innenrotation, Valgusstellung und dem nach hinten verlagerten Körperschwerpunkt führt zur VKB-Ruptur. (Bere et al., 2011)

2.4.1.2 Landing-back-weighted-Mechanismus

Der 'landing-back-weighted'-Mechanismus war bei vier der zwanzig untersuchten Abfahrtsrennfahrenden der Auslöser für die vordere Kreuzbandruptur. Dabei kommt man im Sprung in eine zu starke Rücklage, wodurch das Skiende bei fast gestreckten Knien auf dem Boden landet. Dadurch ziehen die Skispitzen inklusive Unterschenkel im Skischuh nach vorne, der Körperschwerpunkt jedoch nach hinten, was ausserdem eine Anspannung des Quadriceps und damit einen Kreuzbandriss mit sich zieht. (Bere et al., 2011)

2.4.1.3 Dynamic snowplow-Mechanismus

Bei drei der zwanzig Abfahrtsrennfahrenden konnte der 'dynamic snowplow'-Mechanismus erkannt werden. Dabei fällt man in Rücklage, wobei mehr Gewicht auf einem Bein lastet. Das unbelastete Bein driftet vom Körperschwerpunkt ab, sodass sich die Balance auf die Innenseite des belasteten Skis verlagert. Die hohe Belastung auf die Innenrotation und Valgusstellung in Kombination mit der Rücklage und der Quadricepsaktivierung führt zur Ruptur des vorderen Kreuzbandes. (Bere et al., 2011)

2.4.2 Diagnostik

Aufgrund der anterioren Sicherungsfunktion des VKBs in der Sagittalebene kann durch den Lachmann-Test in 20-30° Knieflexion eine pathologische Verschiebung der Tibia im Seitenvergleich festgestellt werden. In akutem Zustand kann dieser Test jedoch aufgrund der Schmerzen und des *Hämarthros* nicht immer durchgeführt werden. Bevor eine operative Rekonstruktion durchgeführt wird, wird die Verletzung mittels Bildgebung wie Röntgen und *Magnetresonanztomographie* (MRT) begutachtet, um Begleitverletzungen ausfindig machen zu können. (Engelhardt et al., 2005)

2.4.3 Sekundärverletzungen

Als Begleitverletzungen bei Kreuzbandrupturen kommen vor allem Bänderrisse des medialen Kollateralbands vor. Des Weiteren treten häufig Knorpel- und Meniskusverletzungen auf. (Jordan et al., 2015a)

Aufgrund der Verwachsung des Innenmeniskus mit dem medialen Seitenband und der dadurch verbundenen verminderten Beweglichkeit können die vermehrten Verletzungen der medialen Strukturen erklärt werden. Als typische Verletzung dieser medialen Strukturen gilt die "Unhappy Triad", wobei diese eine VKB-Ruptur, eine Ruptur des medialen Kollateralbandes sowie eine Innenmeniskusläsion mit sich zieht. Die Begleitverletzungen dieses medialen Bandkomplexes haben jedoch eine gute Heilungschance und sind eher selten von schweren Instabilitäten betroffen. (Petersen & Zantop, 2009)

2.5 Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

Die Durchblutung des VKBs erfolgt durch die Arteria genus media und ist eher schlecht. Dadurch weist das VKB eine schlechte Spontanheilung auf und wird nach Verletzungen häufig operativ mit einer plastischen Rekonstruktion behandelt. Dafür werden meist Patella-, Semitendinosus- oder *Allograftsehnen* verwendet. (Aumüller et al., 2014)

2.5.1 Operative Behandlung

Die operative Rekonstruktionsmethode wird bei jüngeren, sportlichen Personen bevorzugt (Weninger, 2012). Besonders wenn diese über *Giving-Ways* des Kniegelenks klagen, wird zu einer Stabilisation geraten. Bei Kindern und Jugendlichen sollen durch die Rekonstruktion allfällige Sekundärschäden vermieden werden. (Krüger-Franke et al., 2009)

Aufgrund der enormen Belastungen auf das Kniegelenk werden Skirennfahrende meist operativ versorgt.

Idealerweise wird für die Rekonstruktion des gerissenen Kreuzbandes Sehnen- oder Ligamentgewebe desselben Knies entnommen, wobei sich die Hamstringssehnen, ein Teil der Patellasehne oder ein Quadricepssehnenstreifen am besten eignen. Am häufigsten wird die Semitendinosussehne der Hamstrings verwendet. (Krüger-Franke et al., 2009)

Das entnommene Sehnenstück wird dann durch einen Bohrkanal im Schienbeinknochen durch das Kniegelenk gezogen und in einem Bohrkanal im Oberschenkelknochen verankert. Fixiert wird das Transplantat mit Schrauben, Fadenankern oder Stiften. (Weninger, 2012)

Jedes Transplantat hat seine Vor- und Nachteile. Die Entnahme der Sehnentransplantate kann muskuläre Schwächen in den entsprechenden Muskelgruppen zur Folge haben, weshalb die Entscheidung für das richtige Transplantat individuell auf die Betroffenen abgestimmt werden muss. (Herbort et al., 2017)

In den nachfolgenden Kapiteln werden die häufigsten Rekonstruktionsmethoden erläutert.

2.5.1.1 Semitendinosus- und/oder Grazilissehne

Wenn die Semitendinosussehne allein nicht ausreicht, wird die Grazilissehne dazu genommen. Die Sehnen werden über einen zirka drei Zentimeter langen Schnitt entnommen und anschliessend gefaltet, damit das Transplantat einen Durchmesser von ungefähr 7-9 Millimeter erreicht. Für dieses Verfahren spricht der relativ kleine Schnitt, der zur Entnahme des Sehnenmaterials benötigt wird. Da bei dieser Technik jedoch keine Knochenstücke mitentnommen werden können, gilt die Ersatzplastik mit der Semitendinosussehne als etwas instabiler, verglichen mit den anderen Transplantaten. Zudem ist die Semitendinosussehne eher elastisch, was dazu führen kann, dass diese mit der Zeit an Spannung verliert. Die Heilung nach der Operation ohne entnommene Knochenteile dauert etwas länger, als wenn solche mittransplantiert werden. (Weninger, 2012)

Die Semitendinosussehne trägt zur Stabilisierung des Kniegelenks nach medial bei. Es sollte bei einer Instabilität des medialen Kollateralbandkomplexes also auf die Entnahme der Semitendinosussehne am selben Knie eher verzichtet werden, um eine verstärkte Valgusstellung zu vermeiden. (Herbort et al., 2017)

2.5.1.2 Patellasehne

Die Entnahme eines Teilstücks der Patellasehne war bis vor gut zwanzig Jahren das am häufigsten verwendete Transplantat für eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. Aufgrund von zahlreichen Komplikationen wird dieses heutzutage seltener verwendet. (Herbort et al., 2017)

Für diese Methode entnimmt man das mittlere Stück der Patellasehne, welche von der Patella zur Tibia verläuft und es wird an jedem Ende ein Knochenstück der Patella respektive der Tibia mitentnommen. Der Durchmesser des Transplantates beträgt zirka acht Millimeter. Das Patellasehnentransplantat gilt als sehr reissfest und

stabil, da die Knochenstücke an den Sehnenenden sehr gut in den Bohrkanälen verankert werden können und meist sehr gut einheilen. Gegen diese Methode spricht, dass die Entnahme der Sehne mit einem zirka zehn Zentimeter langen Schnitt über das Knie einhergeht. Zudem geben Patienten nach dieser Operation häufiger Schmerzen im vorderen Bereich des Knies an. Ausserdem könnte die Entnahme des Knochenblocks an der Patella zu einer Fraktur der Kniescheibe führen. (Weninger, 2012)

2.5.1.3 Quadricepssehne

Da die Entnahme der Patellasehne oftmals mit nachfolgenden Beschwerden am Knie verbunden ist, entscheiden sich immer mehr Operierende für ein Quadricepssehnen-transplantat. (Herbort et al., 2017)

Die Quadricepssehne ist für das Strecken des Knies verantwortlich. Bei einer Ersatzplastik mit der Quadricepssehne wird ein zirka acht Zentimeter langer Schnitt oberhalb des Knies gemacht, um das Mittelstück der Sehne und ein angehängtes Knochenstück der Patella zu entnehmen. Das Quadricepstransplantat gilt, wie auch das Patellasehnen-transplantat, als sehr zugfest und dank des angehängten Knochenblocks als sehr stabil. Auch hier besteht jedoch die Gefahr, dass durch die Entnahme des Knochenstücks eine Fraktur der Patella folgen könnte. (Weninger, 2012)

2.5.2 Konservative Behandlung

Nicht jede Kreuzbandruptur muss zwingend operativ behandelt werden. Die miteinhergehenden Sekundärverletzungen sind ebenfalls ausschlaggebend für die Wahl der Behandlungsmethode. Die konservative Behandlung wird bei Betroffenen mit minimalen Instabilitäten, vorbestehender Arthrose, geringen Sportambitionen oder höherem Alter bevorzugt (Engelhardt et al., 2005). Da in dieser Arbeit jedoch nur aktive Athletinnen und Athleten mit Kreuzbandrekonstruktionen eingeschlossen werden, wird die konservative Behandlungsmethode nicht genauer erklärt.

2.6 Trainingsgrundlagen mit Bezug zu Swiss-Ski

Grundsätzlich beeinflussen vier Faktoren die sportliche Leistungsfähigkeit und somit auch die Muskelfunktion, welche beim Skirennfahren essenziell ist. Konditionelle (motorische) Grundlagen, kognitive und affektive Fähigkeiten sowie die konstitutionellen Voraussetzungen bilden die Basis. Mittels spezifischem Training dieser Faktoren kann die Leistungsfähigkeit optimiert werden (Lang, 2011).

In dieser Arbeit werden Aspekte des Trainings von Swiss-Ski aufgezeigt. Zur Unterstützung des Verständnisses werden ergänzend die relevantesten Trainingsgrundlagen erklärt. Dabei wird nur auf die konditionellen Grundlagen eingegangen, da bei diesen physiotherapeutisch das grösste Outcome generiert werden kann. Für alle folgenden Übungen wird nur eine Übungsvariante erklärt, wobei Swiss-Ski jeweils verschiedene Anpassungsmöglichkeiten für Pro- und Degressionen bietet.

Konditionelle (motorische) Fähigkeiten bilden die Grundlage für sportliche Leistungen. Dazu gehören die Bereiche Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer, Beweglichkeit und Koordination. Je nach Sportart sind die einen oder anderen Faktoren wichtiger. Diese fünf Kategorien stellen die Basis für das Erstellen der Trainingspläne im Spitzensport dar. (Lang, 2011)

Um verletzungspräventiv trainieren zu können, sind vielseitige Übungen zentral. Nicht nur die Progression, sondern auch die Variation innert eines *Makrozyklus* ist entscheidend, damit keine Monotonie entsteht. Auch während der Wettkampfsaison darf die Umsetzung dieser Übungen nicht vergessen gehen. Da Verletzungen häufig in den ersten 60 Millisekunden einer Bewegung eintreten, ist eine Voraktivierung der gelenkstabilisierenden Muskulatur vor der Belastung wirksam für die Verletzungsprävention. Deshalb werden funktionelle Übungsvarianten parallel zu den spezifischen Hamstringtrainingsübungen praktiziert (schnellkräftiges Anfersen, explosive Ausfallschritte, elastodynamische Sprung- und Sprintformen).

2.6.1 Kraft

Die Kraft kann einerseits in Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer unterschieden werden. Andererseits differenziert sie sich in konzentrischer, exzentrischer und isometrischer Muskelaktivierung. Folgende Definitionen stammen aus dem Buch Sportphysiotherapie von Bant et al. (2018 Seite 192).

Maximalkraft:

“Die Maximalkraft stellt die grösstmögliche Kraft dar, die das neuromuskuläre System bei maximaler willkürlicher Anstrengung gegen einen unüberwindbaren Widerstand – also unter isometrischen Bedingungen – produzieren kann.”

Schnellkraft:

“Die Schnellkraft beschreibt die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen möglichst grossen Impuls in der zur Verfügung stehenden Zeit zu produzieren.”

Kraftausdauer:

“Die Kraftausdauer beschreibt die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, eine möglichst grosse Impulssumme in der zur Verfügung stehenden Zeit zu produzieren.”

Besonders effektiv zur Steigerung der Muskelmasse, also Muskelaufbautraining, sind Hypertrophiemethoden, in denen eine ‘submaximale Kontraktion bis zur Erschöpfung’ stattfindet (Bant et al., 2018, S. 183).

Hypertrophie:

“Regelmässige reizwirksame Belastungen, z.B. durch Training und Therapie, führen zu einer stärkeren Beanspruchung der durch das Training beanspruchten Strukturen. Der Organismus leitet durch die allmähliche Hypertrophie der beteiligten Strukturen eine Reduzierung seiner Beanspruchung ein. Diese schrittweise stattfindende Veränderung findet dann

ihr Ende, wenn bei andauernder gleichbleibender Belastung (z.B. Trainingsumfang und -intensität über den gesamten Trainingszeitraum konstant) die Beanspruchung der belasteten Strukturen abnimmt.”

Swiss-Ski setzt aus verletzungspräventiver Sicht seit den letzten Jahren vermehrt den Fokus auf ein spezifisches Training der Hamstrings. Besonders in der Sagittalebene ist die Stabilisierung des Kniegelenks mit maximal exzentrischen Muskelreizen sinnvoll (Franchi et al., 2019 zitiert nach (Swiss-Ski, 2019a). Als spezifische Hamstrings-Übungen werden der Sliding Leg Curl und Nordic Hamstring Curl praktiziert (Oakley et al. 2017 und Taberner et al. 2016 zitiert nach Swiss-Ski, 2019a). Je nach Dosierung befinden sich diese Übungen im Bereich der Maximalkraft oder Hypertrophie. (Swiss-Ski, 2019b)

Der Sliding Leg Curl

Die Athletinnen und Athleten starten in der Bridging-Position mit beiden Füßen auf einer Slideunterlage (siehe Abbildung 4). Die Füße rutschen mit exzentrischer Hamstringsaktivität weg vom Becken. Als Alternative kann die Übung auch mit konzentrischem Fokus oder einbeinig durchgeführt werden. (Swiss-Ski, 2019a)



Abbildung 4: Der Sliding Leg Curl (Bere et al., 2019)

Der Nordic Hamstring Curl

Die Ausgangsposition ist kniend mit fixierten Füßen und aufrechtem Oberkörper (siehe Abbildung 5). Dabei wird die Spannung im Oberkörper gehalten und als Brett nach vorne geneigt, sodass sich der Kniewinkel vergrößert. (Matthews et al., 2015 zitiert nach Swiss-Ski, 2019a)



Abbildung 5: Der Nordic Hamstring Curl (Bere et al., 2019)

Als weitere Kräftigungsübungen, die nicht speziell hamstringdominant sind, sondern die Oberschenkel- und Gesäßmuskulatur global beanspruchen, werden Kniebeugen und Reisskniebeugen von Swiss-Ski (2019b) empfohlen.

2.6.2 Schnelligkeit

Die Schnelligkeit wird von neuralen, muskulären, biomechanischen und mentalen Faktoren beeinflusst und tritt oft in Kombination mit anderen motorischen Eigenschaften wie Kraft, Ausdauer und Koordination auf. Sie kann in kognitive und motorische Schnelligkeit unterteilt werden. Zu den kognitiven Schnelligkeitsmerkmalen zählen Wahrnehmung, Antizipation und Entscheidung. Die motorische Schnelligkeit lässt sich in Reaktions- und Aktionsschnelligkeit unterteilen. Die Aktionsschnelligkeit beinhaltet zyklische (Velofahren, Joggen) und azyklische Bewegungsformen (Sprünge, Würfe). (Bant et al., 2018)

Im Nachwuchsbereich wird die Schnelligkeit bei Swiss-Ski mit viel Agilityübungen wie Parcours, Stafetten und Spielen trainiert. (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017)

2.6.3 Ausdauer

“Unter Ausdauer wird die Fähigkeit verstanden, eine gegebene Leistung über einen möglichst langen Zeitraum durchhalten zu können. Ausdauer kann daher mit der Ermüdungsfähigkeit gleichgesetzt werden.” (Bant et al., 2018, S. 203).

Auch bei der Ausdauer kann zwischen zwei verschiedenen Arten unterschieden werden: aerobe und anaerobe Ausdauer. Aerobe Ausdauer bedeutet, dass die Energie durch Kohlenhydrate oder Fette bereitgestellt wurde. Die anaerobe Ausdauer kommt bei extrem hohen und kurzen Belastungen zum Zuge, dabei wird die Energie ohne Sauerstoff aus den Kohlenhydraten gezogen. (Bant et al., 2018)

Aufgrund der pausenlosen und intensiven Belastung während eines Skirennens hat die Ermüdungsfähigkeit besonders gegen das Ende eines Rennens einen sehr

hohen Stellenwert. Deshalb trainiert Swiss-Ski die Ausdauerfähigkeit vorwiegend mit Dauerläufen. (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017)

2.6.4 Beweglichkeit

Die Beweglichkeit wird in der Rehabilitation auch Mobilität genannt und basiert auf den physikalischen Eigenschaften des Bindegewebes. Sie beschreibt die verschiedenen physiologischen Prozesse während einer Bewegung im Bindegewebe. Die Temperatur des Bindegewebes ist entscheidend für das Ausmass seiner Verformung. (Bant et al., 2018)

Dehnmethoden gehören in den Bereich der passiven Beweglichkeit, wobei bei Swiss-Ski besonders Fokus auf die



Abbildung 7: Dehnmethode der vorderen Muskelkette des rechten Beines (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017)

hintere Kette (Hamstrings, siehe Abbildung 6) und vordere Kette (Quadriceps, siehe Abbildung 7) der unteren Extremitäten gelegt wird. Es gibt auch aktive Mobilitätsübungen, wobei beispielsweise Kniebeugen mit möglichst grossem Bewegungsumfang und wenig Gewicht mobilisierend wirken. (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017)



Abbildung 6: Dehnmethode der hinteren Muskelkette (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017)

2.6.5 Koordination

Die Koordination wird durch das neuromuskuläre System ausgeführt, welches für das Erlernen, Steuern und Anpassen aller Bewegungen zuständig ist. Durch das Zusammenspiel von sensorisch-neuralen und motorisch-physiologischen Mechanismen werden Reize erkannt und verarbeitet, was schlussendlich zum dynamischen Gleichgewicht des Gelenks, der *posturalen Kontrolle* und der korrekten Bewegungsausführung führt. Kortex, Hirnstamm und das spinale Rückenmark sind die drei wichtigsten Hirnzentren, die die Informationen aus dem *afferenten System*

erhalten (Mechanorezeptoren der Haut, Muskeln und Gelenke) und verarbeiten können. (Bant et al., 2018)

Um eine saubere Ausführung zu erlangen, muss jede Kraftübung zuerst koordinativ korrekt ausgeführt werden können. Dies bedeutet, dass mit einer hohen Wiederholungsanzahl ohne oder nur mit wenig Gewicht geübt wird.

Gleichgewichts- und Stabilitätsübungen gehören ebenfalls ins Segment des Koordinationstrainings. Die Athletinnen und Athleten von Swiss-Ski üben Koordination beispielsweise mittels Sprüngen auf Gymballen oder mit komplexen Bewegungsabläufen. (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017)

2.7 Testmethoden

In zwei der ausgewählten Studien (Jordan et al., 2015a, 2017a) wird die Muskelfunktion nach der Rekonstruktion des VKBs anhand zweier Sprünge gemessen: Squat Jump (SJ) und Countermovement Jump (CMJ). Im Folgenden werden diese beiden Sprünge kurz erklärt und die Muskelaktivität während der Sprünge analysiert. Des Weiteren werden zwei Kraftmessmethoden beschrieben: isometrische Knieflexions- und Knieextensionsaktivität (MVC) sowie die exzentrische Hamstringsaktivität.

2.7.1 Squat Jump

Der Squat Jump startet in der Squatposition: 90° Knie- und Hüftgelenksflexion mit Halten für drei bis vier Sekunden, woraus ein maximaler Sprung in die Höhe folgt. Die Hände sind dabei in den Hüften eingestützt. Nach jedem Sprung wird in der Squat Jump-Ausgangsstellung gelandet und diese wiederum kurz gehalten, bevor für den nächsten SJ angesetzt wird (siehe Abbildung 8). (Jordan et al., 2015a, 2017a)

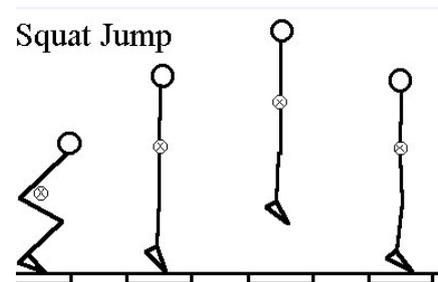


Abbildung 8: Squat Jump (Nessler, 2013)

Dabei wird die konzentrische Krafft ahigkeit der Muskulatur gemessen. Diese Kraft wird vorwiegend durch den Quadriceps und die Ges assmuskulatur sowie die hintere Oberschenkel- und Wadenmuskulatur aufbereitet. Mittels einer Kraftmessplatte kann die vertikale Grundreaktionskraft gemessen werden. (Sonner, 2020a)

2.7.2 Countermovement Jump

Im Unterschied zum SJ wird beim CMJ aus der aufrechten Position gestartet. Mit einer Ausholbewegung durch aktives, zügiges Absenken in die Squatposition wird maximal in die Höhe gesprungen. Währenddessen müssen die Hände in den H ufften aufgestützt bleiben (siehe Abbildung 9). (Jordan et al., 2017a)

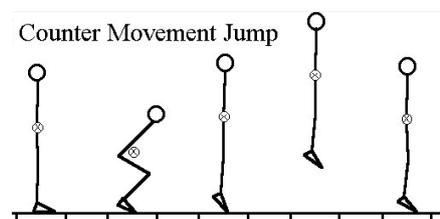


Abbildung 9: Countermovement Jump (Nessler, 2013)

Beim CMJ kann die Reaktivkrafft ahigkeit der Sprungmuskulatur bewertet werden. Es werden dafür ebenfalls die hinteren Oberschenkelmuskeln, der Quadriceps sowie die Waden- und Ges assmuskulatur angesprochen. Die Kraftaufbereitung wird mittels Kraftplatte objektiviert. (Sonner, 2020b)

2.7.3 Isometrische Knieflexions- und Knieextensionsaktivität

Die Teilnehmenden der Studie von Jordan et al. (2015b, 2017a) werden in ein isometrisches Kraftmessgerät gesetzt, wobei das Knie in einer Winkelposition von 70  angebracht wird. Dabei kann die maximale isometrische Kraftaufbereitung in Flexion und Extension von den Muskeln M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. biceps femoris und M. semitendinosus durch vorgängig angebrachte Elektroden gemessen werden (siehe Abbildung 10). (Jordan et al., 2017a)

<http://capilano rehab.com/your-biodex-advantage/>

Aus urheberrechtlichen Gründen ist diese Abbildung nicht im Werk vorhanden, sondern nur per URL zugänglich.

Abbildung 10: Isometrische Knieflexions- und Knieextensionsmaschine (Capilano Rehab, 2001)

2.7.4 Exzentrische Hamstringsaktivität: Nordic Hamstrings

Die maximale Nordic-Hamstringsübung wird zur Messung in der Studie von Spiess et al. (2019) verwendet. Sie erfolgt durch eine kniende Position auf dem Nord-Bord: Die Füße werden mit uniaxialen Kraftmesszellen verbunden und fixiert, sodass sich der Oberkörper soweit wie möglich nach vorne neigt, wie die neutrale Position von Hüfte und Rumpf gehalten werden kann (siehe Abbildung 11). Mit langsamem Heruntersenken des Oberkörpers wird die exzentrische Gesamtkraft der ischiocruralen Muskulatur beansprucht und kann so im Seiten- und Gruppenvergleich analysiert werden. Die Athletinnen und Athleten können durch vorgängige Messungen der Unterschenkellänge, Körpergewicht, Grösse in kniender Position und anschliessender Umrechnung in Relationen entsprechend der individuellen Konstitution verglichen werden. (Spiess et al., 2019)



Abbildung 11: Übung Nordic-Hamstrings (Spiess et al., 2019)

2.8 Biomechanik beim Skifahren

Die Informationen im folgenden Unterkapitel stammen aus der Quelle von Mathelitsch & Thaller (2015).

Beim Skifahren ist man diversen Kräften ausgesetzt. Das eigene Körpergewicht, die Trägheitskraft, die Reibung und der Luftwiderstand wirken gleichzeitig passiv, während die Muskelkraft aktiv beeinflusst werden kann. Die Muskeln leiten die Kraft über Sehnen, Knochen, Skischuh und Ski sowie über den Stockeinsatz auf den Schnee über. Durch das summative Wechselspiel all dieser Kräfte kann die Geschwindigkeit und Fahrlinie durch die Skifahrenden gesteuert werden.

Primär gewinnen die Skifahrenden das Tempo durch die Gravitation entsprechend der Hangneigung. Mit aktiven Beschleunigungstechniken wie Stockeinsatz, Beschleunigungen in Kurven oder Schlittschuhschritten kann diese verstärkt werden. Je schneller man fährt, desto mehr Einfluss hat die Gegenkraft des Luftwiderstandes, welche quadratisch mit der Geschwindigkeit zunimmt.

Natürlich dürfen auch die Wechselwirkungen mit dem Schnee nicht vernachlässigt werden, welche durch Reibungs- und Schneeräumwiderstände (Schnee wird zusammengepresst) auftreten. Die Reibungswiderstände können in Haft- und Gleitreibung eingeteilt werden, wobei Schneeräumwiderstände den grössten Beitrag zu Richtungsänderungen leisten.

Doch die für diese Arbeit relevantesten Kräfte sind die im Körper wirksamen Kräfte der Muskeln und Sehnen. Durch Muskelaktivitäten erzeugte Kräfte werden über die Sehnen und Knochen, welche als Hebel funktionieren, nach aussen geleitet und beeinflussen so den gesamten Fahrstil. Sie sind mit der am Anfang genannten Gewichtskraft, als Bodenreaktionskraft messbar, welche die Gegenkraft des Bodens auf den Ski bildet.

Durch unterschiedliche Haltungen können diverse Kräfte stark beeinflusst werden, beispielsweise spielt die Knieflexion eine enorme Rolle auf die Kompressionskraft im Kniegelenk zwischen Femur und Tibia, welche bis sechsmal so gross werden kann wie die Bodenreaktionskraft. Je grösser die Kniegelenksflexion, desto höher ist die

Kompressionskraft und damit auch die Muskelkraft im Verhältnis zur extern gemessenen Kraft: ab 110° Kniegelenksflexion übertrifft die Kraft der Knieextensoren die auf den Boden wirkende Kraft um das Fünffache, während man bei gestreckten Beinen für dieselbe Bodenreaktionskraft kaum Muskelaktivität braucht. Das erklärt auch die hohe Belastung bei Skirennfahrenden, da diese grosse Teile des Rennens in der Hocke fahren und sich dadurch in einer variierend hohen Knieflexion aufhalten. Ausserdem müssen auch Unebenheiten der Piste durch die Muskulatur, Sehnen und Bänder ausgeglichen werden.

Die Beschleunigung beim Kurvenfahren entsteht dadurch, dass die Skier eine kurze Zeit in der Falllinie stehen. Wenn man zugleich die Beine streckt, kann man zusätzliche Geschwindigkeit gewinnen, da sich der Schwerpunkt zum Drehzentrum hin verlagert. Die Energie kommt schlussendlich aber aus der Muskelkraft der Beinextensoren. Kurven können auch als Bremsmanöver gebraucht werden, indem man quer zur Skirichtung rutscht und dadurch die Reibung erhöht wird.

Rennfahrende versuchen dieses Rutschen natürlich so gut wie möglich zu vermeiden.

Genaue Formeln zur Biomechanik sind im *Anhang C: Biomechanik im Skirennsport* zu finden.

3 Methode

In diesem Kapitel wird der Arbeitsprozess zur Studiensuche und -auswahl beschrieben. Erste Themenideen widmeten sich einem Präventionstraining für Personen im Breitensport Ski. Nach dem Verfassen der Disposition wurde den Autorinnen jedoch bewusst, dass der Physiotherapie aufgrund des schweizerischen Versicherungssystems für Präventionstrainings die Hände gebunden sind. Deshalb wurde der Fokus auf die muskuläre Funktion nach der häufigsten Skiverletzung verschoben und die Keywords entsprechend angepasst.

Nach dieser Richtungsänderung konnte ein Überblick über die Studienlage dieses Themas geschaffen sowie die Keywords mithilfe von Ein- und Ausschlusskriterien definiert werden.

Des Weiteren werden die Instrumente zur kritischen Würdigung der ausgewählten Studien beschrieben und erklärt.

3.1 Literaturrecherche

Der Arbeitsprozess startete im Frühling 2020 mit ersten Recherchen bezüglich VKB-Rekonstruktionen im Skirennensport in gesundheitspezifischen Datenbanken wie Medline, CINAHL, GoogleScholar und Pubmed. Diese Datenbanken beziehen sich auf fachspezifische Informationen betreffend des Gesundheitswesens. Die Resultate aus der Literaturrecherche bilden die Grundlage für die Formulierung der passenden Zielsetzung sowie der Fragestellung.

Aufgrund der spezifischen Themenwahl über VKB-Rekonstruktionen nach Skiunfällen wurde zusätzlich das Bundesamt für Sport in Magglingen (BASPO) kontaktiert und nach Material über Muskelaktivitäten beim Skifahren angefragt. Dadurch konnte das Zugriffsspektrum erweitert werden und diverse Studien und Trainingsmöglichkeiten wurden den Autorinnen zur Verfügung gestellt.

3.2 Keywords

Um zum Thema passende Studien in den Datenbanken zu finden, wurden die in der Zielsetzung und Fragestellung vorkommenden Schlüsselbegriffe auf Englisch übersetzt, welche nun die relevanten Keywords darstellen. Im gesamten Prozess der Themenfindung und -konkretisierung wurden die Keywords in den verschiedenen Recherchephasen für eine spezifische Suche stetig angepasst. Als definitive Keywords wurden folgende ausgewählt: ski*, acl, reconstruction, strength OR force OR muscl* sowie muscle activit*. Im Laufe der Themenwahl wurden verschiedene Recherchen durchgeführt und aufgrund der Resultate das Thema fortlaufend spezifiziert. In der *Tabelle 1: Kurzversion Rechercheprotokoll* ist eine verkürzte Fassung der Studienwahl ersichtlich. Die dazugehörigen Studientitel sind der Tabelle im *Anhang D: Search history* zu entnehmen.

Für weitere Literatur, um Hintergrundinformationen zum gesamten Thema zu erhalten, wurde NEBIS (Netzwerk von Bibliotheken und Informationsstellen in der Schweiz) konsultiert.

Tabelle 1: Kurzversion Rechercheprotokoll

Datenbank	Suchoptionen	Treffer	Relevante Treffer
CINAHL	acl AND ski AND return	7	2
	ski AND acl reconstruction AND muscl*	4	4
	ski AND acl AND reha	3	0
Medline	ski AND acl reconstruction AND muscl*	4	3
	((ski OR skiing OR skier) and (reha* OR program* OR build-up OR return) and acl)	47	4
PubMed	ski* AND acl AND reha*	20	0
Maggingen	Schriftliche Kontaktaufnahme mit dem Bundesamt für Sport (BASPO)	8	2

3.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Nach ersten Studiensuchen mit grosser Anzahl an Resultaten musste die Suche genauer eingegrenzt werden. Dafür sind in der Tabelle 2 die Kriterien aufgelistet.

Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Skileistungssport oder Skirennfahrende	Snowboard
VKB-Rekonstruktionen mit allen Rekonstruktionsmethoden	Skilanglauf
Publikationen nach 2010 (Ergebnisse 2014-2019)	Skispringen
Muskuloskelettale Informationen: Muskelaktivität von Quadriceps und Hamstrings	Zahlungspflichtige Studien
Männer und Frauen	Konservative Behandlungsmethoden
Alle Altersgruppen	
Volltext in Deutsch oder Englisch erhältlich	

3.4 Selektion der Hauptstudien

Nach der Definition der Ein- und Ausschlusskriterien sowie der Keywords wurden die Datenbanken nach passenden Studien durchforstet. Anschliessendes Querlesen der gelieferten Resultate grenzte die Auswahl der Hauptstudien ein (siehe *Anhang E: Studienselektion nach Titelscreening*). Im folgenden werden die vier Hauptstudien aufgelistet.

- **Studie 1: Rapid Hamstrings/Quadriceps Strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers**
Jordan M. J., Aagaard P., Herzog W., 2015
- **Studie 2: Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction**
Jordan M. J., Aagaard P., Herzog W., 2015
- **Studie 3: Asymmetry and Thigh Muscle Coactivity in Fatigued Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Elite Skiers**
Jordan M. J., Aagaard P., Herzog W., 2017
- **Studie 4: Strength deficits of the hamstrings following surgery on the anterior cruciate ligament: a case-control**
Spiess J., Meyer S., Wyss T., Hübner K., Bruhin B., Luomajoki H., 2019

3.5 Instrumente zur kritischen Würdigung

Zur kritischen Würdigung der ausgewählten Studien wird das Arbeitsinstrument für ein Critical Appraisal (AICA) verwendet. Dieses erlaubt, die Studieninhalte von qualitativen sowie quantitativen Studien tabellarisch zusammenzufassen, kritisch zu würdigen und untereinander zu vergleichen.

Das AICA wird nach dem EMED-Format gegliedert, das heisst in die Abschnitte Einleitung, Methoden, Ergebnisse und Diskussion eingeteilt. Als Vorteile des AICA-Beurteilungsinstrumentes können die spezifischen Fragen betrachtet werden, die eine klare Struktur und detaillierte Interpretation der Studie ermöglicht. Ausserdem werden im AICA die Zusammenfassung des Inhalts sowie deren Würdigung direkt miteinander verbunden. Verglichen mit anderen Beurteilungsinstrumenten können im AICA keine Punktwertungen zur Beurteilung der Güte vergeben werden, wodurch der Vergleich unter den Studien nicht so klar zu ermitteln ist.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die vier ausgewählten Studien zusammengefasst und deren Qualität anhand des AICA-Formulars analysiert (ausführliche AICAs siehe *Anhang F: AICA-Formulare der vier Studien*). Sowohl im Abschnitt Methode als auch bei den Ergebnissen wird der Fokus auf die für die Fragestellung relevantesten Aussagen gelegt. Auf eine Zusammenfassung der Diskussionen der einzelnen Studien wird verzichtet, jedoch werden diese im Kapitel 5 *Diskussion* miteinbezogen.

4.1 Studie 1

4.1.1 Zusammenfassung

Titel

Rapid Hamstrings/Quadriceps Strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers (Jordan et al., 2015b)

Ziel der Studie

Die Studie hatte zum Ziel, durch ein umfassendes Muskelkraft-Assessment der Hamstrings und des Quadriceps sowie der Bestimmung der Muskelmasse der unteren Extremitäten, die Unterschiede zwischen aktiven wettkampffähigen Skirennfahrenden mit und ohne vorderer Kreuzbandrekonstruktion zu evaluieren.

Methode

Es wurde eine Case-Control-Studie durchgeführt, wobei eine einmalige Messung während den üblichen jährlichen Fitnesstests vor der Off-Snow-Periode vorgenommen wurde. Die nicht randomisierte Stichprobe setzt sich aus acht Teilnehmenden mit einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion (VKB-Gruppe) sowie 21 Unverletzten (Kontrollgruppe) zusammen. Alle Teilnehmenden sind aktiv Konkurrierende des Kanadischen Alpinen Skiteams.

Die Testung von drei maximalen willkürlichen Kontraktionen (MVC) erfolgte auf einem isokinetischen Dynamometer mit einem voreingestellten Kniegelenkwinkel

von 70° Flexion. Dabei erfolgte eine isometrische Anspannung in Kniegelenks-
extension und -flexion für das rechte und das linke Bein. Das Ziel war, die
Kontraktion so schnell und kraftvoll wie möglich durchzuführen und zwei Sekunden
zu halten. Der Versuch mit der maximalen Kraftbereitstellung wurde als MVC
gewertet und für die Analyse verwendet.

Zur weiteren Analyse wurde das 'Rate of Torque Development' (RTD) beigezogen,
das misst, in welchem Zeitabschnitt welche Kontraktion (=Drehmoment) erreicht
werden kann. Um das Verhältnis zwischen der schnellen isometrischen Hamstrings-
(HAM) und Quadriceps- (QUAD) Drehmoments-Produktion zu messen, wurde das
RTD als Messung der dynamischen Kniewinkelstabilisation in Zeitintervalle eingeteilt:
0-50 Millisekunden (ms) (RTD₅₀) und 0-100 ms (RTD₁₀₀) zur Messung des initialen
RTD sowie 0-150 ms (RTD₁₅₀) und 0-200 ms (RTD₂₀₀) zur Messung des späten RTD.
Der Start der Messzeit für das RTD wurde bei Überschreitung von 4% des MVC
definiert.

Das Signifikanzniveau wurde bei allen vier Studien auf 5% festgelegt.

Ergebnisse

Asymmetrie-Index

Jordan et al. (2015b) konnten feststellen, dass Teilnehmende mit rekonstruiertem
vorderen Kreuzband signifikante Defizite in der betroffenen Extremität in der
Hamstrings- und Quadriceps-Maximalkraft (MVC) und im späten RTD im
Seitenvergleich aufwiesen ($p < 0.05$). Jedoch konnte auch bei den unverletzten
Männern ein signifikanter Seitenunterschied von 5% in der HAM-Maximalkraft und
ein Unterschied von 8% im späten RTD der Hamstrings festgestellt werden (beide $p < 0.05$).

Kraftunterschied des betroffenen Beines im Vergleich zur Kontrollgruppe

Das betroffene Bein der VKB-Gruppe zeigte signifikante Defizite der HAM- und
QUAD-Maximalkraft verglichen mit dem Mittelwert beider Beine der Unverletzten
(Extension $p < 0.01$, Flexion $p < 0.05$). Des Weiteren konnte im selben Vergleich in
der Explosivkraft des Quadriceps auf der betroffenen Seite ein signifikantes Defizit

gefunden werden ($p < 0.05$). In den Hamstrings hingegen wurde in der Explosivkraft kein Unterschied festgestellt.

Der relative RTD_{50} der Hamstrings war in Flexion gar grösser bei den betroffenen Extremitäten als in der Kontrollgruppe ($p < 0.05$). Dies bedeutet, dass in den ersten 50 Millisekunden auf der betroffenen Seite mehr Explosivkraft in Flexion (Hamstringsaktivität) erzeugt werden konnte als in der Kontrollgruppe. Beim Vergleich des HAM-MVC-Drehmoments des VKB-rekonstruierten Beines verglichen mit der Gegenseite und der Kontrollgruppe wurden signifikante Defizite der betroffenen Extremität festgestellt.

4.1.2 Würdigung

In der Einleitung der Studie wird die Relevanz von vorderen Kreuzbandrupturen im Skirennsport deutlich aufgezeigt. Die enormen Belastungen während des Skirennfahrens werden thematisiert sowie auch Kritik an der mangelnden wissenschaftlichen Forschung und Prävention in diesem Bereich angebracht wird. Dabei wird Bezug zu anderen Studien hergestellt. Die Forschungsfrage wird mittels ebengenannter fehlender bestehender Literatur zu Muskelkraft bei aktiven Skirennfahrern nach VKB-Rekonstruktion klar begründet und Hypothesen werden aufgezeigt.

In dieser Case-Control-Studie wird die VKB-Gruppe mit einer Kontrollgruppe verglichen. Die Probandinnen und Probanden werden aufgrund der Voraussetzung (VKB-Rekonstruktion) in nicht-randomisierte Gruppen eingeteilt. Das methodische Vorgehen passt zur Forschungsfrage, da aufgrund der Voraussetzung, eine Kreuzbandrekonstruktion hinter sich zu haben, keine vorgängigen Messungen möglich sind. Die Population ist durch die Auswahl des Kanadischen Alpinen Skiteams auf sehr hohem Leistungsniveau und entspricht der Fragestellung. Allerdings kann nur eine Aussage über dieses Team gemacht werden und nicht über andere Nationen, welche vielleicht einen anderen Trainingsansatz verfolgen. Die Stichprobengrösse ist mit 21 Unverletzten und acht Teilnehmenden mit

Rekonstruktion zu klein, um ein aussagekräftiges Resultat zu erhalten. Aufgrund der konkret definierten Ein- und Ausschlusskriterien gab es keine Dropouts.

Die einmalige Messung erfolgte nach einem standardisierten Messverfahren, woraus objektive Zahlen resultierten. Die Datenerhebung mit den MVC- und RTD-Messungen entspricht der Fragestellung des HAM- und QUAD-Muskelkraft-Assessments. Die untersuchten Variablen passen zur Fragestellung und die Messinstrumente wurden dementsprechend gewählt, die Auswahl wurde jedoch nicht begründet. Für die Datenanalyse werden die Varianzanalyse (ANOVA) und der t-Test verwendet und kurz ausgeführt. Auf eine detaillierte Erklärung, für welchen Vergleich sie angewendet werden, wird in der Studie jedoch verzichtet. Die genutzten Analyseverfahren sind durch die nominalen und absolut/proportionalen Skalenniveaus passend.

Die Resultate werden in mehreren Abschnitten thematisch gruppiert und schriftlich erklärt. Im Text wird auf dazugehörige Grafiken verwiesen, welche die Resultate bildlich in der Entwicklung der Zeit darstellen. Es wird jeweils genau genannt, was verglichen wird und ob die Resultate einen signifikanten Unterschied aufweisen oder nicht. Die Übertitel helfen, einen Überblick über die Resultate zu erhalten.

In der Diskussion werden die Resultate erneut aufgegriffen und einzeln mit bereits vorhandener Literatur untermauert. Ausserdem werden auch zu nicht aussagekräftigen Resultaten Vermutungen aufgestellt, welche die Relevanz einer guten Muskelfunktion nach Rekonstruktion im Skirennsport bekräftigen. Die Ergebnisse werden vollständig besprochen und teils weiter ausgeführt und interpretiert. Jordan et al. (2015b) diskutieren auch Ergebnisse, die ihre Hypothesen widerlegen. Wenn die Ergebnisse nicht ihren Hypothesen entsprechen, wird nach Alternativerklärungen gesucht. Zum Schluss der Diskussion wird die Aussagekräftigkeit aufgrund von Teilnehmenden, die die Rückkehr in den Sport nicht mehr schafften, in Frage gestellt.

4.2 Studie 2

4.2.1 Zusammenfassung

Titel

Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction (Jordan et al., 2015a)

Ziel der Studie

Das Ziel der Studie bestand darin, die funktionelle Asymmetrie zwischen dem linken und dem rechten Bein anhand des Countermovement Jumps (CMJ) und des Squat Jumps (SJ) phasenspezifisch bei Skirennfahrenden mit VKB-Rekonstruktion sowie Unverletzten zu identifizieren.

Methode

Bei der Studie handelt es sich um eine Case-Control-Studie. Die VKB-Gruppe der Stichprobe wurde aus neun Skirennfahrenden des Kanadischen Alpinen Skiteams gebildet, welche eine Kreuzbandverletzung erlitten und anschliessend das Kreuzband rekonstruiert wurde. Die Kontrollgruppe bestand aus neun Unverletzten aus ebendiesem Team. Es fand eine einmalige Datenerhebung während des jährlichen Fitnesstests vor der Off-Snow-Trainingsperiode statt. Der Test bestand aus zehn maximalen CMJs gefolgt von einer fünfminütigen Pause. Darauf führten die Teilnehmenden zehn maximale SJs aus. Aus den jeweils zehn Sprüngen wurde der Mittelwert der Kraftimpulse für die jeweiligen Sprungphasen ermittelt. Die Sprünge wurden auf einer Kraftmessplatte durchgeführt, welche die Bodenreaktionskraft misst.

Der Countermovement Jump wird in zwei Phasen unterteilt. Die exzentrische Abstiegsphase beginnt im Stand und endet im Moment des tiefsten Körperschwerpunktes. An diesem Punkt startet die konzentrische Phase und endet im Moment des Absprungs. Der Squat Jump wird ebenfalls in zwei Phasen unterteilt. Die Phase 1 beginnt in der Ausgangsstellung (Squatposition) und endet nach der

Hälfte der gesamten Absprunzeit. Zu diesem Zeitpunkt startet die Phase 2 und endet im Moment des Absprungs.

Ergebnisse

Asymmetrie-Index

Athletinnen und Athleten mit einer VKB-Rekonstruktion zeigten verglichen mit Unverletzten einen signifikant grösseren Asymmetrie-Index in der konzentrischen Phase des CMJs mit 6.8% (Unverletzte 0.5%) ($p < 0.05$), der Phase 2 des SJs mit 8.8% (Unverletzte -1%) ($p < 0.05$) und der Beinmuskelmasse mit 4.3% (Unverletzte - 2.2%) ($p < 0.001$). Bei der Phase 1 des SJ sowie der exzentrischen Phase des CMJs konnte kein signifikanter Unterschied des Asymmetrie-Index zwischen der VKB- und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Ausserdem konnte zwischen dem AI der Beinmuskelmasse und dem AI der konzentrischen Phase des CMJ sowie der Phase 2 des SJ ein moderater Zusammenhang festgestellt werden: Ein grösserer AI in der Beinmuskelmasse zieht einen grösseren AI in der Kraftaufbereitung in den obengenannten Phasen mit sich.

4.2.2 Würdigung

Die Einleitung der Studie beschreibt die Thematik sehr umfassend und ist auf viel Literatur abgestützt. Indem die enorme Belastung auf die Gelenke sowie die Häufigkeit von VKB-Rupturen und Rerupturen im Skirennsport beschrieben werden, kommt die Wichtigkeit für die vorliegende Studie gut zum Ausdruck. Das Ziel und dazu passende Hypothesen sind präzise formuliert.

Das Studiendesign (Case-Control-Studie) ist nachvollziehbar, da ein Vergleich zwischen Teilnehmenden mit VKB-Rekonstruktion und Unverletzten sinnvoll ist. Eine einmalige Datenerhebung ist deshalb logisch, da die Athletinnen und Athleten aufgrund der Unvorhersehbarkeit eines Unfalls davor nicht untersucht werden konnten. Es wurde ein standardisiertes Messverfahren durchgeführt. Die Population ist angemessen ausgewählt, sofern man davon ausgeht, dass die Aussage für Skirennfahrende des Weltcups gemacht werden soll. Die Stichprobe, bestehend aus

Skirennfahrenden aus dem Kanadischen Alpinen Skiteam, repräsentiert die Population ziemlich genau. Eine Stichprobe mit Athletinnen und Athleten aus verschiedenen Nationen wäre jedoch aussagekräftiger. Die Teilnehmenden wurden durch klar beschriebene Ein- und Ausschlusskriterien rekrutiert, weshalb keine Dropouts verzeichnet wurden. Die Stichprobengrösse fällt in dieser Studie mit je neun Teilnehmenden pro Gruppe sehr klein aus.

Die Datenerhebung erfolgte mittels einer Kraftmessplatte zur Messung der Bodenreaktionskraft während den Sprüngen. Dies ermöglicht den Untersuchenden objektive Zahlen miteinander zu vergleichen. Eine genaue Begründung über die Auswahl dieser Kraftmessplatte fehlt. Bezüglich der Genauigkeit der verwendeten Kraftmessplatten wird in der Studie keine Aussage getroffen. Da der Squat Jump wie auch der Countermovement Jump in je zwei Phasen unterteilt werden, sind die Variablen genau und zielgerichtet gewählt. So können die Kraftimpulse in den einzelnen Phasen gut miteinander verglichen werden. Sie erlauben den Untersuchenden, Aussagen sowohl über die konzentrische als auch über die exzentrische Muskelaktivität zu treffen.

Die statistische Datenanalyse erfolgte mittels der Varianzanalyse sowie der linearen Regressionsanalyse. Mit der Varianzanalyse können die Mittelwerte der beiden Gruppen miteinander verglichen werden. Die lineare Regressionsanalyse erlaubt, die Beziehung zwischen dem AI der Beinmuskelmasse und dem AI der phasenspezifischen Kraftimpulse während dem SJ und dem CMJ zu untersuchen. Die Verfahren entsprechen den Skalenniveaus und sind zielführend angewendet.

Die wichtigsten Resultate werden sehr kurz und knapp in Textform dargestellt und mit Tabellen und Grafiken zum besseren Verständnis ergänzt. Dabei ist die Signifikanz der Resultate nicht überall auf den ersten Blick erkennbar. Verglichen mit den Ergebnissen wird der Diskussion deutlich mehr Umfang geschenkt indem die wichtigsten Resultate in diesem Kapitel nochmals ausführlich diskutiert werden. Sie werden mit anderen Studien verglichen und es wird nach Erklärungen gesucht, weshalb die Ergebnisse der Studie von Jordan et al. (2015a) teils von den Outcomes anderer Studien abweichen könnten. Zum Schluss werden Limitationen aufgezeigt:

Die Autoren bemängeln, dass nicht zwischen Frauen und Männern unterschieden wurde. Ausserdem ist die Altersspanne der Teilnehmenden mit sieben Jahren relativ gross und es handelt sich um eine kleine Stichprobe. Um genauere Aussagen bezüglich dem AI zu treffen, wären aus Sicht von Jordan et al. (2015a) Vorverletzungsmessungen interessant gewesen. Nur so könnte man mit Sicherheit sagen, dass der vergrösserte AI bei der VKB-Gruppe nicht bereits vor der Verletzung bestanden hätte.

4.3 Studie 3

4.3.1 Zusammenfassung

Titel

Asymmetry and Thigh Muscle Coactivity in Fatigued Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Elite Skiers (Jordan et al., 2017a)

Ziel der Studie

Die Studie hatte das Ziel, den Effekt der neuromuskulären Ermüdung auf die Sprungfähigkeit bei vertikalen Sprüngen bei Elite-Skirennfahrenden mit VKB-Rekonstruktion und bei Unverletzten zu untersuchen und zu vergleichen. Weiter wurde die bilaterale funktionelle Asymmetrie (AI) sowie die Quadriceps- und Hamstringsmuskelaktivität getestet.

Methode

Es wurde eine Case-Control-Studie durchgeführt. Dabei wurden die Daten einmalig während der gewöhnlichen jährlichen Fitnesstests vor der Off-Snow-Periode erhoben. Es wurde eine Stichprobe definiert, die in zwei nicht-randomisierte Gruppen mit je elf Teilnehmenden unterteilt wurde. Die eine Gruppe umfasst Athletinnen und Athleten des Kanadischen Skiteams mit einer VKB-Rekonstruktion, die zweite Gruppe besteht aus Unverletzten desselben Teams.

Auf einem isometrischen Dynamometer führten die Athletinnen und Athleten drei maximale willkürliche Kontraktionen (MVC) in Extension und Flexion bei einem Kniegelenkwinkel von 70° durch. Nach einer sechsminütigen Pause startete der Sprungtest, wobei die Athletinnen und Athleten mit beiden Beinen auf je einer Kraftmessplatte standen. Die Teilnehmenden führten dann während 80 Sekunden 20 maximale Squat Jumps aus. Für die Datenauswertung wurden die Sprünge in vier Sets eingeteilt: Set 1 = Sprünge 1-5, Set 2 = Sprünge 6-10, Set 3 = Sprünge 11-15, Set 4 = Sprünge 16-20. Der Squat Jump selbst wird in drei Phasen unterteilt: die frühe Phase (Ausgangsstellung bis zur Hälfte der gesamten Absprunzeit), die späte Phase (ab der Hälfte der gesamten Absprunzeit bis zum Moment des Absprungs) und die Landephase (Moment des Auftreffens auf dem Boden bis zur Restabilisierung in der Ausgangsstellung).

Ergebnisse

Gesamtkraft

Die durchschnittliche Sprunghöhe nahm zwischen Set 1 und Set 4 insgesamt signifikant ab ($p < 0.001$), was einer Höhendifferenz von 5.9 Zentimeter entspricht. Zwischen den beiden Gruppen konnte diesbezüglich kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. In der frühen Sprungphase (Aufstiegsphase) manifestierte sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der maximalen Hamstringsaktivierung zwischen Set 1 und Set 4 ($p < 0.0001$). Diese nahm mit zunehmender Ermüdung insgesamt bei den Beinen mit VKB-Rekonstruktion, der Gegenseite wie auch den Unverletzten ab. Zusätzlich konnte sowohl bei der VKB-Gruppe (betroffene Seite und Gegenseite) als auch bei der Kontrollgruppe mit zunehmender Ermüdung eine verminderte Hamstringsaktivität während der Landephase beobachtet werden ($p < 0.0001$).

Asymmetrie-Index

Die VKB-Gruppe zeigte einen signifikanten AI-Unterschied in der späten Phase, wobei sich ein reduzierter Impuls des Quadriceps im betroffenen Bein gegenüber der Gegenseite ($p < 0.0001$) offenbarte. In der Vorlandephase wurde bei den Beinen mit

VKB-Rekonstruktion verglichen mit der Gegenseite eine vermehrte Hamstrings- und/oder verminderte Quadricepsaktivität beobachtet ($p < 0.01$). In der anschliessenden Landephase konnte im Seitenvergleich zudem ein signifikantes Defizit in der vorbereitenden Quadricepsaktivität im betroffenen Bein festgestellt werden ($p < 0.01$). Allgemein konnte mit zunehmender Ermüdung kein signifikanter Unterschied des funktionellen Asymmetrie-Index erkannt werden.

Kraftunterschied des betroffenen Beines im Vergleich zur Kontrollgruppe

Wie der Vergleich des betroffenen Beines mit der Gegenseite eine vermehrte Hamstrings- und/oder verminderte Quadricepsaktivität beim VKB-rekonstruierten Bein zeigt, so ist dies auch im Vergleich des betroffenen Beines zur Kontrollgruppe zu beobachten ($p < 0.01$).

4.3.2 Würdigung

In der Einleitung werden das Ziel der Studie sowie die Hypothesen der Autoren klar beschrieben. Es existiert zwar bereits eine ähnliche Studie mit Handballspielenden, der Effekt der Ermüdung auf die funktionelle Asymmetrie bei Skirennfahrenden mit VKB-Rekonstruktion wurde bislang jedoch kaum erforscht.

Das methodische Vorgehen ist für die Beantwortung der Fragestellung grundsätzlich sinnvoll gewählt. Durch die 20 Squat Jumps während 80 Sekunden wird eine neuromuskuläre Ermüdung erreicht. Ein Skirennen kann sich durchaus über diese Zeitspanne erstrecken, wodurch ein Vergleich der Anfangswerte mit den Endwerten der Aktivität sinnvoll ist. Unklar erscheint, weshalb die Teilnehmenden vor dem Sprungtest drei MVCs durchführten, da diese für die Resultate nicht weiterverwendet wurden. Die Population (Skirennfahrende des Weltcups) scheint für die Beantwortung der Fragestellung angemessen. Die Stichprobe (Kanadische Elite-Skirennfahrende) repräsentiert die Population, jedoch stammen alle Teilnehmenden aus dem gleichen Nationalteam. Alle Teilnehmenden wurden durch klare Ein- und Ausschlusskriterien rekrutiert. Die Stichprobengrösse ist bei der Studie von Jordan et al. (2017a) mit je elf Probandinnen und Probanden pro Gruppe sehr klein

ausgefallen, was ein eindeutiges Resultat aus der Testung nur erahnen lässt. Zudem wurden die Athletinnen und Athleten der VKB-Gruppe mit verschiedenen Rekonstruktionsmethoden operiert, was das Outcome beeinflussen kann.

Die statistischen Variablen sind passend, um das Ziel der Studie zu erreichen. Es wird beschrieben, welche Messinstrumente (isometrischer Dynamometer und Kraftmessplatten) angewendet werden. Es wird jedoch nicht genauer erläutert, aus welchem Grund sich die Forschenden für diese Methoden entschieden haben. Der Vorteil ist, dass beide Messinstrumente objektive Werte erzeugen, welche gut zu vergleichen sind. Zur Datenauswertung wird die Post-hoc-Analyse verwendet, die aufzeigt, welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden.

Die Ergebnisse werden sowohl in Textform als auch in Tabellen und Grafiken dargestellt. Da sehr viele Werte ermittelt wurden, wirken die Tabellen eher unübersichtlich. Durch mit '*' markierte signifikante Resultate, wird Klarheit über die wichtigsten Ergebnisse geschaffen. Anschliessend werden die Resultate diskutiert und die Autoren suchen nach Erklärungen für die teilweise unerwarteten Outcomes. Ebenfalls wird Bezug zu anderen Studien hergestellt und Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Resultate zwischen den Studien werden durch Vermutungen der Autoren unterlegt. Die Autoren der Studie von Jordan et al. (2017a) erwähnen einige Limitationen: Es konnte nicht zwischen den unterschiedlichen Rekonstruktionsmethoden unterschieden werden und es wurden nur hochfunktionelle Skirennfahrende miteinbezogen. Nicht erwähnt wird, dass die Stichprobengrösse zu klein ist, um aussagekräftige Schlüsse zu ziehen sowie nur Athletinnen und Athleten von einem Nationalteam für die Stichprobe rekrutiert wurden.

4.4 Studie 4

4.4.1 Zusammenfassung

Titel

Strength deficits of the hamstrings following surgery on the anterior cruciate ligament: a case-control study of elite alpine ski racers (Spiess et al., 2019)

Ziel der Studie

Das Ziel der Studie von Spiess et al. (2019) war, das Niveau der Kraft von am vorderen Kreuzband operierten und gesunden Athletinnen und Athleten mittels einer einfachen Messmethode, die die exzentrische Kraft der Ischiocruralmuskulatur von Skirennfahrenden misst, zu bestimmen.

Methode

Es handelt sich um eine Case-Control-Studie zwischen einer VKB-Gruppe von 18 am vorderen Kreuzband operierten und einer Kontrollgruppe von 70 gesunden Skirennfahrenden. Von den 18 Operierten in der Untersuchungsgruppe wurden 13 unilateral und fünf bilateral operiert. Alle Teilnehmenden wurden aus dem Schweizerischen Nationalkader rekrutiert und sind zwischen 15 und 31 Jahre alt.

Die Daten wurden mithilfe der Übung Nordic-Hamstrings in einer knienden Position auf dem Nordbord ermittelt. Die fixierten Füße sind mit uniaxialen Kraftmesszellen verbunden, welche die Kraftwerte beidseitig in Newton (N) messen. Um einen Vergleich zwischen den Ergebnissen der Athletinnen und Athleten herzustellen, wurden die absoluten Zahlen anhand des Körpergewichts in relative umgerechnet (N/kg). Die Messung erfolgte bilateral mit zwei Serien à drei maximalen Hamstringsübungen mit jeweils zwei Minuten Pause zwischen den Serien. Aus den sechs Ergebnissen wurde jeweils der Mittelwert der beiden Seiten für die absolute und die relative exzentrische Kraft berechnet. Die Differenz der exzentrischen Kraft der beiden Beine stellt den Limb Symmetry Index dar. (Anmerkung der Autorinnen dieser Arbeit: Die Studie von Spiess et al. (2019) schreibt vom Limb Symmetry Index,

welcher mit dem Asymmetrie-Index der anderen Studien gleichzustellen ist. Deshalb wird in der weiteren Arbeit einheitlich der Ausdruck Asymmetrie-Index verwendet.)

Ergebnisse

Exzentrische Gesamtkraft

Bei der absoluten exzentrischen Gesamtkraft beider Beine konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der VKB- und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Es wurde jedoch eine Tendenz erkannt, dass die Probandinnen und Probanden der Kontrollgruppe mehr Kraft erzeugen konnten. Wenn die exzentrische Kraft auf Körpergewicht und -grösse relativiert wird, zeigte sich signifikant, dass die Kontrollgruppe mehr Kraft aufbringen konnte ($p=0.031$).

Asymmetrie-Index

In der Studie von Spiess et al. (2019) wurde zwischen uni- und bilateraler Rekonstruktion unterschieden. Bei den 13 unilateral operierten Teilnehmenden konnte weder in der absoluten ($p=0.436$) noch in der relativen Kraft ($p=0.305$) ein signifikanter Unterschied im Seitenvergleich festgestellt werden. Jedoch konnte festgestellt werden, dass im Vergleich der uni- und bilateral operierten Probandinnen und Probanden die VKB-Gruppe der unilateral operierten mit 10.44% den grössten Kraftunterschied der beiden unteren Extremitäten (AI) zeigt. Damit haben sie auch einen signifikanten Unterschied der Bein-Asymmetrie im Vergleich zur Kontrollgruppe ($p=0.016$).

Kraftunterschied des betroffenen Beines im Vergleich zur Kontrollgruppe

Wenn die 13 operierten Beine mit dem Mittelwert der exzentrischen Gesamtkraft (des rechten und linken Beines) der 70 Teilnehmenden der Kontrollgruppe verglichen wurden, zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei der relativen Kraft: Das operierte Bein war schwächer als der Mittelwert der Kontrollgruppe ($p=0.024$). Bei der absoluten Kraft konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p=0.116$). Das gesunde Bein der unilateral operierten Teilnehmenden verglichen mit dem Mittelwert der Kontrollgruppe zeigte weder absolut noch relativ einen signifikanten Unterschied. Die bilateral Operierten zeigten eine Bein-Asymmetrie von 5.29%, damit

jedoch keinen grösseren Asymmetrie-Index als die Kontrollgruppe mit 5.36% ($p=1.000$).

4.4.2 Würdigung

In der Einleitung der Studie von Spiess et al. (2019) wird die Relevanz des Themas anhand von Fakten der Unfallstatistik und der Biomechanik beim Skifahren detailliert aufgezeigt. Ausserdem wird Bezug zu anderen Studien, die die exzentrische Kraft der Ischiocruralmuskulatur nach VKB-Verletzungen erforschten, hergestellt. Allerdings waren deren Teilnehmende Fussball- und Australian Footballspielende. Spiess et al. (2019) verweist zudem auf die Studie von Jordan et al. (2015a), welche bei Skirennfahrenden nach VKB-Rekonstruktion eine verminderte Kraft des Quadriceps und der Ischiocruralmuskulatur aufweist.

Dementsprechend passt auch das methodische Vorgehen mit der Übung auf dem NordBord zur Forschungsfrage, da sie die Auswahl klar begründen und den Fokus auf die exzentrische Kraft der Ischiocruralmuskulatur legen. Durch die Auswahl des Schweizerischen Alpinen Skiteams können aufgrund des intensiven Trainingsaufbaus differenzierbare Resultate erwartet werden. Würden die Probandinnen und Probanden internationaler ausgewählt, könnte eine globalere Aussage getroffen werden. Die Stichprobengrösse kann durch die kleine VKB-Gruppe und dem unverhältnismässigen Vergleich zu 70 Unverletzten kritisiert werden. Für die Rekrutierung wurden Ein- und Ausschlusskriterien klar definiert, weshalb keine Dropouts verzeichnet wurden. Auf die Geschlechter, das Alter und die Zeit seit der Operation wurde nicht näher eingegangen, was durchaus relevante Ergebnisse verbergen kann.

Die Messinstrumente sind klar beschrieben und bei allen Teilnehmenden einheitlich angewendet. Ausserdem werden die absoluten Werte entsprechend dem Gewicht und der Körpergrösse in relative umgerechnet, sodass sie untereinander vergleichbar sind. Die Messmethoden ergeben klare und objektive Zahlen, wodurch ein aussagekräftiger Schluss, unter Beachtung der Limitation der kleinen

Populationsgrösse, möglich ist. Aufgrund der detailliert erklärten Methoden kann eine hohe Test-Retest-Reliabilität erreicht werden. Zur Überprüfung der Normalverteilung wird der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet. Für den Vergleich der Kraftmittelwerte werden der t-Test und die einfaktorielle Varianzanalyse benutzt. Der Vergleich zwischen den Gruppen kann durch die ANOVA und den Bonferroni Post-hoc-Test erstellt werden. Die Analyseverfahren werden passend angewendet und entsprechen den Skalenniveaus.

Die Ergebnisse werden mittels Text- und Tabellenform in themengegliederten Abschnitten übersichtlich dargestellt. Anschliessend werden die Resultate genau diskutiert und mögliche Erklärungen dazu geliefert. Die Hypothesenbildungen und Erklärungen der Autoren der Studie von Spiess et al. (2019) scheinen logisch und nachvollziehbar. Ausserdem werden andere Studien mit ähnlichen Untersuchungen miteinbezogen und Vergleiche dazu aufgestellt. Anstatt nach alternativen Erklärungen zu suchen, werden vorwiegend die gemachten Erkenntnisse unterstrichen.

Die Autoren nennen Limitationen ihrer Studie und Verbesserungsvorschläge, um diese aufzuheben. Was allerdings nicht erwähnt wird, ist die kleine VKB-Gruppe sowie die Auswahl, dass diese nur aus einem Nationalteam stammt. Ausserdem ist der Studienaufbau nicht klar gegliedert: Informationen bezüglich der Population werden erst im Ergebnisteil statt in den Methoden erwähnt.

4.5 Kurzüberblick über die Methoden und Outcomes der Studien

In den folgenden zwei Tabellen werden die Methoden und Outcomes der Studien in einem kurzen Vergleich dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht über die Methoden der vier ausgewählten Hauptstudien

Methode	Studie 1	Studie 2	Studie 3	Studie 4
Anzahl Teilnehmende	VKB-Gruppe: 8 Kontrollgruppe: 21	VKB-Gruppe: 9 Kontrollgruppe: 9	VKB-Gruppe: 11 Kontrollgruppe: 11	VKB-Gruppe: 18 Kontrollgruppe: 70
Population	Kanadisches Ski Nationalkader	Kanadisches Ski Nationalkader	Kanadisches Ski Nationalkader	Schweizerisches Ski Nationalkader
Rekonstruktionsmethode	3 Allografts 5 Semitendinosus- Sehnen	keine Angabe	7 Semitendinosus- Sehnen 1 Patella-Sehne 3 Cadaver-Autografts	13 unilateral, 5 bilateral 13 Semitendinosus- Sehnen 1 Patellasehne 2 Quadriceps-Sehnen 2 mit Naht (bilateral Operierte wurden beidseits mit der gleichen Methode rekonstruiert)
Testmethode	3 MVC & RTD	10 SJ & 10 CMJ	3 MVC & 20 SJ	2 Serien à 3 Hamstringsübungen
Messmethode	Isokinetischer Dynamometer mit Kniegelenkwinkel von 70° Flexion	Kraftmessplatte	Kraftmessplatte, Isokinetischer Dynamometer mit Kniegelenkwinkel von 70° Flexion	NordBord
Signifikanzniveau	5%	5%	5%	5%

Tabelle 4: Signifikante Outcomes der vier ausgewählten Hauptstudien

Outcome	Studie 1	Studie 2	Studie 3	Studie 4
Gesamtkraft der VKB-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe	Keine Angaben	Keine Angaben	Kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Sprunghöhe	Relative exzentrische Kraft beider Beine signifikant kleiner in VKB-Gruppe
AI Kraft	VKB-Gruppe: Signifikante Defizite in der betroffenen Extremität im HAM- und QUAD-MVC und späten RTD.	Signifikant grösserer AI bei VKB-Gruppe in konzentrischer Phase CMJ und Phase 2 SJ	Defizite des betroffenen Beines in: - später Phase des SJ in QUAD-Aktivität - Landephase des SJ in QUAD-Aktivität In der Vorlandephase vermehrte HAM-Aktivität und/oder verminderte QUAD-Aktivität	VKB-Gruppe mit unilateral Operierten zeigten den grössten signifikanten AI
Kraft des VKB-Rekonstruierten Beines im Vergleich zum Mittelwert der Kontrollgruppe	Defizite des betroffenen Beines im Vergleich zur Kontrollgruppe in: - HAM- und QUAD-Maximalkraft - QUAD-Explosivkraft HAM RTD ₅₀ ist in Flexion in der betroffenen Extremität gar grösser als in der Kontrollgruppe.	Keine Angaben	In VKB-Gruppe zeigen betroffene Beine in Vorlandephase vermehrte HAM-Aktivität und verminderte QUAD-Aktivität.	Signifikanter Unterschied bei relativer Kraft: operiertes Bein schwächer als Mittelwert der Kontrollgruppe

5 Diskussion

In dieser Diskussion wird das methodische Vorgehen der vier Studien einander gegenübergestellt. Des Weiteren werden die Resultate in drei Themen bezüglich der Fragestellung diskutiert, um Vergleiche zwischen den Studien herzustellen. Die Autorinnen dieser Arbeit stellen ausserdem mögliche Erklärungen für die Resultate der Studien dar.

5.1 Methodisches Vorgehen der vier Studien

In allen Studien liegt der Fokus auf Skirennfahrenden mit VKB-Rekonstruktionen, wodurch sie Case-Control-Studien entsprechen. Da die Verletzungen nicht voraussehbar sind, konnten keine Vorverletzungsdaten erhoben werden, welche wohl den aussagekräftigsten Vergleich offenbaren würden. Durch sehr ähnliche Rekrutierungsmassnahmen der Stichproben (Elite-Kader aus Kanada und der Schweiz mit Weltcupteilnehmenden) sind die Studien jedoch gut vergleichbar. In Studie 3 wurden nicht nur Teilnehmende vom Ski Alpin rekrutiert, sondern auch jene aus dem Skicross. In dieser Sportart stehen andere Tempi und zusätzlicher Körperkontakt im Vordergrund, was andere Voraussetzungen für Verletzungen schafft.

Die Stichprobengrössen fallen bei allen vier Studien sehr klein aus, wodurch die tatsächliche Relevanz der Aussagen nur mit Vorsicht genossen werden darf. Ferner konnten die Studien 2 und 3 in den Untersuchungen keine Unterscheidung von Geschlechtern vornehmen, was zu Verfälschungen der Resultate führen kann. Auch auf die Rekonstruktionsmethoden wurde bei keiner der ausgewählten Studien Rücksicht genommen.

Die Studien haben sehr klare und einheitliche Ein- und Ausschlusskriterien definiert, was einen Zwischenstudienvergleich vereinfacht. Auch die Aufwärmübungen wurden jeweils innerhalb der Studien standardisiert ausgeführt. Studie 1, 2 und 3 nutzten dafür ein zehnminütiges Aufwärmen auf dem Fahrradergometer mit anschliessendem leichtem dynamischem Dehnen der unteren Extremitäten. Studie 4 entschied sich für ein fünfminütiges Aufwärmen auf dem Fahrradergometer mit

anschliessendem Lauf-ABC für die spezifische Aktivierung der Ischiocruralmuskulatur. Dabei können sich die Autorinnen dieser Arbeit durch diese funktionellere Aktivierung der benötigten Muskulatur bei Studie 4 eine bessere Leistungsfähigkeit vorstellen.

Die Messmethoden unterscheiden sich zwischen allen vier Studien. Einzelne Übungselemente sind in mehreren Studien anzutreffen: Die Studien 1 und 3 arbeiten mit MVCs zur Messung der maximalen Kraftfähigkeit. Studie 1 legt den Fokus auf die Analyse dieser Kraftmessung, während sich die Studie 3 auf die anschliessenden SJ's konzentriert. Studie 2 hingegen erforscht die Muskelaktivität während den Squat- und Countermovement Jumps. Studie 4 bezieht sich nur auf die exzentrische Kraftfähigkeit und misst diese mittels der Nordic-Hamstringübung auf dem Nordbord. Durch die unterschiedlichen Testmethoden unterscheiden sich logischerweise auch deren Messmethoden. Für die Autorinnen dieser Arbeit erscheinen diese passend und können durch die spezifischen Messgeräte gut objektiviert, jedoch nicht direkt miteinander verglichen werden.

5.2 Gesamtkraft

Die Studie 3, welche die Sprunghöhe während 20 Squat Jumps analysierte, konnte eine durchschnittliche Abnahme der Sprunghöhe von 5.9 Zentimeter von Set 1 zu Set 4 feststellen. Dies ist durch eine zunehmende Ermüdung der Muskulatur erklärbar und war so zu erwarten. Für die Autorinnen dieser Arbeit erscheint überraschend, dass kein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden konnte. Durch die Verletzungen, welche die Teilnehmenden der VKB-Gruppe erlitten, wären bestehende Kraftdefizite nach der Rehabilitation, welche einen Einfluss auf die Sprunghöhe haben, denkbar. Da es sich in der Studie jedoch um Elite-Skirennfahrende handelt, kann von einem sehr umfangreich gestalteten Aufbautraining in der Rehabilitation ausgegangen werden, wodurch grössere Defizite vermieden werden konnten. Bei weniger spezifisch trainierten Personen würden die Autorinnen dieser Arbeit einen Unterschied in der Sprunghöhe zwischen Unverletzten und am vorderen Kreuzband Operierten erwarten. Allgemein nimmt die Hamstringsaktivität in

beiden Gruppen und beidseitig mit zunehmender Ermüdung ab, wodurch das Ruptur-Risiko steigt.

Auch Studie 4 zeigte bei der Hamstringsübung auf dem Nordbord keinen signifikanten Unterschied in der absoluten exzentrischen Gesamtkraft beider Beine zwischen den zwei Gruppen. Es zeichnet sich trotzdem eine Tendenz ab, dass die VKB-Gruppe weniger Kraft aufbereiten kann, was bei der relativen exzentrischen Kraft (N/kg) bestätigt wird. Dies kann durch den Abbau der Muskulatur in der akuten Verletzungsphase begründet werden. Zusätzlich kann die Rekonstruktionsmethode in die Kraftaufbereitung einfließen.

Die Studien 1 und 2 gehen nicht näher auf die Unterschiede der Gesamtkraft beider Beine im Zwischengruppenvergleich ein.

5.3 Asymmetrie-Index

Die Hypothese der Autorinnen dieser Arbeit, dass die VKB-Gruppe einen grösseren Asymmetrie-Index aufweist, wurde von allen vier Studien bestätigt. Einzig unterscheiden sich jeweils die Phasen, in denen der signifikante Unterschied festgestellt wurde: Während die Studien 1 und 4 gesamthaft einen signifikanten Unterschied der Hamstrings und des Quadriceps im Seitenvergleich aufzeigen, nennen die Studien 2 und 3 nur einen signifikanten AI in der späten Phase (Phase 2) des SJ und konzentrischen Phase des CMJ. Die Studie 4 zeigt in der Gruppe der unilateral Operierten mit 10.44% den grössten gemessenen AI. Dies bestätigt eine Studie von Csapo et al. (2019), wobei mit 21% betreffend der Knieextensoren und 9% betreffend der Knieflexoren einen gar noch grösseren Asymmetrie-Index aufgezeigt werden konnte.

Die Autorinnen dieser Arbeit erklären sich den vergrösserten Unterschied in der Phase 2 des SJ und konzentrischen Phase des CMJ folgendermassen: Diese gelten als die Phasen der maximalen Kraftaufbereitung, wodurch zu diesem Zeitpunkt der grösste Asymmetrie-Index sichtbar wird. Demgegenüber konnte in der Phase 1 des SJ und der exzentrischen Phase des CMJ kein signifikanter Unterschied des AI festgestellt werden, was auf die nicht ganz so hohe Belastung der Beinmuskulatur in

diesen Phasen und den dadurch kleineren Seitenunterschied zurückzuführen ist. Die Studie von Csapo et al. (2019) bestätigt ebenfalls einen grösseren AI mit verminderter Kraft im betroffenen Bein während einem Ein-Bein-CMJ. Betreffend der Phase 1 des SJ und der exzentrischen Phase des CMJ bemerkte auch die Studie 2 einen Zusammenhang zwischen dem AI der Beinmuskelmasse und dem AI der Kraftaufbereitung in der konzentrischen Phase des CMJ und Phase 2 des SJ. Dies bedeutet, dass ein grösserer Seitenunterschied in der Muskelmasse auch zu einem grösseren Seitenunterschied in der Kraftaufbereitung führt.

Erstaunlich scheint, dass die Studie 3 in der späten Phase des SJ und der Landephase eine signifikant verminderte Quadricepsaktivität des betroffenen Beines im Vergleich zur Gegenseite zeigt. Damit kombiniert tritt eine erhöhte Hamstringsaktivität auf. Da die Hamstrings als Synergisten mit dem VKB kollaborieren, sollte diese Aktivität gar vor einer Reruptur in der Landephase schützen. Weiter konnte festgestellt werden, dass die Hamstringsaktivität mit zunehmender Ermüdung zwischen dem ersten und dem letzten Sprung signifikant abnimmt. Mit verminderter Hamstringsaktivität steigt das Risiko für eine vordere Kreuzbandruptur. Davon sind die Unverletzten jedoch genauso betroffen wie die VKB-Gruppe.

Weiter überrascht, dass in Studie 1 bei den unverletzten Männern ein signifikanter Seitenunterschied von 5% in der HAM-Maximalkraft und 8% im späten RTD der Hamstrings festgestellt werden konnte. Aufgrund dessen besteht die Möglichkeit, dass in der VKB-Gruppe Probandinnen und Probanden mit bereits vorbestehenden Asymmetrien getestet wurden. Bei vorbestehenden Kräftedefiziten besteht durch die verminderte Stabilität des Kniegelenks ein erhöhtes Risiko für eine VKB-Ruptur. Relativiert wird diese Aussage durch eine weitere Studie von Jordan et al. (2017c), welche sagt, dass nur wenige wissenschaftliche Daten einen Zusammenhang zwischen neuromuskulärer Funktion und dem Risiko, eine VKB-Verletzung zu erleiden, zeigen. Trotzdem kann gesagt werden, dass ausreichende Hamstrings- und Quadricepsaktivität eine wichtige Rolle in der Prävention von VKB-Rupturen spielt.

5.4 Kraft VKB-Bein im Vergleich zum Mittelwert der Kontrollgruppe

Sowohl die Studie 1 als auch die Studien 3 und 4 zeigen alle Unterschiede in der Kraft des Beins mit VKB-Rekonstruktion verglichen mit dem Mittelwert der Unverletzten. Die Studie 1 bestätigt signifikante Defizite in den operierten Knien verglichen zur Kontrollgruppe bezüglich der Maximalkraft der Hamstrings. Studie 4 konnte ebenfalls Defizite der Hamstrings bei den operierten Knien feststellen. Studie 1 mass dabei die konzentrische Kraft, wohingegen in der Studie 4 die exzentrische Kraft gemessen wurde. Trotzdem zeigt dies eine Gemeinsamkeit und stärkt die Hypothese der Autorinnen dieser Arbeit, dass nach VKB-Rekonstruktionen muskuläre Defizite in den Hamstrings auch nach der Rehabilitation bestehen bleiben. Dass in Studie 4 kein signifikanter Unterschied in der exzentrischen Kraft zwischen dem gesunden Bein der VKB-Gruppe und den Unverletzten festgestellt werden konnte, zeigt auf, dass die Defizite bei der VKB-Gruppe vorwiegend unilateral bestehen bleiben. Dies kann durch eine längere Schonzeit des verletzten Beines erklärt werden, während das gesunde Bein mit dem Training fortfahren konnte.

Studie 1 beobachtete bei den operierten Knien zudem eine verminderte Maximalkraft des Quadriceps verglichen mit der Kontrollgruppe. Für die Autorinnen dieser Arbeit ist erstaunlich, dass in Studie 3 beim Squat Jump in der Vorlandephase bei den Athletinnen und Athleten mit VKB-Rekonstruktion eine vermehrte Hamstrings- und/oder verminderte Quadricepsaktivität verglichen mit Unverletzten bemerkt wurde. Aufgrund des Ergebnisses von Studie 1 (verminderte Maximalkraft des Quadriceps), ist denkbar, dass es sich bei Studie 3 um eine verminderte Quadricepsaktivität handelt und nicht primär um eine erhöhte Hamstringsaktivität. Wenn die Athletinnen und Athleten in der Rehabilitation jedoch intensiv die Hamstrings trainieren ist auch eine erhöhte Hamstringsaktivität denkbar, was Studie 1 bestätigt. Diese zeigt erstaunlicherweise eine erhöhte Explosivkraft der Hamstrings in den ersten 50 Millisekunden beim betroffenen Bein. Beim Quadriceps hingegen konnte das erwartete Defizit in der Explosivkraft im betroffenen Bein bestätigt werden.

5.5 Limitationen

Die vier Studien zeigen einige überschneidende Limitationen. Hauptsächlich werden die kleinen VKB- und Kontrollgruppen bemängelt, was eine umfassende und aussagekräftige Schlussfolgerung verunmöglicht. Studie 4 erwähnt dabei speziell, dass zu wenig unilateral operierte VKB-Probandinnen und Probanden untersucht wurden, um eine Aussage über den Asymmetrie-Index zu treffen. Studien 1, 3 und 4 erwähnen, dass durch die kleine Stichprobengrösse keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Transplantationsmethoden möglich war, obwohl die Muskelfunktionen von diesen beeinflusst werden können. Auch die Studie 2 unterscheidet nicht zwischen den verschiedenen Rekonstruktionsarten, sie erwähnen es jedoch nicht in der Studie. Dem gegenüber unterscheidet die Studie von Csapo et al. (2019) zwischen den Rekonstruktionsmethoden von Quadriceps- und Hamstringssehne, woraus grössere relative Kraftdefizite der Knieextensoren bei der Gruppe mit Rekonstruktion mit einer Quadricepssehne resultieren. Des Weiteren machten Studien 2 und 3 keine geschlechterspezifischen Unterteilungen, was die Ergebnisse durch unterschiedliche Kraftwerte von Frauen und Männern beeinflussen kann. Die Studien 2 und 3 bemängeln ausserdem, dass keine Vorverletzungsdaten erhoben werden konnten, was eine Aussage über vorbestehende Probleme ermöglichen würde. Diese Limitation gilt für alle vier Studien und dürfte bei den anderen beiden ebenso erwähnt werden.

Die einzelnen Studien geben auch individuelle Limitationen an: Studie 2 beschreibt den grossen Altersunterschied von sieben Jahren zwischen der männlichen Kontroll- und der VKB-Gruppe. Studie 3 erwähnt, dass in der Studie nur Skirennfahrende auf sehr hohem Leistungsniveau mit VKB-Rekonstruktion untersucht wurden, wodurch keine allgemeine Aussage über Elite-Skirennfahrende auf tieferem Leistungsniveau gemacht werden kann. Studie 4 kritisiert, dass ein Bias durch den nicht verblindeten Tester nicht ausgeschlossen werden kann und das NordBord keine Winkelgeschwindigkeiten sowie Winkel der Kraftspitze anzeigt, was genauere Erkenntnisse verhindert. Alle vier Studien erwähnen Verbesserungsvorschläge, die für weitere Untersuchungen beachtet werden sollten: Studie 1 erwähnt, dass Maximal- und Explosivkraft-Assessments im Skirennsport vermehrt unternommen werden sollten, um dadurch auch einen Einfluss in einen spezifischeren Aufbau

gewähren zu können. Für eine Aussage über die Rückkehr in den Sport müssten ebenfalls weitere Untersuchungen erfolgen. So verlangen auch Studien 2 und 3 weitere Forschung bezüglich des Zusammenhangs von funktioneller Asymmetrie, dem Verhältnis von Quadriceps und Hamstrings und dem Verletzungsrisiko für Ruptur und Reruptur.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die Studien ihre Forschungsmethoden kritisch hinterfragen. Die Autorinnen dieser Arbeit würden diese Limitationen jedoch nicht als ganz vollständig bezeichnen: Wie bereits in den Würdigungen der einzelnen Studien erwähnt wurde, kritisiert keine der Studien die Stichprobenauswahl aus nur einem Land, wodurch kaum unterschiedliche Trainingsmethoden miteinbezogen wurden.

6 Schlussfolgerung

6.1 Bezug zur Fragestellung

Die Fragestellung, welchen Einfluss eine vordere Kreuzbandrekonstruktion auf die Muskelfunktion des Quadriceps und der Hamstrings der betroffenen unteren Extremität im Seitenvergleich und im Vergleich mit Unverletzten im Skirennsport hat, kann anhand der vier Studien ansatzweise beantwortet werden. Die Studien geben alle einen Hinweis darauf, dass das operierte Bein tendenziell ein langfristiges Muskelkraftdefizit aufweist. Wie in den Ergebnissen präsentiert, geben alle Studien einen vergrösserten Asymmetrie-Index bei der VKB-Gruppe an. Durch unterschiedliche Testungen und teils Einteilungen in sprungspezifische Phasen in den Studien werden verschiedene Muskelfunktionsdefizite genannt, die sowohl die Hamstrings als auch den Quadriceps betreffen. Dementsprechend zeigen die Unverletzten im Vergleich zur VKB-Gruppe eine grössere Kraftaufbereitung. Da jedoch in allen Studien unterschiedliche Testmethoden angewendet wurden, kann keine allgemeine Aussage zu den Defiziten gemacht werden.

Trotzdem sehen die Autorinnen dieser Arbeit eine klare Tendenz in Richtung längerfristig verminderter muskulärer Funktion nach einer VKB-Rekonstruktion und Rehabilitation der unteren Extremität im betroffenen Bein. Um die Fragestellung abschliessend beantworten zu können, sind wegen möglichen Verfälschungen der Resultate in den Studien durch die kleinen Stichprobengrössen weitere Recherchen und Messungen in diesem Bereich notwendig.

6.2 Praxistransfer

Wie soeben erwähnt, konnten in allen vier Studien Muskelfunktionsdefizite der Hamstrings und des Quadriceps nach Kreuzbandrekonstruktionen festgestellt werden. Wie Studie 1 beschreibt, könnte mithilfe weiterer Forschung ein grösserer Zusammenhang zwischen den Kraftdefiziten und der Rückkehr in den Elite-Skirennsport aufgestellt werden.

Die Autorinnen dieser Arbeit stimmen dem zu: Durch genaue Muskelkrafttestungen bei jährlichen Fitnesstests zu Beginn der Off-Snow-Periode könnten einerseits

Kraftdefizite der gesunden Extremitäten entdeckt werden, wodurch ein spezifisches Training diesen Defiziten präventiv entgegenwirken könnte. Andererseits können diese Kraftmessungen nach VKB-Rekonstruktionen Aussagen über den aktuellen Rehabilitationsstatus bringen, wodurch das Training ebenfalls spezifiziert werden kann. In beiden Situationen ist die Zusammenarbeit mit der Physiotherapie unumgänglich. In der Rehabilitation ist deren Einfluss gar grösser als in der Prävention, da speziell Elite-Skirennfahrende nach einer Kreuzbandrekonstruktion engmaschig physiotherapeutisch begleitet werden, um einen möglichst spezifischen und funktionellen Aufbau zu gestalten.

Als Expertinnen und Experten des Bewegungsapparates sind Physiotherapeutinnen und -therapeuten in der Lage, solche Muskelkrafttestungen durchzuführen, individuell auf deren Ergebnisse einzugehen sowie den Trainingsplan entsprechend zu gestalten.

6.3 Limitationen dieser Arbeit

Diese Bachelorarbeit bezieht sich lediglich auf den Vergleich von Studien von Athletinnen und Athleten, die das VKB rekonstruiert haben und Unverletzten. Auf die Variante der konservativen Behandlung einer Kreuzbandruptur wird nicht eingegangen. Ein Vergleich zwischen Skirennfahrenden mit VKB-Rekonstruktion und solchen mit konservativer Behandlung wäre für eine weitere Arbeit spannend zu untersuchen. Ausserdem werden die unterschiedlichen Operationsmethoden im theoretischen Hintergrund zwar beschrieben, in den einzelnen Studien wird jedoch aufgrund der geringen Anzahl an Teilnehmenden nicht zwischen diesen unterschieden. Einen weiteren limitierenden Faktor stellen die in den Studien unterschiedlichen Testverfahren und Messmethoden dar. Dies erschwert einerseits einen direkten Vergleich zwischen den Studien, andererseits bringt dies eine breitere Palette an interessanten Resultaten mit sich. Einzeln betrachtet haben die jeweiligen Ergebnisse aufgrund der kleinen Stichproben jedoch wenig Aussagekraft. Aufgrund dieser Limitationen kann kein allgemeingültiges Aufbautraining zusammengestellt werden. Die individuelle Betrachtung entsprechend der Muskelfunktionsdefizite ist essenziell.

Die in Kapitel 5.5 *Limitationen* bereits erwähnten Einschränkungen der einzelnen Studien wirken sich zusätzlich auf das Resultat dieser Bachelorarbeit aus.

6.4 Fazit

Die vorliegende Bachelorarbeit bestätigt, dass bei aktiv konkurrierenden Elite-Skirennfahrenden nach VKB-Rekonstruktionen nach wie vor muskuläre Defizite in den unteren Extremitäten im Seitenvergleich sowie im Vergleich zu Unverletzten bestehen. Durch regelmässige spezifische Assessments der Quadriceps- und Hamstringsmuskulatur können Defizite frühzeitig erkannt werden und durch ein angemessenes Training der betroffenen Muskelgruppen das Risiko einer VKB-Ruptur reduziert werden. Durch das Erstellen individuell angepasster Übungsprogramme kann die Physiotherapie einen wesentlichen Beitrag zur funktionellen Kniegelenksstabilität leisten. Um den zahlreichen VKB-Rupturen im Skirennsport in Zukunft entgegenwirken zu können, ist nebst der Kräftigung des Quadriceps ein besonderes Augenmerk auf die Funktion der Hamstrings zu legen. Wie im Kapitel 2.6 *Trainingsgrundlagen mit Bezug zu Swiss-Ski* erläutert, hat die Kräftigung der Hamstrings mittels den Übungen Sliding Leg Curl und Nordic Hamstring Curl auch bei Swiss-Ski einen hohen Stellenwert. Die Erkenntnisse dieser Arbeit unterstützen diese Übungsauswahl, sie kann jedoch nicht als abschliessend angesehen werden.

Verzeichnisse

Literaturverzeichnis

Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan. (2017). *Rahmentrainingsplan Ski Alpin—*

Athletendossier. Swiss-Ski.

Aumüller, G., Aust, G., Engele, J., Kirsch, J., Maio, G., Mayerhofer, A., Mense, S.,

Reissig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-

Borowski, K., Wennemuth, G., Wolff, W., Wurzinger, L. J., & Zilch, H.-G.

(2014). *Anatomie*. Thieme.

Bant, H., Haas, H.-J., Ophrey, M., & Steverding, M. (2018). *Sportphysiotherapie* (2.

Auflage). Thieme.

Barral, J.-P. (2011). *Die Sprache unserer Gelenke*. Südwest Verlag.

Bere, T., Flørenes, T. W., Krosshaug, T., Koga, H., Nordsletten, L., Irving, C., Muller,

E., Reid, R. C., Senner, V., & Bahr, R. (2011). Mechanisms of Anterior

Cruciate Ligament Injury in World Cup Alpine Skiing: A Systematic Video

Analysis of 20 Cases. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(7), 1421–

1429. <https://doi.org/10.1177/0363546511405147>

Brucker, P. U., Katzmaier, P., Olvermann, M., Huber, A., Waibel, K., Imhoff, A. B., &

Spitzenpfeil, P. (2014). Alpiner Skibreiten- und Skileistungssport: Typische

Verletzungsmuster und Möglichkeiten der Prävention. *Der Unfallchirurg*,

117(1), 24–32. <https://doi.org/10.1007/s00113-013-2464-4>

Capilano Rehab. (2001). *Capilano Rehab Center*. Your Biodex Advantage.

<http://capilanorehab.com/your-biodex-advantage/>

Csapo, R., Hoser, C., Gföller, P., Raschner, C., & Fink, C. (2019). Fitness, knee

function and competition performance in professional alpine skiers after ACL

- injury. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22, S39–S43.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.014>
- Derrer, P., Bürgi, F., Niemann, S., & Brügger, O. (2018). Verletzentransporte im Schneesport 2017/18: Ski- und Snowboardunfälle im Vergleich. *bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung*, 28.
- Engelhardt, M., Krüger-Franke, M., Pieper, H.-G., & Siebert, C. H. (2005). *Sportverletzungen—Sportschäden*. Georg Thieme Verlag.
- Haida, A., Coulmy, N., Dor, F., Antero-Jacquemin, J., Marc, A., Ledanois, T., Tourny, C., Rousseaux-Blanchi, M. P., Chambat, P., Sedeaud, A., & Toussaint, J.-F. (2016). Return to Sport Among French Alpine Skiers After an Anterior Cruciate Ligament Rupture: Results From 1980 to 2013. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(2), 324–330. <https://doi.org/10.1177/0363546515612764>
- Herbort, M., Glasbrenner, J., Michel, P., Domnick, C., Fink, C., Raschke, M. J., & Kittl, C. (2017). Aktuelle Techniken zur operativen Versorgung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 33(4), 367–378. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2017.10.004>
- Hochschild, J. (2012). *Strukturen und Funktionen begreifen: Bd. 2 LWS, Becken und Hüftgelenk, untere Extremität* (3. Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Hydren, J. R., Volek, J. S., Maresh, C. M., Comstock, B. A., & Kraemer, W. J. (2013). Review of Strength and Conditioning for Alpine Ski Racing: *Strength and Conditioning Journal*, 35(1), 10–28.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31828238be>
- Jordan, M., Aagaard, P., & Herzog, W. (2015a). Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL

- reconstruction: Bilateral asymmetry in ACL-R ski racers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(3), e301–e309.
<https://doi.org/10.1111/sms.12314>
- Jordan, M., Aagaard, P., & Herzog, W. (2015b). Rapid Hamstrings/Quadriceps Strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(1), 109–119.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000375>
- Jordan, M., Aagaard, P., & Herzog, W. (2017a). Asymmetry and Thigh Muscle Coactivity in Fatigued Anterior Cruciate Ligament–Reconstructed Elite Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(1), 11–20.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001076>
- Jordan, M., Aagaard, P., & Herzog, W. (2017b). Anterior cruciate ligament injury/reinjury in alpine ski racing: A narrative review. *Open Access Journal of Sports Medicine, Volume 8*, 71–83. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S106699>
- Jordan, M., Doyle-Baker, P., Heard, M., Aagaard, P., & Herzog, W. (2017c). A *retrospective Analysis of Concurrent Pathology in ACL-Reconstructed Knees of Elite Alpine Ski Racers*.
- Kokmeyer, D., Wahoff, M., & Mymern, M. (2012). Suggestions From the Field for Return-to-Sport Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Alpine Skiing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(4), 313–325. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.4024>
- Krüger-Franke, M., Schurk, B., Kugler, A., Englert, A., & Miltner, O. (2009). Die arthroskopische vordere Kreuzbandrekonstruktion – was ist gesichert 2009?

- Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology*, 25(3), 206–211. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2009.06.002>
- Laboute, E., Savalli, L., Lefesvre, T., Puig, P., & Trouve, P. (2008). *Interest of an iterative specialized rehabilitation after an anterior cruciate ligament reconstruction in high level sport athletes.*
- Lang, M. (2011). *Muskelaufbau für Sportler*. blv Buchverlag GmbH & Co. KG.
- Mathelitsch, L., & Thaller, S. (2015). *Physik des Sports*. WILEY-VCH.
- Mohtadi, N. G., & Chan, D. S. (2018). Return to Sport-Specific Performance After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, 46(13), 3307–3316. <https://doi.org/10.1177/0363546517732541>
- Nessler, Dr. T. (2013). *Move to Improve*. Move to Improve. <https://aclprevention.blogspot.com/2014/01/squat-jump-vs-counter-jump-squat-as.html>
- Nordahl, B., Sjöström, R., Westin, M., Werner, S., & Alricsson, M. (2014). Experiences of returning to elite alpine skiing after ACL injury and ACL reconstruction. *International Journal of Adolescent Medicine and Health*, 26(1), 69–77. <https://doi.org/10.1515/ijamh-2012-0114>
- Palastanga, N., & Soames, R. (2015). *Anatomie und menschliche Bewegungen, Strukturen und Funktionen* (1. Auflage). Urban & Fischer.
- Petersen, W., & Zantop, T. (2009). *Das Vordere Kreuzband*. Deutscher Ärzte-Verlag GmbH.

- Rossberg, M. H. (2016). *Aktivierung der Oberschenkelmuskulatur bei verschiedenem Bindungs- und Skiaufbau mit dem Ziel der Senkung des Rupturrisikos des vorderen Kreuzbandes im alpinen Skisport.*
- Schmitt, K.-U., Hörterer, N., Vogt, M., Frey, W. O., & Lorenzetti, S. (2016). Investigating physical fitness and race performance as determinants for the ACL injury risk in Alpine ski racing. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s13102-016-0049-6>
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2007). *Prometheus* (2. Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2018). *Prometheus* (5. Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Semadeni, R., & Schmitt, K.-U. (2009). Numerical Simulations to Assess Different Rehabilitation Strategies After ACL Rupture in a Skier. *Journal of sport rehabilitation*, 18, 427–437. <https://doi.org/10.1123/jsr.18.3.427>
- Sidorenko, E. V., Preobrazhenskii, V. I., Vnukov, D. V., & Preobrazhenskaia, M. V. (2013). *Peculiarities of Early Rehabilitation of Mountain Ski Athletes After Plastic Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament.*
- Sonner, A. (2020a). *AKADEMIE für Sport und Gesundheit Dr. Bergmann GmbH.* AKADEMIE für Sport und Gesundheit. <https://www.akademie-sport-gesundheit.de/lexikon/squat-jump.html>
- Sonner, A. (2020b). *AKADEMIE für Sport und Gesundheit Dr. Bergmann GmbH.* AKADEMIE für Sport und Gesundheit. <https://www.akademie-sport-gesundheit.de/lexikon/counter-movement-jump.html>

- Spiess, J., Meyer, S., Wyss, T., Hübner, K., Bruhin, B., & Luomajoki, H. (2019). *Strength deficits of the hamstrings following surgery on the anterior cruciate ligament_a case control study of elite alpine ski racers.pdf.*
- Spörri, J., Kröll, J., Gilgien, M., & Müller, E. (2017). How to Prevent Injuries in Alpine Ski Racing: What Do We Know and Where Do We Go from Here? *Sports Medicine*, 47(4), 599–614. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0601-2>
- Stenroos, A. J., & Handolin, L. E. (2014). Alpine skiing injuries in Finland – a two-year retrospective study based on a questionnaire among Ski racers. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.1186/2052-1847-6-9>
- Swiss-Ski. (2020a). *Swiss-Ski, Disziplinen*. Swiss-Ski. <https://www.swiss-ski.ch/ski-alpin/disziplinen/>
- Swiss-Ski. (2020b). *Swiss-Ski, Kaderselektion 2020/21*. Swiss-Ski. <https://www.swiss-ski.ch/vorlagen/swiss-ski-kaderselektionen-2021/>
- Swiss-Ski. (2019a). *Kräftig und stabil in den Beinen—Hamstring Training*. Swiss-Ski.
- Swiss-Ski. (2019b). *Matrix: Kräftig und stabil in den Beinen—Hamstrings Training*. Swiss-Ski.
- von Aesch, A. V., Perry, M., & Sole, G. (2016). Physiotherapists' experiences of the management of anterior cruciate ligament injuries. *Physical Therapy in Sport*, 19, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2015.08.004>
- Waschke, J., Böckers, T. M., & Paulsen, F. (2015). *Anatomie Das Lehrbuch* (1. Auflage). Urban & Fischer.
- Weninger, P. (2012). *Mein Knie*. maudrich Verlag.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechtes Kniegelenk in Beugestellung mit Ansicht der Kreuzbänder nach Entfernung der Gelenkkapsel und Patella (Schünke et al., 2007)	13
Abbildung 2: M. Quadriceps femoris rechts aus Ansicht von frontal (Hochschild, 2012)	15
Abbildung 3: Ischiocrurale Muskulatur: Hamstrings aus Ansicht von dorsal (Hochschild, 2012).....	16
Abbildung 4: Der Sliding Leg Curl (Bere et al., 2019)	25
Abbildung 5: Der Nordic Hamstring Curl (Bere et al., 2019)	25
Abbildung 6: Dehnmethode der hinteren Muskelkette (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017).....	27
Abbildung 7: Dehnmethode der vorderen Muskelkette des rechten Beines (Arbeitsgruppe Rahmentrainingsplan, 2017)	27
Abbildung 8: Squat Jump (Nessler, 2013)	28
Abbildung 9: Countermovement Jump (Nessler, 2013)	29
Abbildung 10: Isometrische Knieflexions- und Knieextensionsmaschine (Capilano Rehab, 2001).....	29
Abbildung 11: Übung Nordic-Hamstrings (Spiess et al., 2019).....	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kurzversion Rechercheprotokoll	34
Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien.....	35
Tabelle 3: Übersicht über die Methoden der vier ausgewählten Hauptstudien	52
Tabelle 4: Signifikante Outcomes der vier ausgewählten Hauptstudien	53
Tabelle 5: Search history	75
Tabelle 6: Studienselektion nach Titelscreening.....	77

Sämtliche Tabellen wurden von den Autorinnen erstellt.

Eigenständigkeitserklärung

Wir erklären hiermit, dass wir die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst haben.

Winterthur den 02.05.2021

Eisenring Melanie

Merz Sarina

Danksagung

Zuerst bedanken wir uns herzlich bei unserer Betreuungsperson Frau Sandra Schächtelin für die tatkräftige Unterstützung während des Entstehens dieser Arbeit. Das Beantworten jeglicher Fragen hat uns im Arbeitsprozess immer wieder weitergeholfen.

Weiter danken wir unseren Korrekturleserinnen und Korrekturlesern für die Überarbeitung dieser Bachelorarbeit.

Zu guter Letzt geht noch ein besonderer Dank an unsere Familien und Freunde, welche uns mit Ideen immer wieder zum Denken anregten und uns jederzeit besonders auch als moralische Unterstützung beistanden.

Wortanzahl

Wortzahl des Abstracts: 195

Wortzahl der Arbeit: 11'963

Anhang

Anhang A: Glossar

Afferentes System	Zuflüsse von Informationen (neuronalen Afferenzen) oder Material zu einer definierten Struktur
Allograft	transplantiertes Gewebe, das von einem genetisch nicht identischen Spender derselben Art stammt (Transplantat eines anderen Menschen)
Aponeurosen	flächige Strukturen aus Bindegewebe, die als sehniger Ansatz eines oder mehrerer Muskeln dienen
Frontalebene	Ebene, die den Körper in eine vordere und hintere Hälfte teilt, sich also von rechts nach links erstreckt
Giving-way	Wegknicken/Instabilität bei üblicher Belastung
Hämarthros	blutiger Gelenkserguss
Magnetresonanztomographie	bildgebendes Verfahren (Schnittbilder) zur Darstellung von Struktur und Funktion der Gewebe und Organe im Körper
Makrozyklus	grosser Trainingszyklus, der mehrere Monate bis zu einem Jahr dauern kann
posturale Kontrolle	Fähigkeit des menschlichen Körpers, unter dem Einfluss der Schwerkraft eine aufrechte Körperposition beizubehalten
Sagittalebene	Ebene, die den Körper in eine rechte und linke Hälfte teilt, sich also von vorne nach hinten erstreckt

Scharniergelenk	Gelenk, bestehend aus einem walzenförmigen Gelenkkopf und einer zangenförmigen Gelenkpfanne
Valgisierung	Entstehung, bzw. Herbeiführung einer Valgusstellung in einem Gelenk (nach medial geknickte Gelenksachse)
Varisierung	Entstehung, bzw. Herbeiführung einer Varusstellung in einem Gelenk (nach lateral geknickte Gelenksachse)

Anhang B: Abkürzungsverzeichnis

ACL	anterior cruciate ligament
AI	Asymmetrie-Index
ANOVA	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
Art.	Articulatio
BFU	Beratungsstelle für Unfallverhütung
CMJ	Countermovement Jump
FIS	Fédération Internationale de Ski (International Ski Federation)
HAM	Hamstrings
HKB	Hinteres Kreuzband
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
MVC	Maximal Voluntary Isometric Contraction (= maximale willkürliche Kontraktion)

QUAD	Quadriceps
RTD	Rate of Torque Development
SJ	Squat Jump
VKB	Vorderes Kreuzband

Anhang C: Biomechanik im Skirennsport

Grundsätzlich gilt für die Tempogewinnung: $F_G = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ (F_G = Gewichtskraft, m = Masse der/des Skifahrenden, g = Gravitationsbeschleunigung).

Einfluss des Luftwiderstandes auf die Geschwindigkeit (nimmt quadratisch mit der Geschwindigkeit v zu): $F_W = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ (F_W = Gegenkraft des Luftwiderstandes, ρ = Luftdichte, A = Querschnittsfläche des Läufers, c_w = Widerstandsbeiwert = Körperhaltung der Läuferin/des Läufers inklusive Windschlüpfrigkeit der Kleidung (dieser Wert ändert sich während des Skirennens laufend, da die Fahrenden dauernd die Position verändern)).

Die Knieflexion σ spielt eine enorme Rolle auf die Kompressionskraft f_K im Kniegelenk zwischen Femur und Tibia, welche bis sechsmal so gross werden kann wie die Bodenreaktionskraft: $F_B = G(\sigma) \cdot f_K$.

Anhang D: Search history

Tabelle 5: Search history

Datenbank	Suchoptionen	Treffer	Relevante Treffer
CINAHL	acl AND ski AND return	7	<ul style="list-style-type: none"> - Experiences of returning to elite alpine skiing after ACL injury and ACL reconstruction - Fitness, knee function and competition performance in professional alpine Ski Racing Injuries
	ski AND acl reconstruction AND muscul*	4	<ul style="list-style-type: none"> - Rapid Hamstrings/Quadriceps strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers - Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction - Asymmetry and Thigh Muscle Coactivity in Fatigued Anterior Cruciate Ligament – Reconstructed Elite Skiers - Fitness, knee function and competition performance in professional alpine skiers after ACL injury
	ski AND acl AND reha	3	keine
Medline	ski AND acl reconstruction AND muscul*	4	<ul style="list-style-type: none"> - Fitness, knee function and competition performance in professional alpine skiers after ACL injury - Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction - Rapid Hamstrings/Quadriceps strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers
	((ski OR skiing OR skier) and (reha* OR	47	<ul style="list-style-type: none"> - anterior cruciate ligament injury/ reinjury in alpine ski racing: a narrative review

	program* OR build-up OR return) and acl)		<ul style="list-style-type: none"> - Fitness, knee function and competition performance in professional alpine skiers after ACL injury - Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction - Experiences of returning to elite alpine skiing after ACL injury and ACL reconstruction
PubMed	ski* AND acl AND reha*	20	<ul style="list-style-type: none"> - Peculiarities of Early Rehabilitation of Mountain Ski Athletes After Plastic Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament - Interest of an Iterative Specialized Rehabilitation After an Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in High Level Sport Athletes
Maggingen	Schriftliche Kontaktaufnahme mit dem Bundesamt für Sport (BASPO)	8	<ul style="list-style-type: none"> - Strength deficits of the hamstrings following surgery on the anterior cruciate ligament: a case-control - Kräftig und stabil in den Beinen – Hamstring Training

Anhang E: Studienselektion nach Titelscreening

zu verwerfen

für Theoretischen Hintergrund verwendbar

Hauptstudien

Tabelle 6: Studienselektion nach Titelscreening

	Titel	Hintergrund	Absicht	Studien- design	Methoden	Resultate	Schlussfolgerung	Bemerkun- gen/Einsc- hätzung
1	Fitness, knee function and competition performance in professional alpine skiers after ACL injury (Csapo et al., 2019)	Fitness der Elite Skifahrenen während der Erholung nach der VKB-Rekonstruktion und Veränderungen der Leistung nach dem Wiedereinstieg in den Wettkampf.		Retroper- spective cohort study	spezialisierte Sportklinik sucht nach professionellen Alpin-Skifahrenen mit einer VKB-Ruptur und Rekonstruktion. Dafür werden funktionelle Tests, Fragebogen (für subjektives Empfinden der Sz), Funktion im ADL und physische Aktivitätslevel verwendet. Die FIS (international ski federation) musste Punkte sammeln, um das Wettkampf-Performance-Level vor dem Unfall, danach und 1 Jahr	Messungen zeigen: 161.5 +/-24.2 Tage nach der OP anhaltende Muskelkraft- und Power-Defizite (vor allem der Knieextensoren). Es wird gesagt, dass der Quadriceps als Rekonstruktion mehr gebraucht wird im Vergleich zu Hamstring tendon grafts. FIS-Punkte stiegen direkt nach Wiedereinstieg, fielen aber im ersten Jahr wieder auf die Anzahl von vor dem Unfall. (364.3 +/-142.5 Tage nach OP)	VKB-Verletzungen bei professionellen Skifahrenen ziehen Muskelkraft- und Power-Defizite mit sich, welche mehr als 5 Monate postOP anhalten. Die Rate für Erholung der Knieextensoren Muskelfunktion könnte langsamer sein, wenn man Quadri-tendon-grafts braucht. Im Durchschnitt kehren Athletinnen/Athleten innerhalb eines Jahres nach OP zum Wettkampf zurück und erreichen das gleiche Niveau wie zuvor innert des ersten Jahres nach	nicht als Hauptstudie, aber vielleicht als Nebenstudie, um aufzuzeigen, eine Rückkehr ist möglich und das Niveau wieder aufbaubar.

					danach zu vergleichen.		Rückkehr in den Wettkampf.	
2	a retrospective analysis of concurrent pathology in acl-reconstructed knees of elite alpine ski racers (Jordan et al., 2017c)	VKB-Ruptur: häufigste Verletzung in alpinen Skirennen. Zudem hohe Rerupturrate. Es gibt wenige Daten zu VKB-Verletzungen und wie es danach weiter geht.	Beteiligung von intraartikulären und multiligamentären Verletzungen, die zeitgleich mit der VKB-Ruptur einhergehen und die anschliessenden Meniskus-/Knorpelschäden sowie die Rerupturrate erforschen	Case series; Level of evidence, 4 retrospektiv	Operationsberichte von 32 Alpinskirennfahrern. Zusätzlich noch 20 OP-Berichte von anschliessenden OPs. Diese wurden dann ausgewertet, um multiligamentäre Verletzungen, Meniskus- und Knorpelläsionen zu identifizieren.	82% der Teilnehmenden weisen nebst der VKB-Ruptur auch Begleitverletzungen wie Knorpel- und Meniskusschäden sowie andere Bandverletzungen auf.	Es ist sehr häufig, dass gleichzeitig zur Kreuzbandverletzung auch andere Verletzungen entstehen. Häufig wurden laterale Knorpelläsionen und Meniskusverletzungen beobachtet, welche sich mit der Zeit verschlechtern.	eher weniger geeignet, weil es nichts mit der Reha zu tun hat
3	anterior cruciate ligament injury reinjury in alpine ski racing – a narrative review (Jordan et al., 2017b)	1) Übersicht über das aktuelle Verstehen der Epidemiologie, Ätiologie, Risikofaktoren und Präventionsmethoden von VKB-Rupturen im alpinen Skirennfahren 2) einen Überblick verschaffen, was man weiss, betreffend VKB-	da die meisten wissenschaftlichen Studien über VKB-Rupturen beschreibend sind und nur wenig wissenschaftliche Evidenz haben, wurde eine non-systematische Erzählung gebraucht	review	3 wissenschaftliche Datenbanken wurden durchsucht für Artikel über VKB-Verletzungen oder Knieverletzungen im Alpinen Skirennen. Studien wurden klassifiziert in Relevanz in Bezug zu Epidemiologie, Ätiologie, Risikofaktoren und Rückkehr in den	Die 3 häufigsten Verletzungsmechanismen für VKB-Rupturen sind: Tibia-IR und anteriore direkte Scherkräfte der Skiausrüstung und der Umwelt. Während Rumpfmuskulatur-imbalance und genetische Ursprünge prädisponierend für VKB-Rupturen sind, gibt es wenig wissenschaftliche Daten über VKB-	Während Skifahrende erfolgreiche Erholung der VKB-Ruptur zeigen, bleiben neuromuskuläre Defizite bestehen. Weitere Nachforschung in prospective studies über VKB-Rupturen und Rerupturen sowie Prävention sollte (für Männer und Frauen) auch im Langzeit-Erfolg	gute Infos für Theoretischen Hintergrund

		Rerupturen und der Rückkehr zum Sport nach einer VKB-Ruptur im alpinen Skirennfahren			Sport (Wiederverletzung sprä-vention). Skirennfahrer haben ein hohes Risiko für Knieverletzungen, VKB-Risse sind die häufigste Diagnose.	Rupturen bei Elite-Skifahrenenden. Expertenmeinungen meinen, man müsse sich bei den Risikofaktoren auf das Equipment, Pistensetting und Speed sowie Fitness der Athletin/des Athleten konzentrieren.	gemacht werden. Wie auch bei der frühen Entwicklung der Osteoarthritis. Internationale Zusammenarbeit wäre nötig für genaue VKB-Ruptur und Reruptur-Prävention.	
4	return to sport-specific performance after primary acl reconstruction_a systematic review (Mohtadi & Chan, 2018)	Je nach Literatur geben Ärztinnen/Ärzte andere Ratschläge/Auskünfte bezüglich der Prognose, was eine Athletin/ein Athlet nach einer VKB-Ruptur wieder erreichen kann. Kritische Würdigung der Studien ist also essenziell, um herauszufinden, inwieweit eine VKB-Ruptur die spätere Karriere von Athletinnen/Athleten beeinflusst.	Das Review zeigt publizierte Studien über Prognosen der sportsspezifischen Performance nach VKB-Rupturen.	Systematisches Review	5 elektronische Datenbanken wurden nach passenden Studien durchsucht. Als geeignet galt eine Studie, die Messungen der sportartenspezifischen Performance einer Athletin/eines Athleten vor und nach der VKB-Ruptur beinhaltete.	15 relevante prognostische Studien zeigten Messungen der sportartenspezifischen Performance/ Leistung nach VKB-Ruptur. Die Athletinnen/ Athleten waren aus den Sportarten: Fussball, Football, Ice-Hockey, Basketball, Skirennen, X-Games Ski und Snowboard sowie Baseball.	Das Review zeigte, dass die meisten professionellen Athletinnen/Athleten wieder ihr sportliches Level von vor der VKB-Ruptur erreichen konnten. Es ist jedoch sportartenspezifisch. Es gibt ein Mangel an Literatur, welche sich mit sportartenspezifischen Leistungen nach VKB-Rupturen befasst. Die vorhandene Literatur ist wegen Vorurteilen mit Vorsicht zu genießen.	gut für Vergleich auch zu anderen Sportarten - Verletzung ist ja die gleiche
5	Experiences of returning to elite alpine skiing after	um die Erfahrung einer/s Skirennfahrende		qualitative approach, semi-	5 Ski-Highschool-Studierende (2 Männer, 3	7 Kategorien: Die TN beschrieben deren wahrgenommenen	Die beiden männlichen Skifahrer kehrten	interessante Ansichten,

<p>ACL injury and ACL reconstruction (Nordahl et al., 2014)</p>	<p>n auf Elitelevel nach einer VKB-Ruptur zu erleben</p>		<p>structured interviews</p>	<p>Frauen), welche unter einer VKB-Ruptur litten und diese rekonstruiert haben</p>	<p>Möglichkeiten mit Sicht auf die Rückkehr zum Alpinen Skifahren als etwas Positives, das zu tun hat mit Selbstvertrauen, mental und physisch bereit sein, Rückgewinnen von Vertrauen in das eigene Können, Zeit zu haben und aktive Strategien zu brauchen. Im Unterschied: bemerkte Barrieren zur Rückkehr zur Elite gab schlechte Gefühle: Angst, Niedergeschlagenheit, Fehlen von Vertrauen und die eigene Möglichkeit von passiven Strategien.</p>	<p>zurück zum Alpinen Skifahren. Sie berichteten über Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten, aktiven Strategien und Unterstützung auf allen Levels sowie Verbesserung der physischen Fähigkeiten. Die Frauen kehrten nicht auf ihr Vorunfall-Level zurück. Sie berichten über ein Fehlen von Unterstützung auf allen Levels, Verschlechterung der physischen Möglichkeit und zwei von drei berichten über passive Strategien und keine oder mehrdeutiges Vertrauen in die eigenen Möglichkeiten. Die wichtigsten Faktoren waren: Familiäre Unterstützung, Unterstützung auf allen Levels, Zugang zu Physio und genügend Zeit.</p>	<p>andere Faktoren werden berücksichtigt, aber doch nicht alle? Sehr kleine Anzahl TN, darum nicht sehr aussagekräftig</p>
---	--	--	------------------------------	--	--	--	--

6	return to sport among French alpine skiers after an acl rupture_results from 1980-2013 (Haida et al., 2016)	es ist wenig bekannt über die Rückkehr zum Skisport und die Leistungen nach vorderen Kreuzbandverletzungen bei alpinen Skirennfahrern.	es sollen Parameter analysiert werden, welche die Rückkehr zum Skisport und die Leistungen nach VKB-Rupturen beeinflussen anhand von französischen Alpin-Skirennfahrern zwischen 1980 und 2013.	Deskriptive, epidemiologische Studie	Die Studienpopulation beinhaltete 239 männliche und 238 weibliche Skirennfahrern, welche während mindestens einer Saison zwischen 1980 und 2013 für das französische Nationalteam an Wettkämpfen starteten (in Speed- und Technikdisziplinen). Es gab 2 Gruppen. G1 = mit VKB-Ruptur, G2 = nie eine VKB-Ruptur gehabt. Dabei wurden 3 Leistungsindikatoren bestimmt: FIS Punkterechnung, FIS-ranking und Podestplätze in Weltcuprennen, an Weltmeisterschaften und olympischen Spielen.	Skifahrer von G1 erzielten bessere Resultate als G2. Die durchschnittliche Karrieredauer war bei den Athletinnen/Athleten von G1 länger als die von G2. 23% von G1 erzielten mindestens einen Podestplatz, wobei es bei G2 nur 8.3% waren. Das Durchschnittsalter der Athletinnen/Athleten bei der VKB-Ruptur lag bei 22.6 +/- 4.1 Jahren bei Männern und bei Frauen bei 19.9 +/- 3.5 Jahren. In G1 wurden vor der VKB-Ruptur insgesamt 55 Podestplätze erzielt und nachher 176. Die Skifahrer, die ihre Leistungen nach der Verletzung verbessern konnten, waren signifikant jünger zur Zeit der Verletzung. Alle Skifahrer, die sich das Kreuzband rissen, setzten ihre Karriere nach der Verletzung fort.	Das Gesamtergebnis zeigt, dass es möglich ist, wieder auf das Level vor der Verletzung zurückzukehren, oder sogar besser zu performen. Zudem wird aufgezeigt, dass das Alter das Hauptelement ist, welches die postoperative Genesung beeinflusst.	zeigt, dass es möglich ist zurückzukehren, man wird evtl. sogar besser
---	---	--	---	--------------------------------------	---	--	--	--

7	Physiotherapists' experiences of the management of anterior cruciate ligament injuries (von Aesch et al., 2016)	Während viel Forschung über Management bei VKB-Rupturen gemacht wurde, ist die Variation der Behandlung bei Physiotherapeuten entscheidend.	Um die Erfahrung von Physiotherapeuten/-therapeuten bezüglich VKB-Verletzungen-Rehabilitationen und Faktoren, die die Entscheidung von PT beeinflussen bei VKB-Reha zu erfahren und herauszufinden, was deren Management unterstützen würde.	qualitative Studie		Managementstärken der TN waren wichtig bei deren Absicht und Versprechen eine Expertenreha bereitzustellen beim Gebrauch eines biopsychologischen Vorgehens und evidenz-basierter Erfahrung. Versobene Forschung wurde gebraucht für klare Anweisungen für Übungsbeschreibungen und Meilensteine für die Rückkehr nach VKB-Rupturen zum Sport.	TN zeigen eine biopsychosoziale und evidenzbasierte Einstellung gegenüber ihrem Verletzungsmanagement. Besondere Verbesserungspotenziale bestehen in der Vereinfachung von Überweisung in PT und Verbesserung der Kommunikation zwischen PT und anderen Gesundheitsfachleuten. Zukünftige Forschung sollte Fokus auf Klarheit der VKB-Reha legen sowie einen einfachen Zugang und bessere Nützlichkeit für Patienten bringen.	viel Physiobezug aber schwierig zu verstehen, kaum Bezug zum Skifahren
8	Rapid Hamstrings/Quadriceps Strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers (Jordan et al., 2015b)	Aufgrund der grossen Wichtigkeit der Hamstrings- und Quadricepskraft für das VKB und als Unfallprävention beim Skirennfahren wurde die Maximal- und			Unverletzte (n=21) und Acl-Rekonstruktionen bei Elite-Skirennfahrern machten max. Isometrietests von Ham und Quad und wurden bezüglich Geschlechtes und	die Acl-Rekonstruierten zeigten deutliche Defizite bezüglich der Gegenseite bei der Maximalkraft. Aber auch Unverletzte zeigten Unterschiede bzgl. Maximalkraft und Drehmoment.	Weil die Kraft beim Skirennfahren so wichtig ist, soll auch bei Unverletzten mehr auf die Ham und Quad-Kraft Untersuchung Wert gelegt werden und dies besonders auch langfristig nach Verletzungen genutzt werden.	Als Hauptstudie geeignet

		Explosivkraft mit und ohne ACL-Rekonstruktion getestet.			Kontrollgruppe verglichen.			
9	How to Prevent Injuries in Alpine Ski Racing: What Do We Know and Where Do We Go from Here? (Spörri et al., 2017)	Skirennfahren ist bekannt für ein grosses Risiko für Verletzungen.	- was weiss man über 4 Schritte der Unfallprävention beim Skirennfahren - potenzielle Perspektiven für Zukunft schaffen		38 Risikofaktoren beschrieben: 5 Faktoren haben direkten Einfluss (verm. Rumpfkraft, Geschlecht, Können, genetische Prädisposition, und Skier (kurz, lang, breit, ...))			
10	Review of Strength and Conditioning for Alpine Ski Racing. (Hydren et al., 2013)	Skirennfahren braucht langsame exzentrische und konzentrische Bewegungen im Vergleich zu Feldsportarten wegen Belastungsdauer von 40s-2min.	Skikontrolle braucht dynamische Balance und exzentrische Bewegung durch eine weite ROM der uEx und Hüftmobi. Training sollte auf Hypertrophie, Maximalkraft, Power, Balance, dynamische Mobi und anaerobe metabolische Unterstützung	review				nicht geeignet als Hauptstudie, da Methodik nicht klar beschrieben. (unstrukturierter Aufbau: nicht EMED. Ev. für theoretischen Hintergrund, eher artikelmässig)

			ausgerichtet sein					
11	Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. (Jordan et al., 2015a)	Aufgrund der grossen Häufigkeit von ACL-Rupturen bei Skirennfahrenden untersucht diese Studie die funktionelle Asymmetrie bei dem Counter Movement Sprung (CMJ) (Sprung mit Ausholen in die Höhe), beim Squatsprung (SJ) (Sprung aus Squat ohne Ausholen in die Höhe) und Beinmuskelmass e mit und ohne ACL-Rekonstruktion.	Zeigen Skifahrende mit VKB-Rekonstruktion mehr Links-Rechts-Unterschiede (bezüglich Kraft, Sprungfähigkeit, Muskelmasse) als Skifahrende ohne Verletzung.	Vergleich zweier Gruppen (VKB-Ruptur vs. keine Verletzung)	Elite Skirennfahrende mit ACL-R (n=9) und Unverletzte (n=9) nahmen teil beim neuromuskulären Screening. Es wurden die Kräfte am Boden gemessen bei den verschiedenen Sprüngen. Ziel: Asymmetrie-Index bestimmen bei Skifahrenden mit ACL-R und ohne ACL-R. X-ray absorptiometry scanning wurde gebraucht, um die Asymmetrie zu untersuchen: ACL-R hatten mehr Asymmetrien in Muskelmasse und auch bei Bewegung.	Skifahrende mit ACL-R zeigten erhöhten Asymmetrie-Index auf in der Kategorie Beinmuskelmass e. Zudem erwiesen sich beim CMJ in der exzentrischen Phase und in der Schlussphase des SJ signifikante Unterschiede im Asymmetrie-Index im Vergleich zur Kontrollgruppe. Es konnte ein positiver Zusammenhang zwischen Beinmuskelmass e und der konzentrischen Phase des CMJ sowie der späten Phase des SJ festgestellt werden.	es braucht weitere Forschung	Als Hauptstudie geeignet

12	Peculiarities of Early Rehabilitation of Mountain Ski Athletes After Plastic Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament (Sidorenko et al., 2013)						kein Volltext vorhanden
13	Interest of an Iterative Specialized Rehabilitation After an Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in High Level Sport Athletes (Laboute et al., 2008)						kein Volltext vorhanden
14	Investigating physical fitness and race performance as determinants for the ACL injury risk in Alpine ski racing (Schmitt et al., 2016)	VKB-Rupturen sind im Skisport sehr häufig. Diese Studie analysiert den Zusammenhang zwischen physischer Fitness, Rennperformance und Knieverletzungen.		Retroperspektiv	Es wurde eine retrospektive Studie durchgeführt, um den Einfluss von physischer Fitness und Rennperformance auf das Vorkommen von Knieverletzungen zu untersuchen. Es wurde eine Verletzungsdatenbank (2004-2013) für die	27 von insgesamt 70 Athletinnen/Athleten erlitten eine Knieverletzung. 71% dieser Verletzungen waren VKB-Rupturen. Es zeigte sich, dass Athletinnen/Athleten mit einer besseren FIS-Rangierung öfters Knieverletzungen erlitten. Man konnte jedoch keinen relevanten Zusammenhang zwischen physischer	Ein genereller Fitnesstest zeigt keinen Zusammenhang auf mit Knieverletzungen im alpinen Skifahren. Es müssten mehr spezifische Fitnesstests untersucht werden, um allenfalls beeinflussende Fitnessfaktoren zu evaluieren.

				Athletinnen/Athleten erstellt, die Testergebnisse aus einem Fitnessstest und medizinische Informationen in Zusammenhang mit Verletzungen beinhaltet. Es wurden die Leistungen von Athletinnen/Athleten, mit einer Verletzung mit Leistungen von Athletinnen/Athleten ohne Verletzung oder mit anderen Verletzungen verglichen.	Fitness und Knieverletzungen feststellen.		
15	Suggestions from the field for return-to-sport rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: alpine skiing. (Kokmeyer et al., 2012)						nicht nach EMED aufgebaut

16	Numerical simulations to assess different rehabilitation strategies after ACL rupture in a skier. (Semadeni & Schmitt, 2009)	Es gibt verschiedene Rehabilitationsstrategien nach VKB-Rupturen.	In dieser Studie wurde ein numerical model eines Skifahrers entwickelt, um den Effekt von unterschiedlichen Rehabilitationsstrategien nach VKB-Rupturen zu untersuchen.		Es wurde ein ComputermodeLL gegründet, welches eine finite Element-Simulation und eine multibody Simulation verwendete. (zwei numerische (physikalische) Verfahren → sehr kompliziert). Das Modell umfasste eine detaillierte Repräsentation der Kniestrukturen sowie alle grossen Beinmuskeln. Anhand dieses Modells wurden unterschiedliche Strategien nach VKB-Rupturen analysiert.	Es konnten die Vorteile des Muskeltrainings aufgezeigt werden, das den VKB-Verlust kompensieren sollten. Eine Erhöhung um 10% der physiologischen Querschnittsfläche zeigt einen positiven Effekt, ohne andere Kniestrukturen kritischen Belastungen auszusetzen. Die Simulation eines Hamstring-Grafts zeigte erhöhte Kniebelastungen. Ein Patellarsehnen-Graft zeigte eine Erhöhung der Belastung des lateralen Collateralbandes.	Muskeltraining von Extensoren und Flexoren ist gewinnbringend für die Rehabilitation von VKB-Rekonstruktionen sowie Knie, bei denen das VKB fehlt.	Volltext muss gekauft werden
17	Alpine skiing injuries in Finland – a two-year retrospective study based on a questionnaire among Ski racers (Stenroos & Handolin, 2014)	Alpines Skifahren ist eine der beliebtesten Wintersportarten der Welt. Es gibt aber ein hohes Verletzungsrisiko. Es gibt nur wenige Studien, die das Verletzungsrisiko unter		Retrospektive zwei-Jahres Pilotstudie	Ein Einschlusskriterium war eine Verletzung, die beim alpinen Skifahren zugezogen wurde und eine Trainingspause von länger als 1 Woche mit sich brachte. Alle	Jährlich gibt es in Finnland durchschnittlich 661 Skirennfahrende. Es gab 61 Verletzungen, die die Einschlusskriterien erfüllten. Am häufigsten waren ligamentäre Knieverletzungen, gefolgt von Unterschenkelverletzun	Die meisten Verletzungen betreffen das Knie und den Unterschenkel.	keine ACL-Rekonstruktionen

		Profiskifahrenden, v.a. Nachwuchs untersucht haben.			Altersgruppen waren miteinbezogen. Die Studie fand zwischen dem Anfang der Saison 2008/2009 bis zum Ende der Saison 2009/2010 statt (zwei Jahre).	gen. Mehr Frauen rissen sich das VKB. Nach VKB-Rupturen war die Trainingspause im Schnitt 26 Wochen.		
18	Strength deficits of the hamstrings following surgery on the anterior cruciate ligament: a case-control (Spiess. et al., 2019)	VKB-Verletzungen kommen im Skirennsport häufig vor. Die Ischiocruralmuskulatur spielt für den Schutz des VKBs eine grosse Rolle (v.a. exzentrische Muskelaktivität: grössere Intensität und Dauer als konzentrische Aktivität im Skisport). Ziel der Studie: haben Elite-Skirennfahrende nach einer VKB-Plastik exzentrische Kraftdefiziten der ischiocruralen Muskulatur?		case-control-Studie	2 Gruppen: eine Gruppe 49 +/- 41 Mt. postOP nach VKB-Plastik (n=8) und eine Gruppe mit gesunden Skirennfahrenden (n=70). Im Seitenvergleich wurden die exzentrische Gesamtkraft beider Beine (Ischios) der VKB-Verletzten und Gesunden gemessen. Bei den Verletzten wurde das operierte Bein mit der gesunden Seite und dem Mittelwert der gesunden Gruppe verglichen. ANOVA	Die relative exzentrische Gesamtkraft beider Beine der Ischios war bei der VKB-Gruppe signifikant kleiner sowie auch das operierte Bein schwächer als der Mittelwert der Kontrollgruppe. Auch der Limb symmetry index war bei den unilateral Operierten signifikant grösser.	Skirennfahrende haben auch mehrere Jahre nach einer VKB-Plastik persistierende Defizite in der exzentrischen Kraft der Ischios verglichen zu gesunden Skirennfahrenden. Darum sollte aus Sicht der Autoren dem exzentrischen-Hämstringstraining mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.	Magglingen Als Hauptstudie geeignet

19	<p>Asymmetry and Thigh Muscle Coactivity in Fatigued Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Elite Skiers (Jordan et al., 2015a)</p>		<p>Die akuten Effekte von Ermüdung auf funktionelle Asymmetrie zwischen den Beinen sowie Quad/Ham. Aktivitätslevel beim Squatjump wurden bei Athletinnen/Athleten mit und ohne VKB-Ruptur und anschließende r Rekonstruktion untersucht.</p>		<p>22 Elite-Skirennfahrer des Kanadischen Nationalteams des Skialpin sowie Skicross (international wettkampftätig). 11 Athleten mit VKB-R und 11 Athleten ohne VKB-Verletzung. Machten eine 80s repeated Squatjump-Test auf einer Kraftmessplatte. Asymmetrie-Index und Sprunghöhe wurden gemessen. VKB-R bein mit Gegenseite sowie Kontrollgruppe verglichen.</p>	<p>Sprunghöhe nimmt mit zunehmender Ermüdung ab bei beiden Gruppen. VKB - R Gruppe hat grössere Asymmetrie-Index in der späten Absprungphase. Von VKB-R betroffene Beine hatten weniger Quadricepsaktivität in allen Sprungphasen und mehr Hamstringsaktivität in der Phase vorund nach der Landung. VKB-R Bein, Gegenseite sowie Kontrollgruppe zeigten alle mit zunehmender Ermüdung mehr Quadriceps und weniger Hamstringsaktivität</p>	<p>Beine mit VKB-R zeigten mehr Hamstringsdominante Landungen als unverletzte Beine und die der Kontrollgruppe. Bei allen werden Landungen mit zunehmender Ermüdung mehr Quadriceps- als Hamstringsdominant .</p>	<p>Als Hauptstudie geeignet</p>
----	---	--	--	--	--	--	---	---------------------------------

Anhang F: AICA-Formulare der vier Studien

Studie 1: Rapid Hamstrings/Quadriceps Strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers (Jordan et al., 2015b a)

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
1	Introduction	Problembeschreibung Bezugsrahme n/Verortung des Themas, Forschungsfrage/-ziel (Hypothese)	<p>a. Um welches Thema/Problem handelt es sich? Aufgrund der hohen Anforderungen der Beinmuskulatur von Skirennfahrern haben diese ein erhöhtes Verletzungsrisiko – besonders auf Knieverletzungen (über 30%), wobei mehr als die Hälfte zu einem Ausfall von über 28 Tagen führt. Dabei ist die VKB-Ruptur die häufigste. Um effektive Unfallprävention durchzuführen, muss man einen genauen Risikofaktor identifizieren um diesen eliminieren zu können (z.B. durch Training).</p> <p>b. Was ist die Forschungsfrage/Hypothese oder das Ziel?? Ein umfassendes Muskelkraft-Assessment der HAM und QUAD um die Muskelfunktion der unteren Extremität bei aktiven wettkampffähigen alpinen Skirennfahrern zu testen. Die Hypothesen sind, dass VKBR Skirennfahrende signifikante Defizite zeigen im betroffenen Bein bezüglich Muskelmasse, HAM-Kraft und QUAD-Kraft (alles verglichen mit der Gegenseite und dem Durchschnitt von Unverletzten). Ausserdem wird die Oberschenkelmuskulatur von Männern stärker erwartet, es gibt jedoch bei beiden Geschlechtern keine Anzeichen von bilateralen Kraftdefiziten.</p> <p>c. Mit welchen Argumenten wurde die Forschungsfrage begründet? Aufgrund der einzigartigen Charakteristik von kontaktlosen VKB-Rupturen, der Wichtigkeit von HAM- und QUAD-Muskelkraft auf Skiperformance und dem Fehlen von wissenschaftlichen Daten der Oberschenkelmuskulatur bei aktiven Elite-Skirennfahrern.</p>	<p>a. Ist die Forschungsfrage/Hypothese/das Ziel klar definiert? Ja, es wird klar gesagt, was erforscht werden möchte und dafür auch viel Hintergrundwissen verwendet, um die Wichtigkeit dieser Forschungen zu untermauern.</p> <p>b. Wird das Thema/das Problem mit vorhandener empirischer Literatur gestützt? Ja, es werden andere Quellen beigezogen, um das Thema und die Problematik zu erläutern.</p>
2		Design	<p>a. Was soll untersucht werden? (Unterschied/Zusammenhang) Der Unterschied der Muskelmasse sowie HAM- und QUAD-Kraft bei VKBR-Skirennfahrern und Unverletzten.</p> <p>b. Wie oft wird gemessen/befragt (gibt es eine Messwiederholung)? Einmalig.</p>	<p>a. Ist die Verbindung zwischen der Forschungsfrage und dem gewählten methodischen Vorgehen nachvollziehbar? Ja, das methodische Vorgehen passt zur Forschungsfrage. Aufgrund der Voraussetzung der Verletzungen konnten keine Messungen davor stattfinden.</p>
3		Stichprobe	<p>a. Für welchen Personenkreis soll eine Aussage gemacht werden (Population) Elite-Skirennfahrende im Weltcup mit und ohne VKB-Rekonstruktion.</p> <p>b. Wie wurden die Stichproben definiert? 21 unverletzte Skirennfahrende des Alpinen Kanadischen Skiteams, inklusive Weltcup-Medalisten. Aufgrund der Schwierigkeit der Rekrutierung von Eliteathleten konnten nur acht aktiv konkurrierende VKBR-Skirennfahrende rekrutiert werden (3 Männer, 5 Frauen, 3 Allografts, 5 mit Semitendinosussehne rekonstruiert).</p>	<p>a. Ist die Population in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll gewählt? Ja, die dafür mögliche und passende Population wurde gewählt.</p> <p>b. Ist die Stichprobe in Bezug auf die Fragestellung und das methodische Vorgehen geeignet? Ja, die der Population entsprechende Stichprobe wurde ausgewählt und ist geeignet.</p> <p>c. Ist die Stichprobe repräsentativ in Bezug auf die Population? Ja, es wurden nur Elite-Skirennfahrende getestet, welche viel trainieren und dadurch stark ausgeprägte Muskelfunktionen aufweisen.</p>

		<p>Sie dürfen zwar Sekundärverletzungen aufweisen wie Meniskusverletzungen und Verletzungen am medialen Kollateralband oder Knorpel. Allerdings durften sie keine Rückenverletzungen oder andere Verletzungen der unteren Extremitäten vorweisen.</p> <p>c. Wie viele Stichproben wurden definiert? Eine nicht randomisierte Stichprobe aufgeteilt in zwei Gruppen: Gruppe von Athleten mit VKB-R und Gruppe mit Unverletzten.</p>	<p>Stichprobe ist grundsätzlich repräsentativ, jedoch hätten Athletinnen und Athleten von verschiedenen Nationen untersucht werden können, um eine globalere Einschätzung zu machen.</p> <p>d. Wie wurden die Stichproben gezogen? Die möglichen Teilnehmenden, die die entsprechenden Einschlusskriterien erfüllen, wurden rekrutiert.</p> <p>e. Erscheint die Stichprobengröße angemessen? Nein, die Stichprobengröße scheint zwar den Anforderungen entsprechend, jedoch zu klein, um ein aussagekräftiges Resultat zu erzielen.</p> <p>f. Wenn Vergleichsgruppen: Wie wurden diese erstellt? Unverletzte Skirennfahrende die demselben Kader zugehören.</p> <p>g. Wurden Dropouts (Teilnehmende, welche aus der laufenden Untersuchung ausscheiden) angegeben und begründet? Nein, aufgrund der nur einmaligen Messung gibt es keine Dropouts.</p> <p>h. Beeinflussen die Dropouts die Ergebnisse? Nein, da keine vorhanden sind.</p>
4	Datenerhebung	<p>a. Welche Art von Daten wurde erhoben? (physiologische Messungen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beobachtung • Schriftliche Befragung/Fragebogen/Selbsteinschätzung • Interview <p>Physiologische Messungen während der jährlichen Vorsaison Fitness-tests welche alle Teilnehmenden bereits kennen. Begonnen wurde mit einem 10min standardisierten Warm-up: Veloergometer gefolgt von leichtem dynamischen Dehnen der unteren Extremitäten. Dann wurden die TN auf einen isokinetischen Biodex Dynamometer gesetzt und um die Hüfte und den Rumpf befestigt bei einer Knieflexion von 70°. Aus dieser Position machten sie 3 MVCs von isometrischer Knieextension und -flexion für beide Beine wobei eine 30s Pause jede Wiederholung separierte. Das Ziel war die Kontraktionen schnellst- und starkmöglichst vorzunehmen und zwei Sekunden zu halten.</p> <p>b. Wenn nur eine Stichprobe: Wie oft wurden Messungen durchgeführt? Einmalig.</p>	<p>a. Ist die Datenerhebung in Bezug auf die Fragestellung nachvollziehbar? Ja, dadurch können isoliert die für die entsprechenden Bewegungen nötigen Muskeln beobachtet und genau gemessen werden.</p> <p>b. Sind die Methoden der Datenerhebung bei allen Teilnehmenden gleich? Ja, es wurde ein klar standardisiertes Verfahren angewendet.</p> <p>c. Wurden die Daten von allen Teilnehmenden komplett/vollständig erhoben? Ja, es wurden alle Daten komplett erhoben.</p>

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
5	Methods	Messverfahren & Messinstrumente (Variablen)	<p>a. Welche Variablen wurden zur Beantwortung der Fragestellung definiert? Isoliertes HAM-MVC, isoliertes Quad-MVC, Verhältnis MVC HAM/QUAD</p> <p>Alter, Geschlecht, Gewicht, Gewicht rechtes/linkes Bein, Monate postoperativ Der Versuch mit der maximalen Kraftbereitstellung wurde als MVC definiert. Der Start des Versuches gilt ab 4% des Kräfteinsatzes entsprechend des MVC. Gemessen wird in 4 unterschiedlichen Zeiträumen (0-50, 0-100, 0-150, 0-200ms)</p> <p>b. Welche Instrumente wurden zur Datenerhebung benutzt? Isokinetischer Biodex Dynamometer Ausserdem: Die Beinmuskelmasse und Körperfettmessung wurde mittels dual-energy x-ray absorptiometry scans (DXA) gemessen.</p> <p>c. Welche Intervention wird getestet? Keine Intervention an sich, es handelt sich um eine Case-Control-Studie, wobei die vorhandenen unterschiedlichen Gruppen anhand ihres Merkmals analysiert werden.</p>	<p>a. Sind die Variablen sinnvoll und umfassend in Bezug auf die Fragestellung gewählt? Ja, die Variablen entsprechen der Fragestellung des Unterschieds zur Gegenseite und Unverletzten.</p> <p>b. Fehlen relevante Variablen? Nein, die wichtigsten sind gegeben.</p> <p>c. Sind die Messinstrumente in Bezug auf die Fragestellung/Variablen geeignet? Das Messinstrument ist sinnvoll gewählt, es kann in Flexion und Extension (HAM/QUAD) unterschieden und in Zeitabschnitte eingeteilt werden.</p> <p>d. Sind die Messinstrumente zuverlässig (reliabel und valide)? Ja, es kann durch die Resultate der Messmaschine gut objektiviert werden.</p> <p>e. Wird die Auswahl der Messinstrumente nachvollziehbar begründet? Nein, es wird keine genauere Begründung geliefert.</p> <p>f. Sind mögliche Einflüsse/Verzerrungen auf die Intervention beschrieben? Nein, es werden keine Verzerrungen beschrieben.</p>
6		Datenanalyse	<p>a. Welches Skalenniveau weisen die erhobenen Variablen auf? VKB/VKBR: Nominalskala -> UV MVC, HAM, QUAD, rate: Absolut/Proportionalskala -> AV Alter: Absolut Geschlecht: Nominal Gewicht: Absolut Monate postop: Absolut</p> <p>b. Welche statistischen Verfahren wurden zur Datenanalyse genutzt? Gepaarte t-tests, Einweg ANOVA für Vergleiche zwischen den Gruppen</p> <p>c. Wurde ein Signifikanzniveau festgelegt (5% meist implizit, 1% oder 10% sollten begründet werden) 5%-Signifikanzniveau</p>	<p>a. Werden die gewählten Analyseverfahren klar beschrieben? Es wird erwähnt, welche Analyseverfahren verwendet werden. Sie werden jedoch nicht erklärt.</p> <p>b. Wurden die Verfahren in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll angewendet? Ja, der t-test wird angewendet, wenn zwei Gruppen verglichen werden. Die ANOVA kann für den Vergleich von zwei oder mehreren Gruppen angewendet werden und ist deshalb sinnvoll.</p> <p>c. Entsprechen die statistischen Analyseverfahren den Skalenniveaus? UV: VKB/VKBR: Nominalskala AV: MVC: Absolut/Proportional Ja, die statistischen Analyseverfahren entsprechen den Skalenniveaus. (Normalverteilung erlaubt t-test und ANOVA, da nur 2 Gruppenvariablen:VKB/VKBR)</p> <p>d. Wurden Voraussetzungen zur Verwendung bestimmter statistischer Analyseverfahren überprüft? Nein, es gibt keine genaueren Erläuterungen.</p>

7	Results	<p>Ergebnisse</p> <p>a. Welche Ergebnisse werden präsentiert? Entsprechend den Erwartungen gab es keine signifikanten Seitenunterschiede der Beinmasse bei den unverletzten männlichen und weiblichen Skirennfahrenden. Anders als erwartet, zeigten auch die VKBR-Skirennfahrenden im Seitenvergleich keinen signifikanten Unterschied der Beinmuskelmasse. VKBR-TN zeigten signifikante Defizite im VKBR-Bein verglichen zur Gegenseite in der Maximalkraft des QUAD und HAM und im späten RTD. Wie erwartet, zeigten unverletzte Skirennfahrerinnen keinen signifikanten Seitenunterschied der HAM- und QUAD-Kraft. Bei Männern gab es keinen signifikanten Seitenunterschied Extremitäten in der QUAD-Kraft, jedoch ein Unterschied von 5% in der HAM-Maximalkraft und einen Unterschied von 8% im späten RTD der HAM. Zwischen unverletzten Männern und Frauen bezüglich der Maximalkraft von QUAD und HAM konnte kein Unterschied festgestellt werden. Zudem manifestierte sich kein Unterschied in der frühen und späten RTD-Phase. Beim MVC zeigten die unverletzten weiblichen Skirennfahrerinnen einen signifikant besseren relativen HAM RTD 50 und 100 verglichen mit den unverletzten Männern. Die VKBR-Probanden weisen, verglichen mit dem Durchschnitt der Beine bei Unverletzten, signifikante HAM- und QUAD-Maximalkraftdefizite auf (entspricht den Erwartungen). Signifikante Explosivkraftdefizite des QUAD wurden auch im VKBR-Bein verglichen mit der Kontrollgruppe gefunden. In der HAM-Explosivkraft wurde zwischen den VKBR zu Unverletzten kein Kräfteunterschied festgestellt. Das RTD50 war jedoch höher im VKBR-Bein als bei Unverletzten. Nur beim H/Q-Ratio50 konnte zwischen den unverletzten Männern und Frauen ein signifikanter Unterschied erkannt werden. Entgegen der Hypothese zeigt die VKBR-Gruppe eine erhöhtes H/Q-Ratio50 verglichen mit der Kontrollgruppe. Signifikante bilaterale Asymmetrien wurden in der QUAD-Maximalkraft (MVC) beobachtet. Das VKBR-Bein zeigt signifikante Defizite in der QUAD-Explosiv- und Maximalkraft verglichen mit der Gegenseite und dem Durchschnitt der Kontrollgruppe.</p> <p>b. Welches sind die zentralen Ergebnisse der Untersuchung? VKBR-TN zeigten signifikante Defizite in der Maximalkraft des QUAD und HAM im späten RTD auf der VKBR-Seite und der unverletzten Extremität. Die unverletzten weiblichen Skirennfahrerinnen zeigen einen signifikant besseren relativen HAM-RTD50 und 100 verglichen mit den unverletzten Männern. Die VKBR zeigen signifikante HAM- und QUAD-Maximalkraftdefizite verglichen mit dem Durchschnitt der Extremitäten von Unverletzten. Signifikante Explosivkraftdefizite des QUAD wurden auch im VKBR-Bein verglichen mit der unverletzten Gruppe gefunden. Das RTD50 war jedoch höher im VKBR-Bein als bei Unverletzten. Im Vergleich zwischen HAM-MVC-Drehzentrum zwischen VKBR-Seite zur</p>	<p>a. Werden die Ergebnisse präzise dargestellt? Ja, es wird genau genannt ob die Ergebnisse signifikant sind oder nicht und wo man welche Ergebnisse in den Tabellen nachlesen kann. Zudem werden genaue Werte genannt (objektiv).</p> <p>b. Sind die Ergebnisse nachvollziehbar und übersichtlich dargestellt? Ja, sie werden mit den Tabellen gut aufgezeigt. Im Text werden sie mit Unterkapiteln übersichtlich voneinander getrennt.</p>
---	---------	---	---

			<p>Gegenseite und die VKBR-Seite zum Durchschnitt von Unverletzten wurden signifikante Kraftdefizite bei beiden Vergleichen beobachtet. Nur beim H/Q-Ratio50 konnte zwischen den Männern und Frauen ein signifikanter Unterschied erkannt werden. Für die Autoren erstaunlich erscheint ein erhöhtes H/Q-Ratio50 der VKB-Gruppe verglichen mit der Kontrollgruppe. Das VKBR-Bein zeigt signifikante Defizite in der QUAD-Explosiv- und Maximalkraft verglichen mit dem Gegenbein und dem Durchschnitt der unverletzten Gruppe.</p>	
8	Diskussion	Diskussion	<p>a. Werden die wichtigsten Ergebnisse erklärt? Wie interpretieren die Forschenden die Ergebnisse? Werden die Ergebnisse mit ähnlichen Studien verglichen? Ja, die wichtigsten Ergebnisse werden erklärt und mit anderen Erklärmethoden ergänzt. Die Forschenden interpretieren die Ergebnisse so, dass signifikante Ergebnisse nach VKBR bei den betroffenen Beinen festgestellt werden konnten und diesen in Zukunft mehr Beachtung geschenkt werden muss. Es werden ausserdem andere Studien erwähnt für eine Untermauerung der Ergebnisse.</p> <p>b. Kann die Forschungsfrage auf Grund der Daten beantwortet werden? Ja: Die Haupteckkenntnis von dieser Studie ist, dass signifikante Defizite in QUAD-Maximalkraft (MVC) und Explosivkraft (RTD) auf der VKBR-Seite von aktiv konkurrierenden Elite-Alpinskiernfahrenden verglichen mit der Gegenseite sowie dem Extremitätendurchschnitt von Unverletzten, bestehen.</p> <p>c. Welche Limitationen werden angegeben? Die Ermüdung während der Übung wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die kleine Stichprobe der unverletzten weiblichen Teilnehmenden und VKBR-Gruppe. Ausserdem konnte aufgrund der kleinen Stichprobengrösse keine Rücksicht auf die Rekonstruktionsart genommen werden.</p>	<p>a. Werden alle Resultate diskutiert? Ja, die Resultate werden gut diskutiert.</p> <p>b. Stimmt die Interpretation mit den Resultaten überein? Die Interpretation passt gut zu den Resultaten.</p> <p>c. Ist die Interpretation der Ergebnisse nachvollziehbar? Ja, sie werden gut erklärt.</p> <p>d. Werden die Resultate in Bezug zur Fragestellung/Zielsetzung/Hypothese und anderen Studien diskutiert und verglichen? Bei den Resultaten wird immer erwähnt wie es aus der Hypothese erwartet wurde. Es werden auch andere Studien miteinbezogen.</p> <p>e. Wird nach alternativen Erklärungen gesucht? Ja, es werden auch Alternativerklärungen gesucht.</p>
9	Übertrag auf die eigene Profession	Übertrag auf die eigene Profession	<p>a. Welche Implikationen haben die Ergebnisse in Bezug auf meine Profession/für meinen beruflichen Alltag? Die Studie zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied gibt in der QUAD-Maximal- und Explosivkraft im verletzten Bein im Vergleich zum unverletzten und dem Durchschnitt der unverletzten Teilnehmenden. Die Kreuzbandruptur passiert innert 200ms und der Wiederbelastungsphase des Gegenbeins während dem Fahren von Kurven. Deshalb ist die Explosivkraft bei Elite-Skirennfahrenden sehr wichtig. Ausserdem sind Explosiv- und Maximalkraft die entscheidenden Fähigkeiten im Skirennsport. Es ist wichtig, die spezifischen QUAD-Kraftdefizite zu erkennen. Diese Assessments sind wichtig bei VKBR-Skirennfahrenden um das Level von vor dem Unfall wieder zu erreichen. Es wird vermutet, dass HAM- und QUAD-Maximalkraft und Explosivkraft wichtige Eigenschaften sind bei VKBR-Skirennfahrenden. Darum sollten solche Assessments in die jährlichen Sporttests miteingebaut werden sowie auch nach längerer postoperativer Zeit wiederholt werden.</p>	<p>a. Ist die Studie sinnvoll? Ja, die Studie zeigt welche Unterschiede signifikant sind und welche nicht.</p> <p>b. Werden Stärken und Schwächen aufgewogen? Es werden die Limitationen erwähnt.</p> <p>c. Wäre es möglich die Studie in einem anderen klinischen Setting zu wiederholen? Ja, die Studie könnte mit einer anderen Stichprobe in einem anderen Land wiederholt werden.</p>

Studie 2: Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction (Jordan et al., 2015b)

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
1	Introduction	Problembeschreibung Bezugsrahmen/Verortung des Themas, Forschungsfrage/-ziel (Hypothese)	<p>d. Um welches Thema/Problem handelt es sich? Im Alpinen Skirennsport sind hohe Tempi und ein unvorhersehbares Umfeld mit Kurven die Regel. Dabei sind sowohl kräftige konzentrische und vorwiegend exzentrische Muskelaktivierungen unumgänglich. Deshalb sind Skirennfahrende dafür bekannt, dass sie eine hohe symmetrische bilaterale Muskelkraft aufweisen. Aufgrund der hohen Intensität im Skirennsport besteht ein hohes Verletzungsrisiko der unteren Extremität, besonders dem Kniegelenk. Die hohe Verletzungsprävalenz führt zu einer häufigen Ausfallzeit vom Sport. VKB-Verletzungen sind die am häufigsten vorkommenden Verletzungen, welche durch drei Hauptverletzungsmechanismen verursacht werden. Zudem besteht ein hohes Reruptur-Risiko. Bei Elite-Skirennfahrenden mit VKB-Rekonstruktion weiss man noch sehr wenig über deren neuromuskuläre Funktion, wodurch man auch wenig essenzielle Infos für die Rehabilitation hat. Deshalb ist das Ziel, einen bilateralen Asymmetrie-Index zu erreichen, um zwischen normalen und pathologischen Bewegungen zu unterscheiden sowie in der Reha Fortschritte erzielen zu können.</p> <p>e. Was ist die Forschungsfrage/Hypothese oder das Ziel?? Das Ziel der Studie ist es, die bilaterale Funktionsasymmetrie der unteren Extremität mittels Countermovement Jump und Squat Jump phasenspezifisch zu quantifizieren und den kinetischen Impuls Asymmetrie-Index (AI) bei Unverletzten und VKB-R Elite-Skirennfahrenden zu erkennen. Die Asymmetrie der Muskelmasse der unteren Extremitäten wurde mit dem dual x-ray absorptiometry (DXA) gemessen. Es wird erwartet, dass VKB-R-Skirennfahrende einen grösseren Asymmetrie-Index während den Sprüngen (SJ & CMJ) zeigen als Unverletzte. Ausserdem wird ein grösserer AI in der Beinmuskulmasse erwartet.</p> <p>f. Mit welchen Argumenten wurde die Forschungsfrage begründet? Durch die zahlreichen Rupturen und Rerupturen bei Skirennfahrenden und mangelndem Wissen über die neuromuskuläre Funktion welche die Prävention sowie Rehabilitation beeinflussen kann. Es gibt dazu kein klares Procedere wie in der Rehabilitation vorgegangen werden soll.</p>	<p>c. Ist die Forschungsfrage/Hypothese/das Ziel klar definiert? Ja, das Ziel wird klar erklärt inklusive viel Hintergrundwissen, weshalb sie dies erforschen möchten und die Relevanz erklären.</p> <p>d. Wird das Thema/das Problem mit vorhandener empirischer Literatur gestützt? Ja, es werden viele andere Quellen zitiert worin über die häufigen Vorkommnisse von VKB-Rupturen beschrieben werden und die bilaterale Kraftasymmetrie behandelt wird. Es wird vor allem Hintergrundwissen behandelt.</p>
2	Methods	Design	<p>c. Was soll untersucht werden? (Unterschied/Zusammenhang) Der Unterschied der Muskelmasse und -funktion der unteren Extremität von Unverletzten zu VKB-rekonstruierten Skirennfahrenden bezüglich des funktionellen bilateralen Asymmetrie-Index gemessen am SJ und CMJ.</p> <p>d. Wie oft wird gemessen/befragt (gibt es eine Messwiederholung)? Einmalig, beim jährlichen Fitnessstests vor der Off-Snow-Trainingsperiode.</p>	<p>b. Ist die Verbindung zwischen der Forschungsfrage und dem gewählten methodischen Vorgehen nachvollziehbar? Ja, da eine Verletzung vorausgesetzt wird, konnten keine Voruntersuchungen stattfinden.</p>

3		Stichprobe	<p>d. Für welchen Personenkreis soll eine Aussage gemacht werden (Population)? Aktive Elite-Skirennfahrende mit und ohne VKB-Rekonstruktion.</p> <p>e. Wie wurden die Stichproben definiert? 18 Elite-Skirennfahrende des kanadischen Elite Alpin Ski Teams (inkl. 5 Weltcupmedalisten) wurden bei den jährlichen Fitnessstests zum Start der Off-Snow-Trainingsperiode rekrutiert. Sie müssen für den FIS Weltcup qualifiziert sein. Neun sind aktive Skirennfahrende mit VKB-Rekonstruktionen, neun sind Unverletzte. Alle TN hatten das medizinische OK für Skitrainings und -rennen.</p> <p>f. Wie viele Stichproben wurden definiert? Eine nicht randomisierte Stichprobe aufgeteilt in zwei Gruppen: Gruppe von Athleten mit VKB-R und Gruppe von Unverletzten.</p>	<p>i. Ist die Population in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll gewählt? Ja, es macht Sinn nur Elite-Skirennfahrende zu befragen, da diese vergleichbare Trainingseinheiten absolvieren und sich auf hohem funktionellem Standard befinden.</p> <p>j. Ist die Stichprobe in Bezug auf die Fragestellung und das methodische Vorgehen geeignet? Ja, allerdings etwas klein, um eine klare und spezifische Aussage machen zu können.</p> <p>k. Ist die Stichprobe repräsentativ in Bezug auf die Population? Die Stichprobe ist von der Auswahl her repräsentativ, da klare Ein- und Ausschlusskriterien bestimmt wurden. Für eine spezifische und signifikante Aussage ist sie zu klein.</p> <p>l. Wie wurden die Stichproben gezogen? Skirennfahrende des nationalen kanadischen Kaders, welche sich für den Weltcup qualifiziert haben. Die Untersuchungsgruppe muss primär am VKB verunfallt sein, es dürfen Sekundärverletzungen vorhanden sein.</p> <p>m. Erscheint die Stichprobengröße angemessen? Nein, sie ist zu klein, um eine aussagekräftige Schlussfolgerung zu ziehen.</p> <p>n. Wenn Vergleichsgruppen: Wie wurden diese erstellt? Neun Unverletzte mit denselben Voraussetzungen. Klarere Angaben werden nicht gemacht.</p> <p>o. Wurden Dropouts (Teilnehmende, welche aus der laufenden Untersuchung ausscheiden) angegeben und begründet? Nein, da nur eine Messung vorgenommen wurde und die Ein- und Ausschlusskriterien davor stattgefunden haben.</p> <p>p. Beeinflussen die Dropouts die Ergebnisse? Nein, da keine vorhanden sind.</p>
4		Datenerhebung	<p>c. Welche Art von Daten wurde erhoben? (physiologische Messungen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beobachtung • Schriftliche Befragung/Fragebogen/Selbsteinschätzung • Interview <p>Physiologische Messungen: zuerst wurde die Körperkomposition mittels DXA-Scanning getestet. Danach fand die einmalige Testung statt (da der SJ und CMJ neue Assessments darstellten, konnten keine Vorverletzungsdaten miteingeschlossen werden). 10 maximale CMJ wobei es schnellstmöglich in eine 90° Knieflex runterzukommen galt und daraus maximal hochzuspringen. Danach gab es eine 5-minütige Pause, bevor mit den 10 SJ begonnen wurde. Dabei mussten die TN langsam in die 90° Knieflexexposition kommen und dort für 3s bleiben, bevor sie auf verbale Instruktion aufspringen mussten. Bei beiden Sprungarten waren die TN aufgefordert maximal aufzuspringen und die Hände in den Hüften eingestützt zu halten. Dabei galt jeweils der Durchschnitt der 10 Sprünge.</p> <p>d. Wenn nur eine Stichprobe: Wie oft wurden Messungen durchgeführt? Einmalig.</p>	<p>d. Ist die Datenerhebung in Bezug auf die Fragestellung nachvollziehbar? Ja, da man den Unfall nicht voraussehen kann, ist es nicht möglich, eine Vorunfallmessung aufzunehmen.</p> <p>e. Sind die Methoden der Datenerhebung bei allen Teilnehmenden gleich? Ja, es wurde ein standardisiertes Messverfahren angewendet. Das DXA-Scanning wurde immer von der gleichen Person durchgeführt.</p> <p>f. Wurden die Daten von allen Teilnehmenden komplett/vollständig erhoben? Ja, es konnten alle Messungen bei allen TN stattfinden.</p>

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
5	Methods	Messverfahren & Messinstrumente (Variablen)	<p>d. Welche Variablen wurden zur Beantwortung der Fragestellung definiert? AI CMJ konzentrisch, AI CMJ exzentrisch, AI SJ Phase 1, AI SJ Phase 2, AI Muskelmasse. Impulse SJ Phase 1, Impulse SJ Phase 2, Impulse CMJ exzentrisch, Impulse CMJ konzentrisch, Beinmasse (Impulse = Kraft) Alter, Geschlecht, Gewicht, Gewicht rechtes/linkes Bein, Monate postoperativ.</p> <p>e. Welche Instrumente wurden zur Datenerhebung benutzt? Ein dual-force-Plate-system, welches die vertikale Bodenreaktionskraft messen kann. Daraus wird eine Kraft-Zeit-Kurve erstellt. Der DXA-Scanner wurde gebraucht, um eine Körperfett- und Muskelmassenmessung zu vollziehen.</p> <p>f. Welche Intervention wird getestet? Keine Intervention an sich, es handelt sich um eine Case-Control-Study, wobei die vorhandenen unterschiedlichen Gruppen anhand ihres Merkmals analysiert werden.</p>	<p>g. Sind die Variablen sinnvoll und umfassend in Bezug auf die Fragestellung gewählt? Ja, sie geben Auskunft in welcher Sprungphase: wieviel konzentrische und exzentrische Kraft aufbereitet werden kann.</p> <p>h. Fehlen relevante Variablen? Nein, die wichtigsten sind gegeben.</p> <p>i. Sind die Messinstrumente in Bezug auf die Fragestellung/Variablen geeignet? Die Messung mittels Bodenreaktionskraft und Differenzierung in konzentrische und exzentrische Kraft ist sinnvoll.</p> <p>j. Sind die Messinstrumente zuverlässig (reliabel und valide)? Ja, durch die Systeme können klare Zahlen gemessen werden, wodurch sie gut objektiviert werden kann.</p> <p>k. Wird die Auswahl der Messinstrumente nachvollziehbar begründet? Nein, es wird nur erklärt, dass man sich an die Angaben der Messinstrumente halten kann, jedoch nicht genau erklärt, warum diese Messinstrumente ausgewählt wurden.</p> <p>l. Sind mögliche Einflüsse/Verzerrungen auf die Intervention beschrieben? Nein.</p>
6		Datenanalyse	<p>d. Welches Skalenniveau weisen die erhobenen Variablen auf? AI CMJ konzentrisch, AI CMJ exzentrisch, AI SJ Phase 1, AI SJ Phase 2, AI Muskelmasse --> Absolut/Proportionalskala Impulse SJ Phase 1, Impulse SJ Phase 2, Impulse CMJ exzentrisch, Impulse CMJ konzentrisch, Beinmasse -> alle Absolut/Proportionalskala Alter: Absolut Geschlecht: Nominal Gewicht: Absolut Monate postop: Absolut</p> <p>e. Welche statistischen Verfahren wurden zur Datenanalyse genutzt? Einweg-Varianzanalyse, um die Mittelwerte zwischen der Untersuchungs- und Kontrollgruppe zu vergleichen. Einwegtest mit ungleichen Varianzen wurde gebraucht um den AI der konzentrischen Phase des CMJ mit der exzentrischen Phase des SJ sowie Phase 1 mit der Phase 2 des SJ zu vergleichen. Eine lineare Regressionsanalyse wurde gebraucht, um eine Beziehung zwischen dem AI der Beinmuskelmasse und dem AI der CMJ und SJ phasenspezifischen kinetischen Impulsen zu messen.</p> <p>f. Wurde ein Signifikanzniveau festgelegt (5% meist implizit, 1% oder 10% sollten begründet werden) 5% Signifikanzniveau.</p>	<p>e. Werden die gewählten Analyseverfahren klar beschrieben? Es wird erwähnt, welche Analyseverfahren verwendet werden. Sie werden jedoch nicht erklärt.</p> <p>f. Wurden die Verfahren in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll angewendet? Ja, da mehrere Gruppen miteinander verglichen werden muss die Varianzanalyse verwendet werden.</p> <p>g. Entsprechen die statistischen Analyseverfahren den Skalenniveaus? UV: VKB/VKBR: Nominalskala AV: AI und Impulse: Absolut/Proportional Ja, die statistischen Analyseverfahren entsprechen den Skalenniveaus.</p> <p>h. Wurden Voraussetzungen zur Verwendung bestimmter statistischer Analyseverfahren überprüft? Nein, es gibt keine genaueren Erläuterungen.</p>

7	Results	Ergebnisse	<p>c. Welche Ergebnisse werden präsentiert? VKBR-Skirennfahrende zeigten einen grösseren AI verglichen mit den Unverletzten in der konzentrischen Phase des CMJ, Phase 2 des SJ (beide $P < 0.05$) und der Beinmuskelmasse ($P < 0.001$). In der Phase 1 des SJ und exzentrischen Phase des CMJ konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.</p> <p>Auch interindividuell gab es in der VKBR-Gruppe grosse Unterschiede zwischen den kinetischen Impulsen des phasenspezifischen AI beim CMJ und der exzentrischen Abstiegsphase des CMJ.</p> <p>d. Welches sind die zentralen Ergebnisse der Untersuchung? Es gab signifikante Unterschiede des AI in der konzentrischen Phase des CMJ, in der Phase 2 des SJ sowie im AI der Beinmuskelmasse.</p>	<p>c. Werden die Ergebnisse präzise dargestellt? In den Tabellen werden die Resultate präzise dargestellt. Im Text eher kurz und präzise, welche signifikant sind und welche nicht.</p> <p>d. Sind die Ergebnisse nachvollziehbar und übersichtlich dargestellt? Die Ergebnisse werden im Text verständlich erklärt. Die Tabellen müssen für ein klares Verständnis etwas genauer studiert werden. Bei den jeweiligen Tabellen ist nur teils auf den ersten Blick ersichtlich, welche Unterschiede (Resultate) signifikant sind und welche nicht.</p>
---	---------	------------	--	---

8	Diskussion	Diskussion	<p>d. Werden die wichtigsten Ergebnisse erklärt? Wie interpretieren die Forschenden die Ergebnisse? Werden die Ergebnisse mit ähnlichen Studien verglichen? Obwohl statistisch kein signifikanter Unterschied gefunden werden konnte in der exzentrischen Bremsphase, konnte ein einziges Individuum gefunden werden, das im VKBR-Bein in der exzentrischen Bremsphase ein grosses Defizit zeigte. Dies war eine unerwartete Beobachtung und zeigt die Wichtigkeit des Asymmetrie-Index'. Die Unverletzten zeigen sehr symmetrische Kraftwerte der unteren Extremitäten während allen Phasen des SJ und CMJ. Der genaue Zusammenhang zwischen einem tiefen AI, der Skiperformance und dem Verletzungsrisiko konnte man nicht genauer erforschen. Eine andere Studie hat herausgefunden, dass bei einer ersten Verletzung häufiger das linke Bein verletzt wird, der Grund konnte jedoch nicht herausgefunden werden. Es bräuchte weitere Forschung, um die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenhangs von höherer bilateraler funktioneller Asymmetrie und Verletzungsrisiko der unteren Extremitäten zu bestätigen. Übereinstimmend mit der Literatur haben VKBR-Skirennfahrende eine grössere bilaterale Asymmetrie in der Beinmuskelmasse als Unverletzte. Sie zeigen Defizite im betroffenen Bein. Obwohl 12 Mt. postop signifikante Unterschiede im Muskelvolumen gefunden werden konnten, wurde 18Mt. postop kein statistischer Unterschied gefunden (andere Studie).</p> <p>e. Kann die Forschungsfrage auf Grund der Daten beantwortet werden? Ja, die Schlussfolgerung zeigt, dass aktive Elite-Skirennfahrende im Vergleich zu Unverletzten einen erhöhten AI über spezifische Phasen der Sprungbewegung aufzeigen (inkl. der konzentrischen Phase des CMJ und Phase 2 des SJ). Dabei werden bei beiden Sprüngen Defizite im rekonstruierten Bein erkannt. Sie zeigen auch eine grössere Asymmetrie in der Beinmuskelmasse im Vergleich zu Unverletzten. Weiter müsste jedoch auch die neuromuskuläre Aktivität sowie die Muskelsynergisten-Koordination erforscht werden, um eine gezieltere Aussage zur Rückkehr zum Sport machen zu können.</p> <p>f. Welche Limitationen werden angegeben?</p> <ul style="list-style-type: none"> - kein Unterschied zwischen den Geschlechtern (andere Studien sagen, dass die Verletzungsrate keinen Geschlechterunterschied zeigt im Skirennsport, was bei Feldsportarten anders erscheint). - 7-Jahre Altersunterschied bei den Männern - kleine Stichprobengrösse - Vorverletzungsmessungen sind aufgrund des Studiendesigns nicht möglich, was entscheidend wäre, um herauszufinden ob der AI mit der VKBR in Zusammenhang steht - Man weiss nicht genau, wie das Rehabilitationsprogramm der Betroffenen ausgesehen hat. Jedoch wurden alle durch Physios des kanadischen Skiteams betreut. 	<p>f. Werden alle Resultate diskutiert? Ja, die notierten Resultate im Text werden alle diskutiert.</p> <p>g. Stimmt die Interpretation mit den Resultaten überein? Ja, die Interpretation stimmt mit den Resultaten überein, sowohl aus dem Text als auch aus den Tabellen.</p> <p>h. Ist die Interpretation der Ergebnisse nachvollziehbar? Ja, die Interpretation ist verständlich. Sie wird jedoch wenig mit alternativen Erklärungsmöglichkeiten ergänzt.</p> <p>i. Werden die Resultate in Bezug zur Fragestellung/Zielsetzung/Hypothese und anderen Studien diskutiert und verglichen? Ja, es werden viele andere Studien miteinbezogen, die ähnliche Beobachtungen machen konnten.</p> <p>j. Wird nach alternativen Erklärungen gesucht? Wenig. Sie zeigen eher andere Studien, die ähnliches beobachteten.</p>
---	------------	------------	---	---

9		Übertrag auf die eigene Profession	<p>b. Welche Implikationen haben die Ergebnisse in Bezug auf meine Profession/für meinen beruflichen Alltag?</p> <p>Die Studie zeigt, dass nach einer VKBR sowohl in der Muskelfunktion als auch in der Beinmuskelmasse am operierten Bein über längere Zeit (12Mt.+) Defizite bestehen bleiben. Für eine genauere return-to-sport Rehabilitation müsste die neuromuskuläre Aktivität sowie Antagonist- und Synergist-Koordination genauer erforscht werden, sodass ein genauer Rehabilitationsplan nach VKBR erstellt werden kann, welcher die hohe Verletzungs- und Rerupturquote beeinflusst.</p>	<p>d. Ist die Studie sinnvoll? Ja, sie sagt genau aus was sie erforschen will und macht danach darüber auch eine klare Aussage. Sie erforscht die Muskelfunktion im Seitenvergleich und im Vergleich zu Unverletzten bei den Sprüngen SJ und CMJ in konzentrischer sowie exzentrischer Muskelaktivität.</p> <p>e. Werden Stärken und Schwächen aufgewogen? Als Stärke wird die phasenspezifische Muskelfunktionsanalyse erwogen, welche den SJ in zwei Phasen teilt und den CMJ in konzentrischer und exzentrischer Muskelaktivität erforscht. Die Schwächen sind die oben genannten Limitationen.</p> <p>f. Wäre es möglich die Studie in einem anderen klinischen Setting zu wiederholen? Ja, die Studie wäre mit einer anderen Stichprobe gut zu wiederholen. Entweder in einem anderen Land mit derselben Stichprobenart (Elite-Skirennfahrende des World Cup) oder in Kanada mit einer Erweiterung der Stichprobe auf Leistungssportskirennfahrende.</p>
---	--	------------------------------------	---	--

Studie 3: Asymmetry and Thigh Muscle Coactivity in Fatigued Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Elite Skiers (Jordan et al., 2017a)

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
1	Introduction	Problembeschreibung Bezugsrahmen/Verortung des Themas, Forschungsfrage/-ziel (Hypothese)	<p>g. Um welches Thema/Problem handelt es sich? VKB Verletzungen und Rerupturen sind im alpinen Skirennsport sehr häufig, besonders bei vorbestehender Müdigkeit. Insbesondere nach Rückkehr zum Sport zeigen viele Athletinnen und Athleten bilaterale funktionelle Asymmetrie und Quadriceps/Hamstrings Kräftedefizite im betroffenen Bein.</p> <p>h. Was ist die Forschungsfrage/Hypothese oder das Ziel?? Ziel: Untersuchen des Effekts der neuromuskulären Ermüdung auf die vertikale Sprungperformance, bilaterale funktionelle Asymmetrie sowie QUAD/HAM-Muskelaktivität bei Elite-Skirennfahrenden mit/ohne VKB-R. Hypothesen: vertikale Sprungperformance verschlechtert sich mit zunehmender Ermüdung in beiden Gruppen. Zudem wird AI bei VKB-R mit Ermüdung grösser als bei Kontrollgruppe. Weiter wird mit zunehmender Ermüdung eine verminderte Hamstringsaktivität in der Vorlande- und Lande-Phase sowie eine reduzierte QUAD-Aktivität im VKB-R Bein verglichen zur Gegenseite erwartet.</p> <p>i. Mit welchen Argumenten wurde die Forschungsfrage begründet? Da ermüdete Skirennfahrende einem höheren Verletzungsrisiko ausgesetzt sind, ist ein skispezifisches neuromuskuläres Assessment wichtig um ein individualisiertes Trainingsprogramm als VKB-Prävention und Reha zu erstellen. Die Effekte von akuter Müdigkeit auf die funktionelle Asymmetrie bei VKB-rekonstruierten Athletinnen und Athleten, inkl. Skirennfahrenden, hat bisher wenig wissenschaftliche Erachtung. Es wird erwartet, dass eine unterschiedliche Antwort auf den funktionellen Asymmetrie-Index bei ermüdeten VKBR und Unverletzten gesehen wird. Diese Asymmetrie bei Skirennfahrenden mit und ohne VKBR scheint ein wichtiger Teil der Verletzungsprävention darzustellen.</p>	<p>e. Ist die Forschungsfrage/Hypothese/das Ziel klar definiert? Ja, es wird klar erklärt was untersucht werden soll.</p> <p>f. Wird das Thema/das Problem mit vorhandener empirischer Literatur gestützt? Ja, es werden Vergleiche zu VKB-Verletzungen im Handball aufgestellt wo Kraftunterschiede nach VKB-Rekonstruktionen aufgezeigt werden. Dabei wird auch der Vergleich zum Skirennsport hergestellt und zwischen Frauen und Männern unterschieden.</p>
2	Methods	Design	<p>e. Was soll untersucht werden? (Unterschied/Zusammenhang) Den Effekt von neuromuskulärer Müdigkeit auf die vertikale Sprungperformance, bilaterale funktionelle Asymmetrie und Quadriceps/Hamstrings Muskelaktivität bei Elite-Skirennfahrenden mit und ohne VKB-Rekonstruktion herauszufinden.</p> <p>f. Wie oft wird gemessen/befragt (gibt es eine Messwiederholung)? Einmalig. Drei maximale willkürliche Kontraktionen (MVC) von isometrischer Knieextension und -flexion bei einem Kniewinkel von 70° Knieflexion mit 60s Pause dazwischen. Anschließend 6min Pause, dann Sprung-Protokoll: Squat Jump (Ausgangsstellung: 90° Knieflexion, beide Beine auf angrenzenden und eingeebneten Kräfteplatte (eine pro Bein). 4s halten der Position, 20x</p>	<p>c. Ist die Verbindung zwischen der Forschungsfrage und dem gewählten methodischen Vorgehen nachvollziehbar? Ja, durch die 20 SJ, die absolviert werden müssen in bestimmten Zeitabständen kann die Ermüdung während den SJ genau gemessen werden, so wie sie auch während eines Skirennens stattfindet. Dabei wird währenddessen eine übungsspezifische Ermüdung erwartet. Der Übungsablauf wurde zuvor mit anderen Skirennfahrenden getestet, sodass er sich einem typischen Trainingslauf möglichst ähnelt. Allerdings wird nicht erwähnt, warum die MVC-Messungen zu Beginn durchgeführt werden.</p>

		maximale Sprünge wie der Timer es vorgab -> ergibt eine Belastungszeit von 80s.	
3	Stichprobe	<p>g. Für welchen Personenkreis soll eine Aussage gemacht werden (Population) Aktive Elite-Skirennfahrende mit und ohne VKB-Rekonstruktion.</p> <p>h. Wie wurden die Stichproben definiert? Es wurden 22 Elite-Skirennfahrende aus Kanadas alpinen Skiteam sowie Skicross, welche an internationalen Rennen teilnehmen, rekrutiert. Davon haben 11 eine VKB-Rekonstruktion hinter sich. <u>Kontrollgruppe</u>: Mindestens 18 Jahre alt, aktive Wettkämpfer im FIS Ski Weltcup, keine Verletzungen der unteren Extremität oder lumbale Rückenverletzungen welche die vertikale Sprungperformance beeinflussen. <u>VKBR-Gruppe</u>: Mindestens 18 Jahre alt, aktive Wettkämpfer im FIS Ski Weltcup mit voller medizinischer Gesundheit, mind. 12Mt. postop und nur primäre VKB-Verletzungen, keine Verletzungen der unteren Extremität oder lumbale Rückenverletzungen welche die vertikale Sprungperformance beeinflussen.</p> <p>i. Wie viele Stichproben wurden definiert? Eine nicht randomisierte Stichprobe aufgeteilt in zwei Gruppen: Gruppe von Athletinnen und Athleten mit VKB-R und Gruppe mit Unverletzten.</p>	<p>q. Ist die Population in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll gewählt? Ja, die auffindbaren, den Vorgaben entsprechenden Skirennfahrenden wurden ausgewählt.</p> <p>r. Ist die Stichprobe in Bezug auf die Fragestellung und das methodische Vorgehen geeignet? Ja, klare Ein- und Ausschlusskriterien wurden bei der Auswahl berücksichtigt.</p> <p>s. Ist die Stichprobe repräsentativ in Bezug auf die Population? Ja, allerdings etwas klein. Die Auswahl bestimmt klar die aktiven Elite-Skirennfahrenden ohne Vorerkrankungen. Ausserdem ist das Verhältnis zwischen Gesunden und Operierten fair verteilt.</p> <p>t. Wie wurden die Stichproben gezogen? Vorhandene Skirennfahrende, welche die Einschlusskriterien erfüllen, wurden miteinbezogen.</p> <p>u. Erscheint die Stichprobengrösse angemessen? Die Stichprobe wurde fair in die Gruppen eingeteilt. Allerdings sind beide Gruppen mit 11TN sehr klein, um eine relevante Aussage machen zu können.</p> <p>v. Wenn Vergleichsgruppen: Wie wurden diese erstellt? Der VKB-rekonstruierten Gruppe wurde eine Kontrollgruppe ohne Kreuzbandverletzungen gegenübergestellt.</p> <p>w. Wurden Dropouts (Teilnehmende, welche aus der laufenden Untersuchung ausscheiden) angegeben und begründet? Nein, es wurden nur die TN ausgewählt die den Anforderungen entsprechen.</p> <p>x. Beeinflussen die Dropouts die Ergebnisse? Nein, da keine vorhanden sind.</p>
4	Datenerhebung	<p>e. Welche Art von Daten wurde erhoben? (physiologische Messungen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beobachtung • Schriftliche Befragung/Fragebogen/Selbsteinschätzung • Interview <p>Die TN wurden während den üblichen Fitnesstests vor der Saison untersucht. Nach einem standardisierten 10-min Warm-up auf einem Veloergometer und einem dynamischen Dehnen der unteren Extremität wurden die TN auf einen isometrischen Dynamometer gesetzt mit einer Knieflexion von 70°, wobei 3 maximale willkürliche Kontraktionen in Flexion und Extension durchgeführt wurden mit jeweils 60s Pause. Danach kam die Squat Jump-Testung: 20 Sprünge aus 90° Knieflexionsausgangsstellung mit jeweils 4s Pause.</p> <p>f. Wenn nur eine Stichprobe: Wie oft wurden Messungen durchgeführt? Einmalig.</p>	<p>g. Ist die Datenerhebung in Bezug auf die Fragestellung nachvollziehbar? Ja, sie misst die Ermüdung während der Belastung (vergleichbar mit einem Skirennlauf). Vorunfallmessungen sind aufgrund der Unvorhersehbarkeit nicht möglich.</p> <p>h. Sind die Methoden der Datenerhebung bei allen Teilnehmenden gleich? Ja, es wurde ein standardisiertes Verfahren angewendet, welches in der Studie genau erklärt wurde. Die Muskeln, welche mit Elektroden versehen wurden, wurden immer von der gleichen Person palpirt und die Elektroden angelegt.</p> <p>i. Wurden die Daten von allen Teilnehmenden komplett/vollständig erhoben? Ja, es werden keine Ausnahmen erwähnt.</p>

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
5	Methods	Messverfahren & Messinstrumente (Variablen)	<p>g. Welche Variablen wurden zur Beantwortung der Fragestellung definiert? AI Early / Late / Land bei der VKBR- und Kontrollgruppe, Kraft HAM bei ACLR / Gegenseite und Kontrollgruppe während den 4 Sets in Aufstiegs- und Landephase, Kraft Quad bei VKBR / Gegenseite und Kontrollgruppe während den 4 Sets in Aufstiegs- und Landephase</p> <p>Alter, Geschlecht, Gewicht, Monate postoperativ.</p> <p>h. Welche Instrumente wurden zur Datenerhebung benutzt? Ein isometrischer Dynamometer zur Messung der isometrischen Kraft in Flexion und Extension. Zwei benachbarte Kraftmessplatten, welche die Kraft der beiden Beine bei den Squad Jumps messen. Bipolare Oberflächenelektroden (EMG) mit jeweils 2cm Interelektrodenabstand wurden auf dem mittleren Teil des Muskelbauches mithilfe einer Bandage angebracht und fixiert.</p> <p>i. Welche Intervention wird getestet? Keine Intervention an sich, es handelt sich um eine Case-Control-Studie, wobei die vorhandenen unterschiedlichen Gruppen anhand ihres Merkmals analysiert werden.</p>	<p>m. Sind die Variablen sinnvoll und umfassend in Bezug auf die Fragestellung gewählt? Ja, es werden genaue Angaben gemacht was untersucht werden soll. Ausserdem wurden sie soweit angepasst, dass sie objektiviert werden können und funktionsähnlich wie ein Trainingslauf sind.</p> <p>n. Fehlen relevante Variablen? Nein, die wichtigsten sind gegeben.</p> <p>o. Sind die Messinstrumente in Bezug auf die Fragestellung/Variablen geeignet? Ja, es werden standardisierte Messverfahren angewendet. Sie untersuchen die Ermüdung während der Übung, wodurch auch ein erhöhtes Verletzungsrisiko entstehen kann.</p> <p>p. Sind die Messinstrumente zuverlässig (reliabel und valide)? Ja, die Messinstrumente können durch die Maschinen klare Ergebnisse liefern und sind somit gut objektivierbar.</p> <p>q. Wird die Auswahl der Messinstrumente nachvollziehbar begründet? Die Anwendung des isometrischen Dynamometers sowie der Kraftmessplatten wird nicht genauer erklärt. Es wird jedoch erklärt, warum 20 Squat Jumps mit vier Sekunden Pause durchgeführt werden: zur Testung der Kraftbereitstellung während der Ermüdung während eines Skirennlaufs.</p> <p>r. Sind mögliche Einflüsse/Verzerrungen auf die Intervention beschrieben? Nein, da keine Intervention an sich stattfindet. Jedoch können unterschiedliche Rekonstruktionsmethoden unterschiedliche Auswirkungen haben.</p>
6		Datenanalyse	<p>g. Welches Skalenniveau weisen die erhobenen Variablen auf? AI -> Absolut/Proportional Kraft Ham und Quad -> Absolut/ Proportional VKB/VKBR: Nominal</p> <p>Alter: Absolut Geschlecht: Nominal Gewicht: Absolut Monate postop: Absolut</p> <p>h. Welche statistischen Verfahren wurden zur Datenanalyse genutzt? Post hoc Analyse Zweiseitiger Test</p> <p>i. Wurde ein Signifikanzniveau festgelegt (5% meist implizit, 1% oder 10% sollten begründet werden) 5% Signifikanzniveau, two-tailed</p>	<p>i. Werden die gewählten Analyseverfahren klar beschrieben? Es wird eine Post-hoc-Analyse durchgeführt, um aufzuzeigen, welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden.</p> <p>j. Wurden die Verfahren in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll angewendet? Ja die linearen gemischten Modelle prüfen, ob eine abhängige Variable von unabhängigen Faktoren beeinflusst wird.</p> <p>k. Entsprechen die statistischen Analyseverfahren den Skalenniveaus? UV: VKB/VKBR: Nominalskala AV: AI und Kraftimpulse: Absolut/Proportional Ja die Verfahren entsprechen den Skalenniveaus.</p> <p>l. Wurden Voraussetzungen zur Verwendung bestimmter statistischer Analyseverfahren überprüft? Nein, es gibt keine genaueren Erläuterungen.</p>

7	Results	Ergebnisse	<p>e. Welche Ergebnisse werden präsentiert? Die <u>Sprungperformance</u> nahm bei beiden Gruppen (VKB- und Kontrollgruppe) während der Testung ab. Es gab keinen Unterschied zwischen den Gruppen. Es gab auch keine Änderungen im funktionellen <u>Asymmetrie-Index</u> bei Ermüdung. Allerdings konnte in der VKB-Gruppe im Wechselspiel der Sprungphase eine Änderung beobachtet werden. Bei der Kontrollgruppe konnte während den drei Sprungphasen kein Unterschied festgestellt werden. VKBR Athletinnen und Athleten zeigten einen systematischen Wechsel in der Asymmetrie in der späten Phase des Absprungs im Seitenvergleich. In der maximalen Hamstrings-<u>Muskelaktivität in der Aufstiegsphase</u> und in der Absprungphase konnte kein Seitenunterschied beobachtet werden. Es gab jedoch Einflüsse von Müdigkeit auf die maximale Hamstrings-Muskelaktivität in der Aufstiegs- und Absprungphase. Die Hamstringsaktivität nahm bei allen drei Untersuchungsarten (VKBR, AI und im Vergleich zu Unverletzten) ab. In der Aufstiegsphase konnte im Quadriceps keine Ermüdung erkannt werden. Auch in der Absprungphase konnte auf der verletzten Seite ein ermüdeter Quadriceps beobachtet werden. Die Quadriceps-Muskelaktivität beim Absprung ging mit der Ermüdung bei allen Untersuchungsarten zurück. <u>Muskelaktivität Squat Jump Landephase</u> Es konnten bei der maximalen Hamstrings-Muskelaktivität in der Landephase keine Unterschiede zwischen den rekonstruierten und den unverletzten Extremitäten gefunden werden. Diese geht mit Müdigkeit bei allen Extremitätenstati im letzten Sprungset einher. Die vorbereitende Hamstringsaktivität war beim rekonstruierten Bein besser als beim gesunden Bein. In der letzten Sprungserie war die Quadricepsaktivität signifikant höher bei der VKB- wie auch der Kontrollgruppe. Die Vorbereitung der Quadricepsaktivität war im Seitenvergleich im VKBR-Bein tiefer. Gegenüberstehend der Hamstringsaktivität war ein Haupteffekt von erhöhter Ermüdung bei allen Extremitäten ersichtlich. <u>Vorbereitende Quadriceps-Hamstrings-Coaktivität:</u> Es gab einen Haupteffekt der Extremitätenstati auf die unterschiedliche Vorbereitung der QUAD-HAM Muskelaktivität in der Vorlandephase. QUAD-HAM war tiefer im VKBR Bein verglichen mit den anderen zwei Extremitätenkonditionen bei mehr Hamstring und weniger Quadricepsdominanz im VKBR-Bein.</p> <p>f. Welches sind die zentralen Ergebnisse der Untersuchung? Die Vorbereitung der Muskulatur war besonders in der Landephase entscheidend, wo das VKBR-Bein eine verminderte Muskelaktivität aufzeigt. Die Hamstringskraft ist im rekonstruierten Bein häufig besser als im gesunden. Eine Ermüdung war bei verschiedenen Untersuchungen ersichtlich.</p>	<p>e. Werden die Ergebnisse präzise dargestellt? Die Ergebnisse werden zahlreich und genau genannt; wo welche Kraftaufbereitung in welcher Sprungphase wie stark ermüdet ist usw. Es ist aber nicht ganz klar wie der Einfluss auf die VKBR besteht.</p> <p>f. Sind die Ergebnisse nachvollziehbar und übersichtlich dargestellt? Die Ergebnisse werden als Text- und Tabellenform dargestellt.</p>
---	---------	------------	---	--

8	Discussion	Diskussion	<p>g. Werden die wichtigsten Ergebnisse erklärt? Wie interpretieren die Forschenden die Ergebnisse? Werden die Ergebnisse mit ähnlichen Studien verglichen? <u>Vertikale Sprungperformance und funktionelle Asymmetrie:</u> Entgegen der Erwartungen zeigten VKBR-Skirennfahrende keine erhöhte funktionelle Asymmetrie mit akuter Ermüdung. Dies ist im Kontrast zu anderen Sportarten, wo im verletzten Bein eine erhöhte Ermüdung beobachtet werden konnte. Diese Diskrepanz zwischen den Studien kann durch die Testmethoden erklärt werden (in dieser Studie werden die Kräfte während der gesamten Absprung- und Landephase gemessen und nicht nur an einem bestimmten Zeitpunkt (zb. Die Grundreaktionskraft)). Der AI beobachtet die rechten und linken Extremitätenimpulse während bestimmten Sprungphasen und hat dadurch einen grossen Defiziterkennungswert. Die verminderte Asymmetrie kann auch durch die spätere postoperative Situation erklärt werden.</p> <p><u>Maximale und vorbereitete Muskelaktivitätslevels:</u> Das betroffene Bein der VKBR-Skirennfahrenden zeigte reduzierte Quadriceps-Muskelaktivität beim Absprung verglichen zur Gegenseite, was mit dem erhöhten funktionellen AI für die späte Absprungphase übereinstimmt.</p> <p>Alle drei Extremitätenkonditionen zeigten Quadricepsdominanz in der Vorlandephase bei Ermüdung. Die Quadricepsmuskelaktivität stieg während die Hamstringsmuskelaktivität sank, was eine grössere Coaktivität auslöst. Es wird spekuliert, dass eine erhöhte Dominanz des lateralen Quadriceps relativ zum medialen Hamstringmuskel eine beeinträchtigte Möglichkeit zeigt vor Schutz des Valguskniekollapses. Vorbereitete Muskelaktivität scheint wichtig zur Verletzungsprävention, weil die afferenten Mechanosensor-Feedback-loops zu langsam sind, um das Knie zu stabilisieren. Es konnte auch gezeigt werden, dass VKB-Rekonstruierte eine erhöhte Hamstringsdominanz und Voraktivierung zeigen konnten bei max. Knieextension.</p> <p>h. Kann die Forschungsfrage auf Grund der Daten beantwortet werden? Der Effekt des neuromuskulären Trainings wird in dieser Studie nicht beachtet. Der Unterschied der Muskelaktivitäten wird in der Studie jedoch gut aufgezeigt: welcher Muskel zeigt in welcher Sprungphase erhöhte oder verminderte Aktivität mit der Ermüdung auf?</p> <p>i. Welche Limitationen werden angegeben? Die Studie wird limitiert, indem die Rekonstruktionsart nicht berücksichtigt wird. Ausserdem wurden nur hochfunktionelle VKBR-Skirennfahrende als Teilnehmende berücksichtigt. Dadurch scheint die TN-Auswahl nicht für alle VKBR-Elite-Skirennfahrenden aussagekräftig zu sein. Ausserdem konnte aufgrund der limitierten TN-Anzahl keine Rücksicht auf Geschlechter genommen werden. Es konnten auch keine Vorverletzungsdaten aufgenommen werden. Für erhöhte klinische Aussagekraft müsste die Beziehung zwischen funktionelle Asymmetrie, Quadriceps-Hamstrings Muskel-Coaktivität und VKB-Rupturen und</p>	<p>k. Werden alle Resultate diskutiert? Die Resultate werden alle nochmals diskutiert.</p> <p>l. Stimmt die Interpretation mit den Resultaten überein? Die Autoren suchen nach Erklärungen für die Resultate.</p> <p>m. Ist die Interpretation der Ergebnisse nachvollziehbar? Die Interpretation ist nachvollziehbar, es werden dazu Erklärungen geliefert und mögliche Einflussfaktoren aufgelistet.</p> <p>n. Werden die Resultate in Bezug zur Fragestellung/Zielsetzung/Hypothese und anderen Studien diskutiert und verglichen? Die Resultate werden diskutiert und kritisch gewertet. Es wird Bezug zu anderen Studien genommen: Handballer nach VKBR z.B.</p> <p>o. Wird nach alternativen Erklärungen gesucht? Die Autoren dieser Studie versuchen ihre Erkenntnisse zu unterstreichen und suchen nach alternativen Erklärungen.</p>
---	------------	------------	---	---

			Rerupturen weiter erforscht werden. VKBR-Skirennfahrende zeigen zwae eine erfolgreiche Rückkehr zum Sport, sie haben jedoch trotzdem lang bestehende Funktionsdefizite.	
9		Übertrag auf die eigene Profession	<p>c. Welche Implikationen haben die Ergebnisse in Bezug auf meine Profession/für meinen beruflichen Alltag?</p> <p>Es ist wichtig neuromuskuläre Funktionsdefizite zu identifizieren und dementsprechend das Training und die Reha zu gestalten, damit Verletzungen präventiv verhindert werden können.</p>	<p>g. Ist die Studie sinnvoll? Ja, sie zeigt, dass eine genaue Evaluation der Muskelaktivitäten unter Ermüdung notwendig ist für eine genaue und spezifische Aussage.</p> <p>h. Werden Stärken und Schwächen aufgewogen? Ja, als Stärke gilt, dass sie nicht nur einen Zeitpunkt während des Sprunges untersuchen. Als Schwächen gelten die oben genannten Limitationen.</p> <p>i. Wäre es möglich die Studie in einem anderen klinischen Setting zu wiederholen? Ja, es wäre möglich die Studie in anderen Ländern mit den Elite-Skirennfahrenden zu wiederholen. Auch in Kanada selbst könnten weitere Elite-Skirennfahrende beigezogen werden, die vielleicht 'nur' an nationalen Wettkämpfen teilnehmen.</p>

Studie 4: Kraftdefizite der Hamstrings nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion bei Elite-Skirennfahrern: eine Fallkontrollstudie

Strength deficits of the hamstrings following surgery on the anterior cruciate ligament: a case-control study of elite alpine ski racers (Spiess et al., 2019)

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
1	Introduction	Problembeschreibung Bezugsrahmen/Verortung des Themas, Forschungsfrage/-ziel (Hypothese)	<p>j. Um welches Thema/Problem handelt es sich? Fast 1/3 der Verletzungen im Skirennsport betreffen das Knie, wobei VKB-Verletzungen am häufigsten Vorkommen und dadurch ein erhöhtes Risiko einer Re-Ruptur aufweisen. Nach der Ruptur konnte eine verminderte Kraft der Quadriceps- und Ischiocruralmuskulatur aufgezeigt werden.</p> <p>k. Was ist die Forschungsfrage/Hypothese oder das Ziel?? Mit einer einfachen Messmethode (NordBord) die exzentrische Kraft der ischiocruralen Muskulatur von Skirennfahrenden zu untersuchen, um das Niveau der Kraft von am vorderen Kreuzband operierten und gesunden Athletinnen und Athleten zu bestimmen. Die Hypothesen werden aus anderen Studien abgeleitet: das betroffene Bein zeigt eine verminderte Kraft der Quadriceps- und Ischiocruralmuskulatur.</p> <p>l. Mit welchen Argumenten wurde die Forschungsfrage begründet? Bis anhin keine Literatur, welche die exzentrische Kraft der Ischios nach VKB-Operation misst mittels NordBord im Skirennsport. Ausserdem nur kleine Probandengruppen und nicht im Skisport.</p>	<p>g. Ist die Forschungsfrage/Hypothese/das Ziel klar definiert? Die Forschungsfrage ist klar definiert: es soll der muskuläre Seitenvergleich der Ischiocruralmuskulatur untersucht werden nach VKB-Rekonstruktion bei Skirennfahrenden. Die Hypothesen sind nicht ganz klar beschrieben, es wird nur aus anderen Studien erzählt, die jedoch nicht genau dies untersuchten.</p> <p>h. Wird das Thema/das Problem mit vorhandener empirischer Literatur gestützt? Es wird Bezug auf andere Studien genommen, welche allerdings nur ansatzweise in diese Richtung Untersuchungen vorgenommen haben.</p>

2	Methods	Design	<p>g. Was soll untersucht werden? (Unterschied/Zusammenhang) Die Muskelfunktion der exzentrischen Kraft (Ischiocruralmuskulatur) nach VKB-Rekonstruktion im Skirennsport im Vergleich zu Gesunden und im Seitenvergleich.</p> <p>h. Wie oft wird gemessen/befragt (gibt es eine Messwiederholung)? Einmalige Messung.</p>	<p>d. Ist die Verbindung zwischen der Forschungsfrage und dem gewählten methodischen Vorgehen nachvollziehbar? Ja, die Übungsauswahl entspricht der Testung der benötigten Muskelgruppe.</p>
3		Stichprobe	<p>j. Für welchen Personenkreis soll eine Aussage gemacht werden (Population) Skirennfahrende mit/ohne VKB-Ruptur und Rekonstruktion.</p> <p>k. Wie wurden die Stichproben definiert? Skirennfahrende des Schweizerischen Nationalkaders im Alter zwischen 15-31 Jahren. Einschlusskriterien: mind. 6Mt. postop, keine Vorgeschichte von Verletzungen der ischiocruralen Muskulatur oder VKB und in den letzten 12Mt. 100% trainings- und wettkampffähig. Für Kontrollgruppe gilt: keine Vorgeschichte von VKB-Verletzungen und Verletzungen der ischiocruralen Muskulatur und Probanden müssen trainings- und wettkampffähig sein. Es werden 70 gesunde Skirennfahrende und 18 (uni- und bilateral) Verletzte untersucht. (Wird nicht in den Methoden genannt.)</p> <p>l. Wie viele Stichproben wurden definiert? Eine nicht randomisierte Stichprobe aufgeteilt in zwei Gruppen: eine Testgruppe mit VKB-Rekonstruktion und eine Kontrollgruppe ohne VKB-Verletzung</p>	<p>y. Ist die Population in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll gewählt? Ja, Skirennfahrende aus dem Nationalkader mit und ohne VKB-Ruptur. -> sinnvoll.</p> <p>z. Ist die Stichprobe in Bezug auf die Fragestellung und das methodische Vorgehen geeignet? Ja, repräsentiert die Population.</p> <p>aa. Ist die Stichprobe repräsentativ in Bezug auf die Population? Ja, jedoch sehr grosse Altersspanne, was eine genauere Aussage bzgl. Alter erschwert.</p> <p>bb. Wie wurden die Stichproben gezogen? nicht genauer erläutert. Wurden aus den versch. Kadern von Swiss-Ski rekrutiert.</p> <p>cc. Erscheint die Stichprobengrösse angemessen? Nein, Vergleich von 18 Betroffenen zu 70 Gesunden ist unverhältnismässig. Ausserdem ist die Anzahl von 18 VKBR zu klein.</p> <p>dd. Wenn Vergleichsgruppen: Wie wurden diese erstellt? Es wurden 70 Skirennfahrende ohne akute VKB-Verletzung aus den Swiss-Ski Kadern rekrutiert.</p> <p>ee. Wurden Dropouts (Teilnehmende, welche aus der laufenden Untersuchung ausscheiden) angegeben und begründet? Nein, da nur einmalige Messung.</p> <p>ff. Beeinflussen die Dropouts die Ergebnisse? Nein</p>
4		Datenerhebung	<p>g. Welche Art von Daten wurde erhoben? (physiologische Messungen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beobachtung • Schriftliche Befragung/Fragebogen/Selbsteinschätzung • Interview <p>Erfassung des Gesundheitszustandes, Alter, Körpergewicht, Körpergrösse stehend und kniend und Unterschenkelänge. Bilaterale Messung mit zwei Serien à drei maximalen Nordic-Hamstrings-Übungen auf dem NordBord.</p> <p>h. Wenn nur eine Stichprobe: Wie oft wurden Messungen durchgeführt? Einmalig.</p>	<p>j. Ist die Datenerhebung in Bezug auf die Fragestellung nachvollziehbar? Ja, durch diese Nordic-Hamstring-Übung wird die exzentrische Muskelgruppe beansprucht.</p> <p>k. Sind die Methoden der Datenerhebung bei allen Teilnehmenden gleich? Ja. Test wurde immer durch den gleichen Untersucher durchgeführt.</p> <p>l. Wurden die Daten von allen Teilnehmenden komplett/vollständig erhoben? Ja kann angenommen werden, wird nichts anderes erwähnt.</p>

LF	Studie	Forschungsschritt	Leitfragen Zusammenfassung	Leitfragen kritische Würdigung
5	Methods	Messverfahren & Messinstrumente (Variablen)	<p>j. Welche Variablen wurden zur Beantwortung der Fragestellung definiert?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absolute und relative exzentrische Kraft der Beine einzeln (li&re) der VKBR- und Kontrollgruppe - Limb Symmetry Index (Differenz der exzentrischen Kraft zw. beiden Beinen) bei VKBR- und Kontrollgruppe - exzentrische Gesamtkraft beider Beine (absolut und relativ) - (Geschlecht, Alter, Körpergrösse stehend/kniend, US-Länge, Gewicht, Anzahl OP, Zeit seit OP) <p>k. Welche Instrumente wurden zur Datenerhebung benutzt?</p> <p>NordBord: misst exzentrische Gesamtkraft beider Beine der ischiocruralen Muskulatur in Newton. Und Erfassung der Personalien und Konstitution mittels Messbandes und Waage. Die Datenerfassung erfolgt durch die SCOREBORD Software.</p> <p>l. Welche Intervention wird getestet?</p> <p>Keine Intervention an sich, es wird der Unterschied von VKB-Rekonstruierten im Seitenvergleich und zu Unverletzten gemessen. Es handelt sich um eine Case-Control-Studie, wobei die vorhandenen, unterschiedlichen Gruppen anhand ihres Merkmals analysiert werden.</p>	<p>s. Sind die Variablen sinnvoll und umfassend in Bezug auf die Fragestellung gewählt?</p> <p>Ja.</p> <p>t. Fehlen relevante Variablen?</p> <p>Nein.</p> <p>u. Sind die Messinstrumente in Bezug auf die Fragestellung/Variablen geeignet?</p> <p>Ja, klare Messung, die in Newton vergleichbare Werte ergibt. Durch die genaue Messung der Proportionen der Athletinnen und Athleten können diese mit einem bestimmten Berechnungsmodell gekürzt werden und können trotz unterschiedlicher Hebelverhältnisse und Proportionen untereinander verglichen werden.</p> <p>v. Sind die Messinstrumente zuverlässig (reliabel und valide)?</p> <p>Ja, sehr gut objektiviert. Hohes bis moderates Level von Test-Retest-Reliabilität kann erreicht werden.</p> <p>w. Wird die Auswahl der Messinstrumente nachvollziehbar begründet?</p> <p>Ja: bei der Nordic-Hamstring-Übung sind alle Anteile der ischiocruralen Muskulatur aktiv (besonders M. semitendinosus)</p> <p>x. Sind mögliche Einflüsse/Verzerrungen auf die Intervention beschrieben?</p> <p>Nein, da keine Intervention vorhanden.</p>
6		Datenanalyse	<p>j. Welches Skalenniveau weisen die erhobenen Variablen auf?</p> <p>Geschlecht: Nominal Alter: Absolut/Proportional Körpergewicht: Absolut/Proportional Grösse stehend, kniend sowie US-Länge: Absolut/Proportional Gesamtkraft: Absolut/Proportional Symmetry Index: Absolut/Proportional VKB/VKBR: Nominal</p> <p>k. Welche statistischen Verfahren wurden zur Datenanalyse genutzt?</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test für Überprüfung der Normalverteilung, t-test für Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben. Einfaktorielle ANOVA, gefolgt vom Bonferroni-Post-hoc-Test. Ausserdem wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt für die Erfassung des Einflusses von mehreren Faktoren auf die exzentrische Kraft der Ischios sowie den Limb Symmetry Index.</p> <p>l. Wurde ein Signifikanzniveau festgelegt (5% meist implizit, 1% oder 10% sollten begründet werden)</p> <p>Ja 5%.</p>	<p>m. Werden die gewählten Analyseverfahren klar beschrieben?</p> <p>Ja, klare Beschreibung welcher Test für welchen Vergleich verwendet wird.</p> <p>n. Wurden die Verfahren in Bezug auf die Fragestellung sinnvoll angewendet?</p> <p>Ja</p> <p>o. Entsprechen die statistischen Analyseverfahren den Skalenniveaus?</p> <p>UV: VKB/VKBR: Nominalskala AV: Gesamtkraft Beine einzeln und zusammen: absolut/proportional, Symmetry Index: Absolut/Proportional der t-test wird für zwei unabhängige Stichproben verwendet: passend ANOVA für den Vergleich von drei Gruppen: passend</p> <p>p. Wurden Voraussetzungen zur Verwendung bestimmter statistischer Analyseverfahren überprüft?</p> <p>Nein, es gibt keine genaueren Erläuterungen.</p>

7	Results	Ergebnisse	<p>g. Welche Ergebnisse werden präsentiert? <u>Vergleich VKB-Gruppe zu Kontroll-Gruppe:</u> Absolute exzentrische Gesamtkraft beider Beine unterscheidet sich nicht signifikant zwischen der VKB- und Kontrollgruppe. ($p=0.078$) p unter 0.1 deutet an, dass die Probandinnen und Probanden der Kontrollgruppe mehr Kraft erzeugen können. Bei der Berechnung der relativen exzentrischen Kraft: signifikanter Unterschied der Gruppen. <u>Vergleich operiertes Bein vs. gesundes Bein:</u> Nur 13 Probandinnen und Probanden die unilaterale Ruptur erlitten haben. Kein signifikanter Unterschied bei absoluter wie auch relativer exzentrischer Kraft. Auch im Mittelwert der VKB-Gruppe (zwischen rechtem und linkem Bein) im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigt sich in der absoluten Kraft kein signifikanter Unterschied, in der relativen Kraft jedoch schon: das operierte Bein war schwächer als der Mittelwert der Kontrollgruppe). Vergleich gesundes Bein mit Mittelwert der Kontrollgruppe zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied in der relativen und absoluten Kraft. <u>Limb Symmetry Index</u> Signifikanter Unterschied zwischen der VKB-Gruppe (uni- und bilateral) und Kontrollgruppe.</p> <p>h. Welches sind die zentralen Ergebnisse der Untersuchung? Die einzigen signifikanten Unterschiede sind: Die relative exzentrische Kraft zwischen den beiden Gruppen und in der relativen Kraft den Mittelwert der VKB-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe.</p>	<p>g. Werden die Ergebnisse präzise dargestellt? Ja, auch mithilfe von Tabellen.</p> <p>h. Sind die Ergebnisse nachvollziehbar und übersichtlich dargestellt? Ja. Sie sind in verschiedene Outcome-Kapitel gegliedert, was das Verständnis und die Übersicht über die Resultate fördert.</p>
---	---------	------------	--	--

8	Discussion	Diskussion	<p>j. Werden die wichtigsten Ergebnisse erklärt? Wie interpretieren die Forschenden die Ergebnisse? Werden die Ergebnisse mit ähnlichen Studien verglichen?</p> <p>Ja, es macht Sinn, dass nur Unterschiede in der relativen Kraft erkennbar sind, da diese die Grössen, Unterschenkelängen, Gewicht und Körpergrösse in kniender Position berücksichtigt und dadurch vergleichbar werden.</p> <p>Ja, es werden auch andere Studien miteinbezogen: Buchheit et al. (2015) berücksichtigt nur Körpergrösse ohne andere Hebelverhältnisse bei Fussballspielern. Oder Timmins et al. (2009) die ebenfalls zeigt, dass das operierte Bein im Vergleich zur Kontrollgruppe schwächer war bei Fussball- und Australian Footballspielenden. Zusätzlich war es auch signifikant schwächer als das gesunde Bein im Seitenvergleich. -> dafür hat diese Studie eine zu kleine Stichprobe und zu grosse Standardabweichungen. Grosse Standardabweichungen können durch unterschiedliche Rehabilitationsprozesse erklärt werden. Tendenziell kann gesagt werden, dass das operierte Bein schwächer ist als das Gesunde.</p> <p>k. Kann die Forschungsfrage auf Grund der Daten beantwortet werden?</p> <p>Ja, es heisst, dass das operierte Bein postoperativ eine verminderte exzentrische Kraftfähigkeit aufweist.</p> <p>l. Welche Limitationen werden angegeben?</p> <p>Keine Möglichkeit, mehr am VKB operierte Skirennfahrende zu rekrutieren, um den Effekt zwischen operiertem und gesundem Bein zu zeigen und einen Unterschied bezüglich Transplantatentnahme zu untersuchen. Ausserdem kann durch den nicht verblindeten Tester ein verursachter Bias nicht ausgeschlossen werden. Das NordBord kann keine Winkelgeschwindigkeit oder den Winkel der Kraftspitze messen und abbilden. Das Verhältnis Männer-Frauen ist in der operativen Gruppe deutlich zugunsten der Frauen, bei der Kontrollgruppe jedoch umgekehrt. Nur mit Einbezug des Geschlechts konnte so die geringere Kraft nach der Operation festgestellt werden. Vergleich zu anderen Studien, welche jedoch nicht alle die gleichen Schlussfolgerungen ziehen konnten oder durch zu kleine Population limitiert werden.</p>	<p>p. Werden alle Resultate diskutiert?</p> <p>Ja, in der Diskussion werden alle Resultate diskutiert und Einflussfaktoren dazu aufgezeigt.</p> <p>q. Stimmt die Interpretation mit den Resultaten überein?</p> <p>Ja, es werden mögliche Erklärungen für diese Resultate geliefert.</p> <p>r. Ist die Interpretation der Ergebnisse nachvollziehbar?</p> <p>Ja, klare Erklärungen der Hypothesenbildungen.</p> <p>s. Werden die Resultate in Bezug zur Fragestellung/Zielsetzung/Hypothese und anderen Studien diskutiert und verglichen?</p> <p>Ja, es werden andere Studien mit deren Resultaten miteinbezogen und Vergleiche dazu erstellt.</p> <p>t. Wird nach alternativen Erklärungen gesucht?</p> <p>Kaum, es werden eher die gemachten Erkenntnisse unterstrichen und nach Erklärungen für diese gesucht.</p>
9		Übertrag auf die eigene Profession	<p>d. Welche Implikationen haben die Ergebnisse in Bezug auf meine Profession/für meinen beruflichen Alltag?</p> <p>Dass der Kräftigung der ischiocruralen Muskulatur während der Reha mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte, da exzentrisches Krafttraining zu einer Verlängerung der Faszikel führt und dadurch zu einer Kraftzunahme des Muskels. Besonders wenn die Semitendinosussehne als Transplantat gewählt wurde, sind spezifische Übungen nötig, um diesen Muskel gezielt zu kräftigen. (Semitendinosus hat erhöhte Aktivität bei Nordic-Hamstring-Übung -> diese Übung daher dringend in Reha integrieren)</p>	<p>j. Ist die Studie sinnvoll?</p> <p>Ja, sie zeigt den Unterschied des operierten Beines nach VKB-Rekonstruktion zum gesunden Bein.</p> <p>k. Werden Stärken und Schwächen aufgewogen?</p> <p>Ja, Limitationen werden gezeigt und die Autoren sind der kleinen Population gegenüber kritisch.</p> <p>l. Wäre es möglich die Studie in einem anderen klinischen Setting zu wiederholen?</p> <p>Ja, es könnten Elite-Rennfahrende aus anderen Ländern verglichen werden. In der Schweiz ist die Auswahl an Skirennfahrenden auf Elite-Niveau beschränkt.</p>