



CHALMERS



Kartläggning av ACL-skador inom alpin skidåkning

Redogörelse för skademekanismer och preventiva åtgärder

Kandidatarbete inom Fysik

Anna Carbell

William Lundqvist

Olle Mattsson

Niklas Jakobsson Sjöberg

Linnéa Sjöberg

Maja Skärby

Ordlista

Valguskraft/valgusbelastning	En valguskraft/valgusbelastning är en kraft/belastning som angriper på utsidan av benet och ger upphov till ett kraftmoment kring knät. Kraftmoment i knät motverkas av ligamenten och är momentet tillräckligt stort kan det resultera i brott. Beroende på vart kraften/belastningen angriper blir momentet olika stort.
Lateral slag	Ett lateralt slag är en valguskraft/valgusbelastning som angriper direkt i utsidan av knät. Här är hävarmen mellan knä och höft samt knä och fot som störst vilket resulterar i ett stort kraftmoment kring knät. Ett slag på utsidan av knät generera stor spänning och töjning i korsbanden.
Hamstring	Muskelgrupp i baksida lår som sträcker höften och böjer knäleden. Stark hamstring hjälper till att stabilisera knät och avlasta ligamenten i knät
Quadriceps	Muskelgrupp i framsida lår som används för att sträcka ut knät. Stark quadriceps hjälper till att stabilisera knät och avlasta ligamenten i knät.
Wobblar	Slira, kränga
Kantning	Kantning förekommer inom alpin skidåkning i samband med sväng. I svängen ställer åkaren upp skidorna på kant för att generera högre acceleration ut ur svängen.
Q-vinkel	Vinkeln mellan knäledens position i förhållande till höften. Kvinnor har generellt större q-vinkel då de har bredare bäcken än män.
Underkropp	Allt nedanför knät
Överkropp	Allt ovanför knät

Förord

Följande rapport är ett kandidatarbete vid Chalmers Tekniska Högskola skrivet på Sports & Technology, institutionen Fysik. Vi vill tacka vår handledare Magnus Karlsteen vid Sports & Technology som varit oss behjälplig under projektets gång men som framför allt gjorde kandidatarbetet möjligt. Vi vill också tacka Avdelningen för Fordonssäkerhet, Inst. Tillämpad mekanik där Karin Brolin och Jonas Östh hjälpt oss med den metodik som tillämpas vid skadepreventivt arbete.

Sammandrag

ACL-skador, främre korsbandsskador, är ett stort problem inom alpin skidåkning på elitnivå i världscupsammanhang. Mycket av dagens forskning uppmärksammar hur skadorna kan förebyggas genom preventiv träning och hur rehabilitering kan hjälpa åkaren att komma tillbaka efter en skada. Rubricerad studie ämnar därför att med ett ingenjörsmässigt förhållningssätt närma sig problemet genom att kartlägga vilka krafter och påfrestningar åkaren utsätts för i syfte att förstå vad som orsakar ACL-skadan. Metodiken som användes var en litteratursökning samt en videoanalys vilket la grund för kartläggning av skadeuppkomst. Litteratursökningen redogör för knäledens, ligamentens och skidutrustningens uppbyggnad och funktion samt vilka faktorer som inverkar vid en skada. Exempel på faktorer är grenspecifika skillnader, snöförhållanden och underlag samt fysiska och mentala skillnader mellan kvinnor och män.

Vid optimal skidföring kan de krafter som verkar på åkaren identifieras, vid en skada ställs dock högre krav på kraftanalysen. Rapporten visar att risken för ACL-skador ökar när åkaren är ur balans och hur det kan leda till en skademekanism som föregår skadan. Andra farliga skademekanismer som leder till brott på ACL är när en valguskraft angriper benet och ett kraftmoment kring knät uppstår. Moment i knät motverkas av ligamenten, vilket kan leda till att de går av.

Videoanalysen analyserar tre skadefall som visar att det är en kombination av flera faktorer som leder till en skademekanism och orsakar en ACL-skada. I analysen återfinns tre olika skademekanismer, *slip-catch*, *sittande bakåtvikt* och *valgus*, som leder till att ACL går av. Genom att förstå vilka krafter som verkar på åkaren i de olika skademekanismerna kan man genom att utveckla skyddsprinciper reducera skaderisken och förhindra att en ACL-skada uppstår.

Abstract

ACL injuries, anterior cruciate ligament injury, are a major problem in the Alpine Skiing World Cup. Earlier research focuses on how injuries can be prevented through preventive physical exercise and how skiers should rehabilitate after an injury. Hence, this study intends to approach this problem from a more technical point of view by studying forces and stresses. If the forces that expose the skier can be identified, a study can be made in order to investigate what causes the ACL injury. A literature search and a video analysis were used to identify injury mechanisms. The literature search explains the function and structure of the knee joint, ligaments and ski equipment. There are a lot of different factors that affects an injury such as the discipline, snow conditions and regulations as well as physical and mental differences between genders and skiers in general.

It is easy to identify the forces that expose the skier when the skier is in balance, however in an injury case the forces are difficult to identify and analyse. This report argues that the risk of ACL injuries increases when the skier is out of balance. This often precedes an injury mechanism. A valgus force to the knee is also identified as an injury mechanism, which in worst case leads to an ACL tear. The valgus force creates a torque on the ligament, which is the reason why it tears.

The video analysis studies three injury cases which all shows that a combination of several factors lead to the injury mechanism and causes the ACL injury. The analysis covers three different injury mechanisms: *slip-catch*, *sitting back weighted* and *valgus*. All mechanisms lead to ACL injuries. By analysing the forces that expose the skier, concepts regarding the equipment can be developed in order to prevent ACL injuries.

Innehållsförteckning

1. Inledning	6
1.1 Syfte	6
1.2 Avgränsningar	6
1.3 Rapportens disposition	7
2. Knäledens funktion och uppbyggnad.....	8
3. Dynamik och krafter i samband med alpin skidåkning	10
3.1 Balans i alpin skidåkning	10
3.2 Krafter på knäled.....	11
4. Skademekanismer som leder till ACL-skador	12
4.1 Slip-catch	12
4.2 Valgus.....	12
4.3 Sittande bakåtvikt.....	12
5.1 Väderberoende faktorer	13
5.2 Grenspecifika faktorer	13
5.3 Utrustning.....	14
5.3.1 Bindningar.....	14
5.3.2 Skidor	15
5.3.3 Pjäxor	17
5.4 Jämförelse mellan kvinnor och män	18
6. Videoanalys.....	19
6.1 Metod för kartläggning av faktorer och skademekanismer	19
6.2 Metod för beräkning av hastighet i Tracker	20
6.3 Resultat	20
6.3.1 Kartläggning av faktorer och skademekanismer.....	20
6.3.2 Beräkning av hastighet i Tracker	22
6.4 Diskussion	22
6.4.1 Kartläggning av faktorer och skademekanismer.....	22
6.4.2 Beräkning av hastighet i Tracker	23
7. Diskussion	24
7.1 Skyddsprinciper	26
7.2 Jämförelse mellan kvinnor och män	27
8. Vidareutveckling	29
9. Slutsats	31
10. Källförteckning	32

1. Inledning

Knäskador har länge varit ett stort problem inom alpin skidåkning. Enligt Internationella skidförbundets, FIS, sammanställning av skador inom världscupen mellan 2006-2015 framgår det att knappt två femtedelar av alla skador som sker drabbar knäna (FIS 2015). Drygt en tredjedel av dessa knäskador är främre korsbandsskador, även kallat Anterior Cruciate Ligament injuries, vilket hädanefter benämns ACL-skador. För att kunna kartlägga hur skadorna uppkommer måste knäts uppbyggnad och knäledens funktion redogöras för. Knät är kroppens största led och är en gångjärnsled. Inom idrotter där snabba riktningsförändringar och hastiga inbromsningar sker är knäskador vanligt förekommande. Idag arbetas det aktivt med att preventivt motverka ACL-skador genom att styrka musklerna runt knät. Att ha starka benmuskler hjälper till att stabilisera knät vilket minskar belastningen på led- och korsband. Således har det visat sig att det genom fysisk preventiv träning går att motverka uppkomsten av ACL-skador (Westin 2015; Ruedl 2011).

Internationella skidförbundet har försökt reducera skaderisken genom att förändra reglerna gällande skidutrustningen. Det är därför intressant att se om nya tekniska lösningar för utrustningen kan påverka omfattningen av skador. Hur ACL-skador uppkommer i samband med alpin elitskidåkning är ett komplext problem som kräver utredning av många olika parametrar; dels individspecifika egenskaper men också yttre faktorer som snöförhållande och ovan nämnda utrustning. Genom att studera de krafter som åkaren utsätts för under ett tävlingsåk kan en analys av åkarens rörelser ge en förståelse för vad som orsakar skadan. Genom att ur ett tekniskt perspektiv analysera olika skademekanismer som föregår en ACL-skada kan en djupare förståelse för skadans uppkomst fås.

1.1 Syfte

Följande projekt syftar till att ur ett tekniskt perspektiv ta fram en metodik över hur ACL-skadors uppkomst kan studeras i samband med alpin skidåkning och hur man kan förebygga dem. Fokus ska även läggas på könsrelaterade skillnader samt att belysa de faktorer som kan påverkas för att resonera kring hur eventuella skyddsprinciper kan reducera ACL-skadorna inom sporten.

1.2 Avgränsningar

Projektet är avgränsat till att endast studera elitskidåkare inom den alpina världscupen. Anledningen till det är att de satta tidsramarna för projektet utgör en begränsning i att genomföra en mer omfattande studie på fritidsåkare. Dessutom utgör elitskidåkare en homogen grupp som dokumenteras frekvent vilket erbjuder lättåtkomligt filmmaterial att analysera i videoanalysen. En begränsad budget och tillgång till filmmaterial från webbplatser utan upphovsrättsskyddat material var anledningen till avgränsningen mot just världscupen.

Projektet avgränsas helt från att utföra egna tester på grund av bristande tillgång till testutrustning. Istället används en videoanalys som metod för att kartlägga och analysera händelseförlopp och skademekanismer få en ACL-skada uppstår. Således är rapporten en kartläggning i syfte att lägga grund för fortsatt arbete inom ämnet.

1.3 Rapportens disposition

Haddon's matris är ett systematiskt perspektiv på skadeprevention som tydliggör att preventivt arbete är viktigt i alla faser av skadeförloppet och från olika parter för att lyckas. Matrisen är ett stöd för att välja strategi i preventionsarbetet. I varje ruta presenteras olika parametrar som alla påverkar risken att skada sig, se resultat i *tabell 1.3.1* nedan.

Tabell 1.3.1 – Haddon's matris över ACL-skador i samband med elitskidåkning i världscupsammanhang

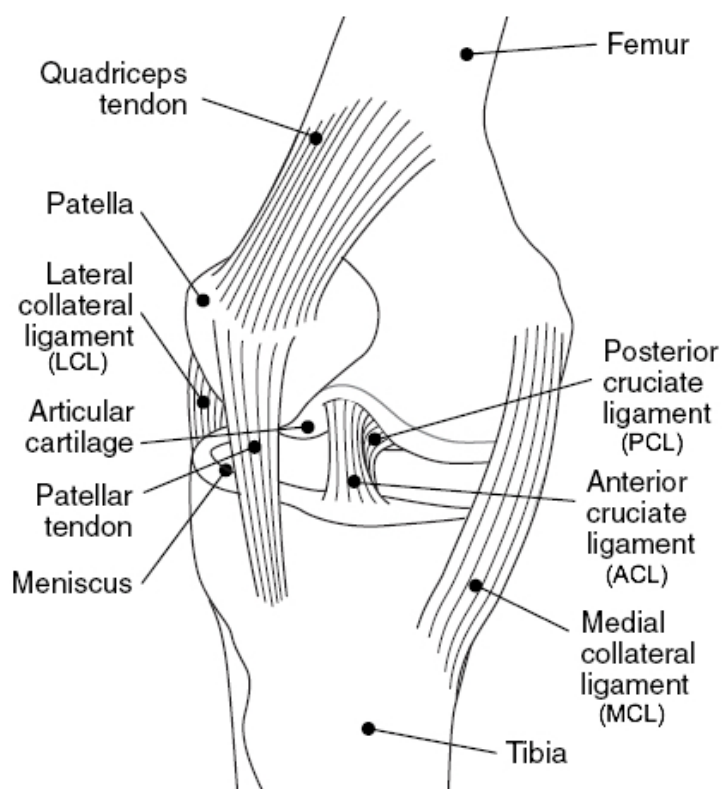
	Före olyckan	Under olycksförloppet	Efter olyckan
Individ	Träning Kunskap, utbildning Dagsform, värma upp Attityd; risktagande Kunna identifiera fara	“Ramla rätt” Identifiera att fara är nära	Rehab Attityd till rehab
Utrustning	Välja rätt utrustning med avseende på längd, bredd, hårdhet mfl Ställa in utrustningen rätt Utrustningen är hel	Bindningar löser ut Säkerhetsdräkt Ljudsignaler som indikerar höga hastigheter/stora krafter Aktiva stötdämpare i utrustningen	Sensor som memorerar data/krafter för att kunna utvärdera
Miljö	Besiktning av banan Anpassa bana efter snöförhållanden Likvärdiga snöförhållanden i hela banan Tydliga markeringar vid hinder	Underhålla/reparerera banan kontinuerligt Stängsel för att markera bangränser Kuddar på stolpar Ordentlig belysning	Säker transport - undvika sekundärskador Närhet till vårdpersonal

Med resultatet från matrisen som utgångspunkt kommer rapporten avhandla hur en ACL-skada uppkommer och vad det är som orsakar den. För att ur ett tekniskt perspektiv redogöra för vad som sker i själva skadetillfället krävs en förståelse för hur ligament i knät är uppbyggda och tar last. En kartläggning av de krafter som uppstår vid optimal skidföring krävs för att förstå samverkan mellan ligament, muskler, åkteknik och faktorer som påverkar åkaren. Med hjälp av kraftkartläggningen och videoanalysen kan olika skademekanismer som orsakar ACL-skadan identifieras.

2. Knäledens funktion och uppbyggnad

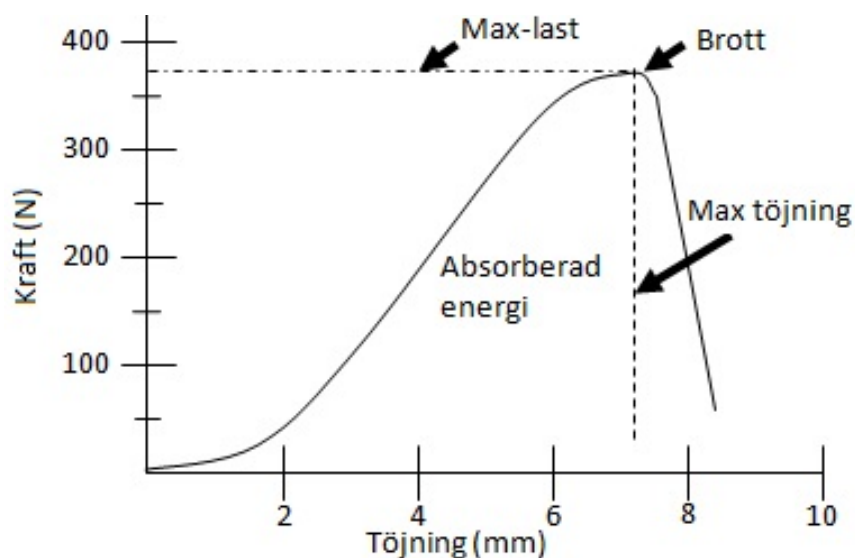
Knät är kroppens största led och fungerar som en gångjärnsled mellan lårbenet och de två underbenen. Stabiliteten i knäleden fås av kraftiga ligament som stabiliserar knät. Ligament är korta band, uppbyggda av fibrer, som binder samman benen i kroppen. Vid en muskelsammandragning bildas en kraft som överförs via senor till skelettet som därmed rör sig och en spänning uppstår i både ligament och skelett. Knäts uppbyggnad är komplext och kan röra sig i sex frihetsgrader; tre rikttningsgrader samt tre rotationsgrader. I knät finns fyra ligament; inre och yttre sidoligament (LCL och MCL) samt främre och bakre korsband (ACL och PCL), se *figur 2.1*. Sidoligamentens huvudfunktion är att stabilisera knät i sidled från valguskrafter medan främre och bakre korsband stabiliserar knät i böjriktningen (Girgis et al. 1975; Blacharski et al. 1975). Töjningen och graden av spänning som uppstår i ACL och PCL varierar och beror på böjningen av knäleden. Hur stora krafter knät kan ta upp varierar med vinkeln mellan lår- och smalben (Kapandji 1970).

Styvheten i leden varierar med storleken på kraften och det pålagda momentet. Vid låga krafter och moment är leden böjbar medan den vid högre krafter och moment blir styvare. Allra styvast är leden i utsträckt läge medan den efter ca 20 grader blir betydligt mer böjbar och rörlig i sidled (Andriacchi et al. 1983). Anledningen till att ligamenten har olika egenskaper vid olika laster beror på ligamentens struktur och uppbyggnad.



Figur 2.1-Knäleden

Fibrerna i ligamentet är från början inte sträckta utan ligger vågigt. Allteftersom det töjs belastas fler och fler fibrer vilket gör att ligamentet tar last enligt ett delvis olinjärt beteende, se diagram i *figur 2.2*. Vid maxlast är alla fibrer aktiverade och då kan inte ligamentet töjas mer vilket leder till brott.



Figur 2.2 - Kraft-töjningsdiagram över ligamentets förmåga att ta last (Tarang)

Ligamenten består till cirka två tredjedelar av vatten medan resten mestadels är fibrer av kollagenprotein. Kollagenfibrer är väldigt starka i fibrernas normalriktning, som exempel kan nämnas att kollagenfiber är starkare än en stålvaier av samma storlek. Kollagenfibrerna gör att knäleden kan ta upp krafter uppemot sju gånger kroppsvikten i vertikalt läge, trots det är knät väldigt känsligt mot horisontella krafter och vridrörelser under stor last. Därutöver består ligament av elastinfibrer, som är uppbyggda av ett annat protein, vilka kan sträckas och återgå till ursprungslängden likt ett gummiband. Elastinet ger ligamenten dess töjbarhet och får de mer spända kollagenfibrerna att återgå till ursprungslängden när ligamentet töjs.

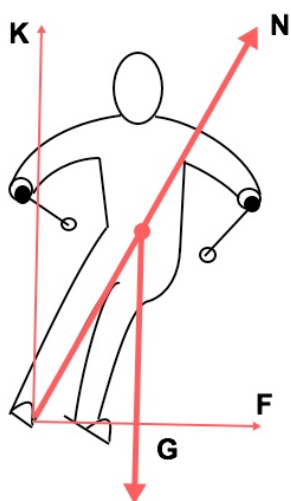
Av alla kroppens leder är knäleden den mest utsatta för idrottsskador, det beror på att knät förlitar sig på flera icke ligamentsberoende faktorer för stabilitet samt det faktum att knäna bär hela kroppens vikt. Generellt sätt är ligamenten som mest utsatta när benet är fullt sträckt eller vid böjning av knäleden de sista 30 graderna. Det är lägen då ligamenten är nära maximal töjning och därmed extra känsliga för slag. Allra farligast är laterala slag mot knät i utsträckt läge samt vridrörelser. Det ger stor belastning på både ACL och MCL och resulterar ofta i brott på något av ligamenten (Marieb 1998).

3. Dynamik och krafter i samband med alpin skidåkning

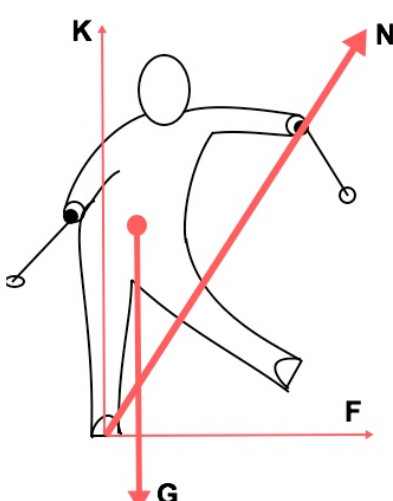
För att kunna kartlägga varför ACL-skador uppstår i samband med alpin skidåkning krävs en förståelse för vilka krafter som verkar på åkaren, dess dynamik och vad som sker i knäleden vid åkning. Vid optimal skidföring är det känt vilka krafter som verkar på åkaren när den är i dynamisk balans. Dynamisk balans innebär att åkaren är i balans i samband med rörelse, härnäst benämns det som balans. I samband med skador ställs analysen inför högre krav då krafterna blir mer komplexa. När åkaren är ur balans är det svårare att analysera krafternas storlek och riktning.

3.1 Balans i alpin skidåkning

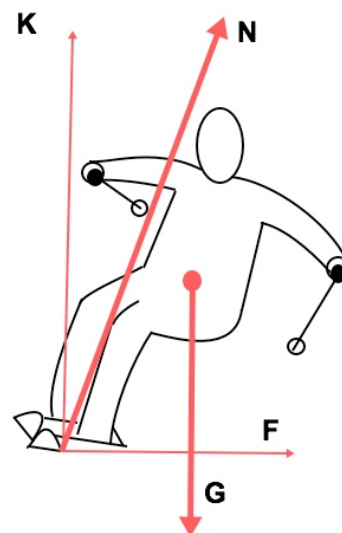
I samband med att åkaren svänger och ställer skidorna på kant uppstår en snöplatå mellan skidan och underlaget. Snöplatån som skidan vilar på skapar kontaktytan för normalkraften. Om åkaren ska kunna behålla sitt linjeval genom en sväng och generera hög acceleration krävs det att den befinner sig i balans för att inte ramla. Åkaren befinner sig i balans när normalkraften riktas genom masscentrum eftersom normalkraften då inte ger upphov till ett kraftmoment på åkaren, se *figur 3.1.1*. Om normalkraften hamnar innanför masscentrum kommer åkaren ur balans och får ett kast i masscentrums riktning likt det i *figur 3.1.2*. Åkaren kommer även ur balans om normalkraften riktas utanför masscentrum, i det här fallet kommer åkaren ramla på innerskidan, se *figur 3.1.3*. Således ökar risken för skador eftersom åkaren är i obalans.



Figur 3.1.1 - I balans



Figur 3.1.2 - Ur balans, kast



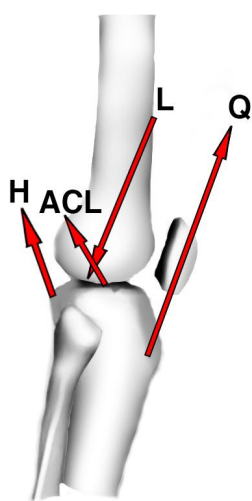
Figur 3.1.3 - Ur balans, innerskida

När en skida kantställs i samband med sväng bildas en kraftkomposant (kraft F i *figur 3.1.1–3.1.3*) parallellt med underlaget, också kallat centripetalkraften. Genom att ändra kantvinkeln på skidan ändras storleken och riktningen på normalkraften.

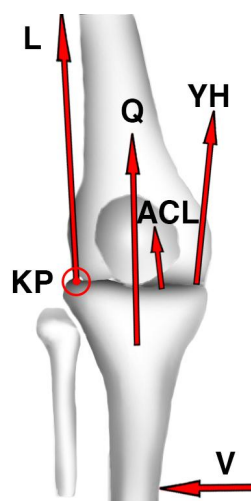
Kantvinkeln kan justeras med hjälp av fotled, knäled, höftled eller hela kroppen. I en sväng uppstår flera krafter mellan underlaget och utrustningen (skida, platta och pjäxa). Med sin åk teknik måste åkaren kunna vinkla, kanta och placera skidorna i svängen för att stå emot krafterna som uppstår och bibehålla den tänkta svängen. Vid bristande åk teknik och muskelstyrka riskerar åkaren att sladda, utföra en mindre optimal sväng eller komma i obalans och således öka risken för skada.

3.2 Krafter på knäled

Figur 3.2.1 nedan illustrerar hur muskler och ligament samspelar för att stabilisera benet och skapa jämvikt. I figuren belastas främre korsbandet (ACL) av stor kraft på grund av aktivitet i quadriceps (Q), framlårsmuskeln. Ledkontaktskraften (L) och hamstring (H), baklårsmuskeln, reducerar denna kraft och skyddar ACL från för hög belastning.



Figur 3.2.1 – Fall A



Figur 3.2.2 – Fall B

Figur 3.2.2 illustrerar ett annat fall, där benet påverkas av en extern kraft i form av valgusbelastning (V). Belastningen (V) på benets yttersida resulterar i att ledkontaktskraften (L) förskjuts mot knäts inre sida. Momentjämvikt runt kontaktpunkten (KP) visar att både quadriceps (Q) och yttre delen av hamstring (YH) hjälper korsbandet att motverka rotationen som uppstår av belastningen (V). Även det yttre sidoligamentet hjälper till, men är inte utmålade i figuren. Fall A och B förklarar hur musklerna hjälper till att stabilisera knät. Svaga quadriceps (Q) och yttre delen av hamstring (YH) medför högre krafter och belastningar på ligamenten (ACL och yttre sidoligamentet). Om kraftmoment kring knät uppstår ökar risken för skador, främst ACL-skador (Hewett et al. 2005). Därför läggs idag stort fokus på preventiv träning då många ligamentskador kan förebyggas genom att styrka musklerna kring knät (Westin 2015).

4. Skademekanismer som leder till ACL-skador

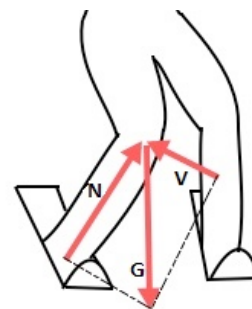
För att förstå vad som faktiskt sker när en skada uppstår måste åkarens rörelser analyseras vid skadefallet. Det är komplext att identifiera den exakta rörelsen som orsakar en skada, men för att få en förståelse kan olika skademekanismer studeras. En skademekanism är det som föregår en skada, alltså ett kort händelseförlopp av en sammantagen rörelse. Tone Bere menar på att i världscupsammanhang inom alpin skidåkning är en av de vanligaste skademekanismerna *slip-catch* (Bere et al. 2013). Andra vanligt förekommande mekanismer är *valgus*, *sittande bakåtvikt* samt en kombination av dessa i samband med hopp. Följande avsnitt beskriver vad som sker i respektive skademekanism.

4.1 Slip-catch

En *slip-catch* uppstår i en sväng när åkaren tappar trycket (*slip*) på ytterskidan följt av att ytterbenet sträcks ut och fastnar abrupt på innerkanten (*catch*). Den abrupta inbromsningen gör att nedre delen av kroppen, allt under knät, tvärstannar för ett ögonblick. Överkroppen, allt över knät, kommer då fortsätta framåt i åkriktningen på grund av kroppens tröghetsmoment. Detta ger en acceleration mellan under- och överkropp som retarderas av muskler och ligament i knäna. De utsätts därmed för hög kraft som genererar en ökad risk för skada. Kraften är proportionerlig mot åkarens massa och accelerationsskillnaden.

4.2 Valgus

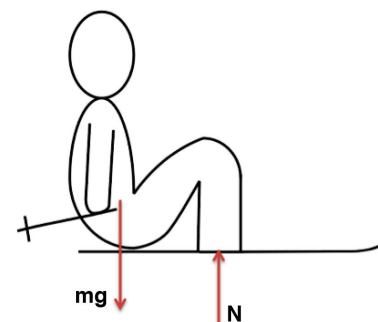
Om åkaren hamnar i *valgus* kommer kraften (G) riktas mot underlaget enligt figur 4.2.1. Kraftresultanterna (N) och (V) måste tillsammans motverka kraften G . Storleken på V bestäms av vinkeln mellan benet och marken och måste till stor del tas upp av ligamenten. En för stor kraft V riskerar att resultera i ACL-skada.



Figur 4.2.1 - Krafter i knät vid valgus

4.3 Sittande bakåtvikt

Att hamna i *sittande bakåtvikt* är en vanligt förekommande skademekanism, se figur 4.3.1. Åkaren hamnar med tyngdpunkten långt bak på skidorna med höften nedanför knäna. Ligamenten befinner sig då i ett utsträckt läge och blir extra känsligt för slag och stötar. Ett slag från underlaget kan då generera en kraft som blir alldeles för stor för ligamenten att ta upp och kan resultera i brott.



Figur 4.3.1 - Krafter vid sittande bakåtvikt

5. Faktorer som påverkar vid uppkomsten av en ACL-skada

Varför åkaren hamnar i obalans och en skademekanism uppstår beror på olika faktorer. Faktorer som spelar in är väderförhållanden, grenspecifika skillnader och val av utrustning (Bere et al. 2011c; Westin 2015). Ur ett preventivt perspektiv är det också intressant att studera åkteknik samt skillnader mellan män och kvinnor då de har olika förmåga att bygga muskler. Nedan redogörs för olika faktorer som alla kan inverka vid uppkomsten av en ACL-skada.

5.1 Väderberoende faktorer

Väder, sikt och snöförhållanden är faktorer som inte går att påverka, men alla bidrar till uppkomsten av skador. Dålig sikt kan orsakas av ostadigt väder som regn och snöfall då nederbörden ofta lägger sig som en hinna på glasögonen och skymmer sikten för åkaren. Även dimma och mulet väder har stor påverkan då mulet väder kan leda till flatljus. Flatljus resulterar i att backens terräng och konturer, framför allt vid hopp och backkrön, blir svåra att avläsa. För att underlätta sikten vid tävling har man därför blåa markeringar som förtydligar svängar och krön vid hopp genom hela banan. Är markeringarna dåligt ifyllda har åkaren svårare att utläsa konturerna vilket kan medföra att risken för skador ökar (Bere et al. 2011a).

Ostadigt väder som regn och snöfall påverkar inte bara sikten utan även underlaget. Underlaget påverkas även av temperaturförändringar, vid plusgrader finns risk för blöt och tung snö medan det vid minusgrader kan bli hårt och isigt. Temperaturen varierar också med höjdskillnader vilket gör att underlaget är hårdare högre upp i banan än vad det är i den nedre delen. En av de största svårigheterna under ett åk är det växlande underlaget (Spörri et al. 2012a). Den skiftande kvaliteten på underlaget bidrar till en stor skaderisk då det är svårt för åkaren att anpassa sin åkteknik och utrustning därefter. Det framkommer även att ett isigt underlag är bättre än ett underlag med aggressiv snö. Den aggressiva snön är kompakt och svarar snabbare på åkarens indikationer vilket gör att skidan skär fast lättare.

5.2 Grenspecifika faktorer

I världscupen tävlar man i fyra olika discipliner; slalom, storslalom, super-G och störtlopp. De fyra grenarna brukar delas in i tekniska grenar; slalom och storslalom samt fartgrenar; super-G och störtlopp. Internationella skidförbundet har grenspecifika regler för tävlingar inom varje disciplin. Förutom krav på utrustning finns också direktiv på hur terrängen ska se ut. Fallhöjd och längd varierar mellan disciplinerna med högst fallhöjd och längst bana för störtlopp följt av super-G, storslalom och slalom. Därutöver finns krav på skillnader i bansättning där det är flest riktningsförändringar per meter i slalom och minst i störtlopp (FIS 2015). De grenspecifika regelkrav som finns medför att hastigheten i de olika disciplinerna varierar vilket är intressant med tanke på att hastighet tas upp som en av de största riskfaktorerna i flera studier kring skadefaktorer (Bere et al. 2013; Krosshaug et al. 2006).

Bansättningen är också en faktor som flera åkare och professionella i branschen tror påverkar skaderisken inom alpin skidåkning (Spörri et al. 2012a). Det är allmänt känt att fler portar och ett längre horisontellt avstånd mellan portarna genererar lägre hastigheter för åkarna, vilket i sin tur ökar centripetalkraften. Den tuffare åklinjen gör att åkaren riskerar att hamna i obalans för att bibehålla åklinjen.

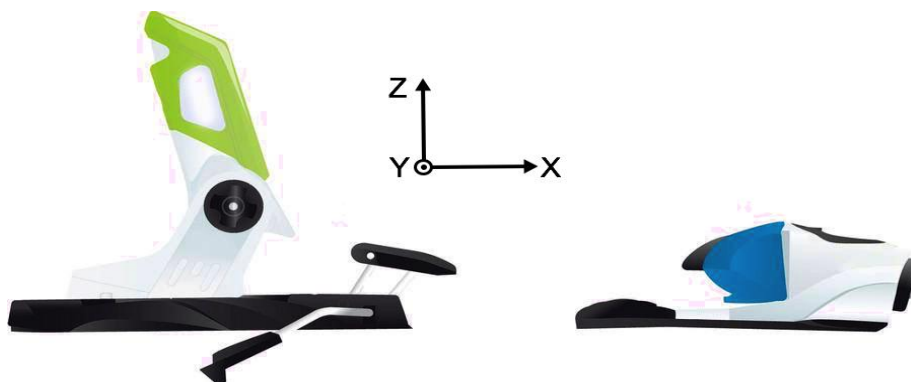
Resultatet av det här kan vara att åkaren blir tröttare (Spörri et al. 2012b), vilket har bevisat en negativ inverkan på balansen (Qu et al. 2009; Simoneau et al. 2006) och rankades som den tredje enskilt största risken till en skada (Spörri et al. 2012a). Merparten av alla skador inom alpin skidåkning sker i den sista fjärdedelen av ett åk vilket kan vara en följd av tröttheten (Bere et al. 2013). Inom super-G och störtlopp verkar skador däremot bero på höga hastigheter och hopp medan skador inom storslalom kan bero på stora krafter i svängarna (Gilgien et al. 2014).

5.3 Utrustning

För att maximera prestanda och förebygga skador vid alpin skidåkning läggs stort fokus vid val av utrustning. Internationella skidförbundet har sedan flera år tillbaka ett regelverk med bestämmelser över hur skidutrustning ska vara utformad i världscupsammanhang. FIS regelverk innefattar bland annat mått, vikter och toleranser (*se bilaga A, tabell 1*). Reglerna är till för att skydda åkaren då utrustningens utformning påverkar hur stora krafter åkaren utsätts för under ett åk. Nedan följer en beskrivning av skidutrustningens olika delar och funktioner för att kunna förstå hur den kan ses som en riskfaktor vid uppkomsten av ACL-skador.

5.3.1 Bindningar

Bindningen är i huvudsak uppbyggd av två delar som tillsammans fixerar pjäxans tå respektive häl på skidan. För att undvika skador är det viktigt att bindningen har förmågan att lösa ut, det vill säga frigöra åkaren från skidan när den ramlar. Enligt koordinatsystemet i *figur 5.3.1.1* nedan löser bindningens främre del ut vid höga rotationskrafter runt z-axeln medan bindningens bakre del löser ut i z-led till exempel då åkaren faller framåt (Mechanics of Sport 2016). En alpin bindning är inte konstruerad att lösa ut vid bakåtvikt, det vill säga i tåns z-led. Däremot flexar bindningens främre del vid höga krafter i samband med bakåtvikt för att minska belastningen på knäna. Även om det är möjligt att en frihetsgrad av detta slag skulle leda till färre ACL-skador finns risk att andra skador skulle öka istället.



Figur 5.3.1.1 - Skidbindning med koordinatsystem

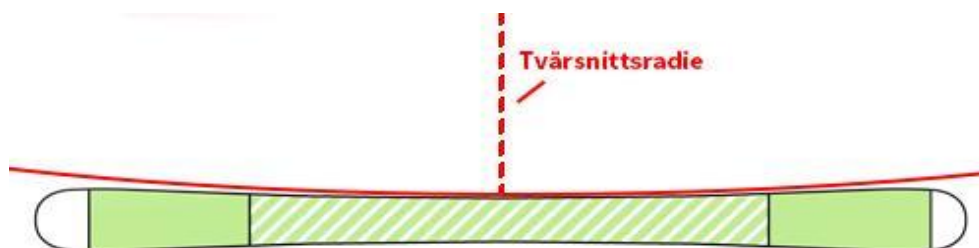
Hur stor kraft som fordras för att bindningen ska lösa ut avgörs av styvheten i två fjädrar, en i vardera del av bindningen. Fjädrarna kan spännas efter behov, där man vanligtvis utgår från fyra kriterier; åkarens vikt, längd, pjäxstorlek samt skicklighet. Styvheten mäts i en så kallad DIN-skala som varierar enligt dessa fyra kriterier; ju styvare fjäder desto mer kraft krävs för att lösa ut bindningen.

Avancerade åkare tenderar att åka mer aggressivt. Det resulterar i slag på skidorna, vilket medför att pjäxan wobblar i bindningen. I och med detta kommer pjäxan ibland befinna sig utanför optimal position, det vill säga ej centrerad i bindningen. En för löst spänd fjäder klarar inte av att returnera pjäxan till optimal position mellan slagen. Flera påföljande slag kan därför leda till att bindningen felaktigt löser ut mitt under åkningen. För att försäkra sig om att ovanstående inte inträffar under ett tävlingsåk väljer många elitåkare att spänna fjädern hårdare än rekommenderat, ibland upp mot 30 på DIN-skalan. Det kan jämföras med en avancerad fritidsåkare som ofta rekommenderas ett DIN-värde mellan 6 och 10. När fjädern spänns så hårt som upp mot 30 på DIN-skalan motverkas att bindningen löser ut vid oväntade tillfällen, men det kan också innebära att skidan inte löser ut när åkaren ramlar vilket ofta är en anledning till skador.

5.3.2 Skidor

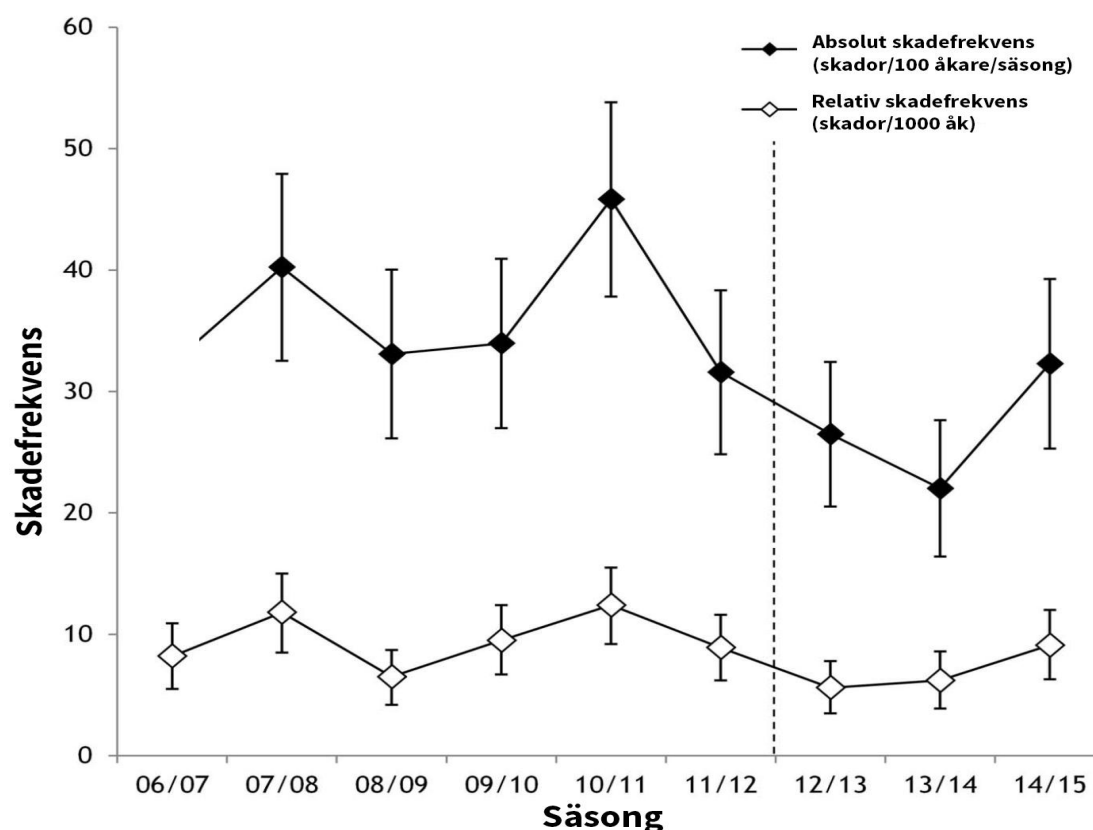
I de tekniska disciplinerna slalom och storslalom vill man generellt sett ha kortare skidor än i fartgrenarna super-G och störtlopp. Hur långa skidorna får vara i varje disciplin är reglerat i FIS reglemente, dock har åkaren rätt till mindre justeringar för att anpassa skidan efter sin kroppslängd och åkteknik. Fördelen med en lång skida är att den är bättre på att ta upp krafter och är stabilare vid höga hastigheter vilket premieras i fartgrenarna, medan en kort kvick skida är att föredra i de tekniska disciplinerna (Senner et al. 2013). Genom åren har skidan genomgått många förändringar. Den mest påtagliga förändringen i modern tid var införandet av carvingskidan, som till skillnad från äldre skidors raka utformning har ett timglasliknande utseende (Haaland et al. 2015). När skidan kantställs tvingar timglasformen skidan till att bilda en båge, vilket resulterar i en svängande rörelse. Carvingskidan gör det möjligt att behålla skidorna i färdriktningen även i sväng vilket möjliggör för skidåkaren att bevara farten genom svängen. De äldre raka skidorna krävde att åkaren ställde skidorna parallellt med färdriktningen för att svänga, vilket resulterade i en sladdande uppbromsning.

Ur utrustningssynpunkt är det mestadels skidans svängradie som avgör hur stor kraft i en sväng som påverkar åkaren. Det som avgör svängradien är skidans tvärsnittsradie, *se figur 5.3.2.1*, skidans böjbarhet samt stålkantens vinkel (Haaland et al. 2015). En längre svängradie medför lägre kraft på åkaren medan kraften ökar i takt med minskning av radien. I ett försök att minska skaderisken gjorde FIS förändringar i sitt reglemente inför säsongen 2012/2013. Tvärsnittsradien ökades för alla discipliner utom slalom, vilket resulterade i en längre, rakare och mindre aggressiv skida. Storslalomskidan genomgick den största förändringen, där svängradien ändrades från 27 m till 35 m för män respektive 23 m till 30 m för kvinnor (Haaland et al. 2015).



Figur 5.3.2.1 - Illustration av en skidas tvärsnittsradie

Regelförändringen ledde till en betydligt lägre absolut skadefrekvens (skador/100 åkare/säsong) för män, medan skadefrekvensen för kvinnor förblev oförändrad (Haaland et al 2015). I figur 5.3.2.2 nedan illustreras den sammanlagda skadefrekvensen för kvinnor och män under nio säsonger. Huruvida skademinskningen beror direkt av regelförändringen är dock svårt att avgöra då flera faktorer spelar in, men det är intressant att notera skillnaden mellan män och kvinnor då faktorer som snöförhållanden, väder och sikt bör ha varit liknande.

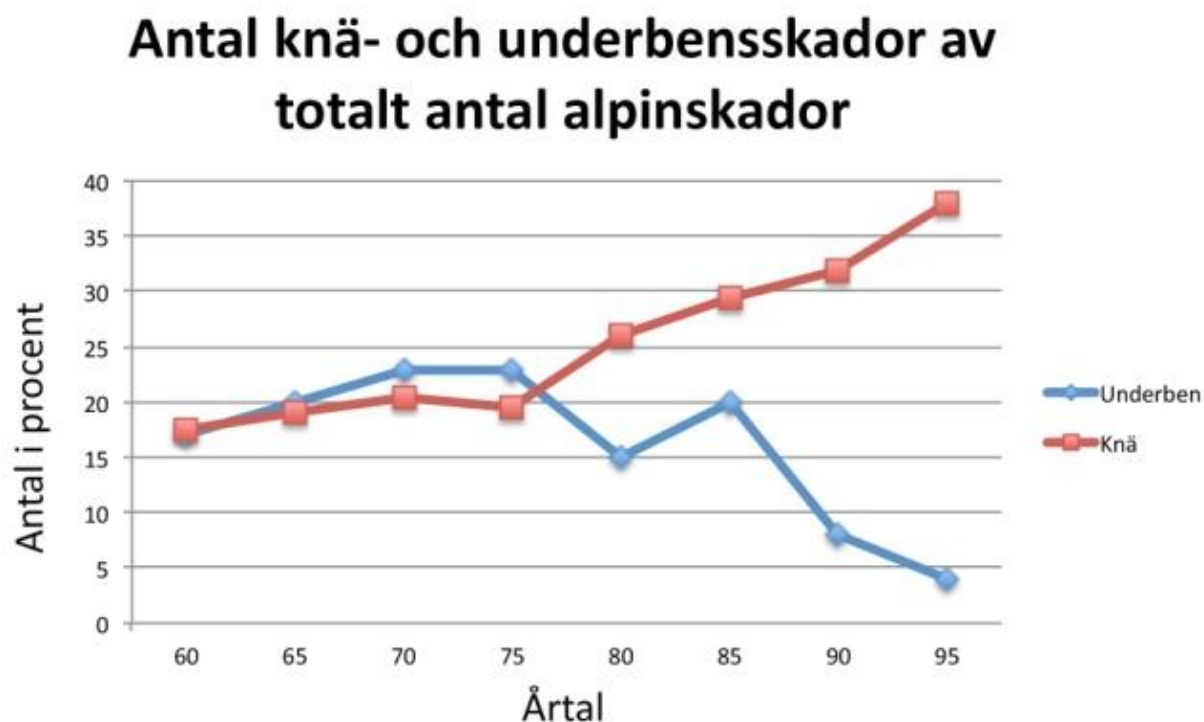


Figur 5.3.2.2 - Absolut- och relativ skadefrekvens för alla discipliner i den alpina världscupen under nio säsonger (2006-2015), beräknat med 95% konfidensintervall. Den streckade linjen illustrerar tidpunkten då de nya regelkraven på utrustningen infördes (Haaland et al 2015).

Utöver svängradie finns en rad bestämmelser över hur skidan får vara konstruerad, så som skidans bredd under bindningen och pjäxans höjd över underlaget se *bilaga A, tabell 1*. Ett större avstånd mellan underlag och pjäxa underlättar kantning och förebygger att pjäxan kommer i kontakt med snön, vilket kan resultera i att åkaren tappar fäste. För att öka avståndet utrustas vissa skidor med en distansplatta mellan skida och bindning. Då det kan ge en orättvis fördel och vissa forskare menar att distansen till underlaget leder till högre ansträngning på knäna (Gilgien et al. 2016), är total höjd för skida, platta och bindning begränsad till 5.0 cm.

5.3.3 Pjäxor

På grund av höga krav på stabilitet och förändrad åkteknik har pjäxans utformning förändrats genom historien. I början på 1970-talet användes läderpjäxor, vilka likt en vanlig sko fästes på foten med hjälp av snörning. Under 70-talet ersattes lädret med hårdplast och snörningen med spännen, vilket än idag är grundutförandet för en alpinpjäxa. Dagens pjäxa är robust och erbjuder en dämpande effekt mot slag och stötar (Röhrl 1995). Hårdheten i en pjäxa kan variera enligt något som kallas flex. En elitåkare använder generellt sett en hårdare pjäxa med högre flex då den är styvare och svarar bättre på rörelser (Mechanics of Sport 2016).



Figur 5.3.3.1 - skadestatistik för knä- och underbensskador sett till totalt antal alpinskador under år 1960-1995 (Röhrl 1995).

Den nya plastpjäxan som introducerades under 70-talet krävde en ny fästnanordning på skidan. Resultatet blev en bindning med utlösningssfunktion vilken ligger till grund för utformningen till hur en bindning ser ut idag. I samband med introduktionen av den nya utrustningen i mitten på 70-talet visar graferna i *figur 5.3.3.1* en skillnad i skadestatistik. Underbensskador minskade drastiskt medan antalet knäskador istället ökade. En högre och hårdare pjäxa verkar skydda foten och underbenet, men samtidigt öka risken för knäskador.

5.4 Jämförelse mellan kvinnor och män

Knäskador är inte bara ett vanligt problem inom alpin skidåkning utan också i andra idrotter där det sker snabba riktningförändringar och hastiga inbromsningar. En intressant detalj är att i flera av dessa sporter så som fotboll, basket och handboll är knäskador och framförallt ACL-skador vanligare bland kvinnor än män (Arendt et al. 1995; Mykleburst et al. 1997; Hewett et al. 2010). Inom alpin skidåkning på elitnivå finns studier som visar att det är vanligare med ACL-skador bland kvinnor, (Stevensson et al. 1998; Stenroos et al. 2014; Raschner et al. 2012) medan andra studier inte visar på någon skillnad alls mellan könen (Bere et al. 2013; Flørenes et al. 2009; Pujol et al. 2007). De som ser en skillnad har granskat tävlingsåkare med en medelålder på under 20 år medan studierna som inte visar på någon skillnad utgår från världscupåkare med en högre medelålder (Stevensson et al. 1998; Stenroos et al. 2014; Raschner et al. 2012). Generellt sett skadar sig män i större utsträckning än kvinnor i världscupsammanhang. Skadorna är i regel av sådan karaktär att männen är borta längre period än motsvarande skador för kvinnor, förutom när det gäller ACL-skador (Bere et al. 2013). En anledning till det kan vara att tävlingarna för män och kvinnor ser olika ut. Män tävlar oftast i backar med högre höjdskillnad och därmed i högre hastigheter (FIS 2015).

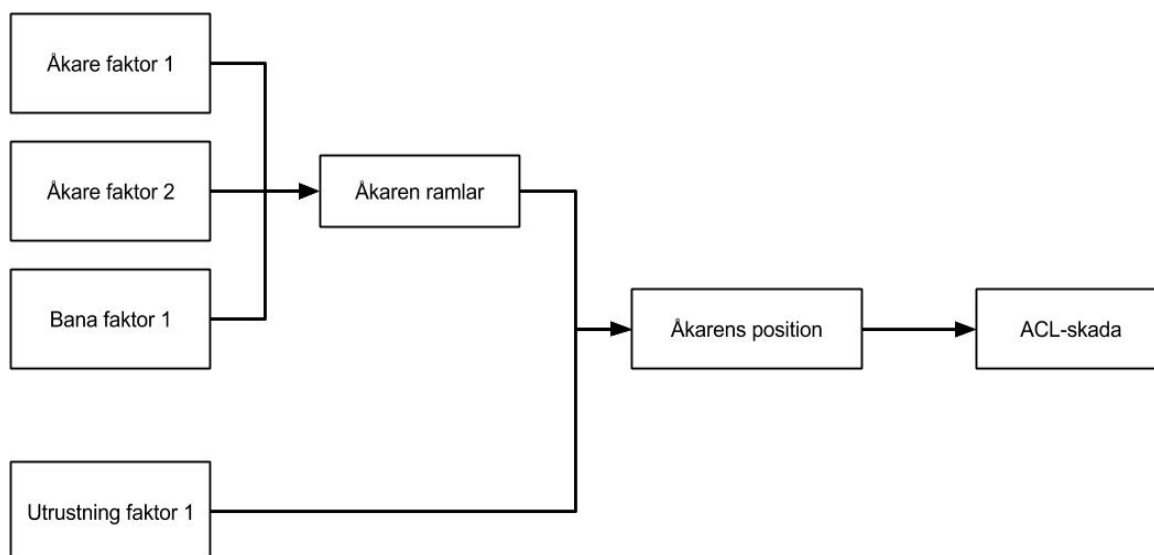
Det är vanligare att ådra sig en ACL-skada i vänster knä jämfört med höger. Det kan bero på att fler personer i regel är högerfotade och därmed har både bättre koordination och styrka i det benet (Westin 2015). En stor bidragande orsak vid skador är utmattning hos åkaren vilket gör att den får svårare att parera fel och hålla balansen. En av de viktigaste preventiva faktorerna kan därför vara att ha god fysik och muskulatur. Varför kvinnor ofta drabbas av ACL-skador kan vara att de generellt sett har större skillnader i muskelstyrka mellan höger och vänster ben än vad män har (Ruedl et al. 2012). Unga kvinnor är ofta fysiskt inte redo för de krafter som uppstår vid tävlingsåkning på högsta nivå (Spörri et al. 2012a). Det här kan vara anledningen till varför unga kvinnor skadar sig i större utsträckning än unga män. Studeras istället fritidsåkare blir skillnaderna mellan könen tydligare där kvinnor löper upp till två gånger högre risk än män att ådra sig en ACL-skada (Ruedl et al. 2012; Ruedl et al. 2015). Varför skadeuppkomsten skiljer sig mellan kvinnor och män kan bero på skillnader i anatomi, hormoner och muskelstyrka.

6. Videoanalys

Syftet med videoanalysen är att analysera olycksfall då ACL-skador uppstår och få en förståelse om vad som händer när skadan sker. Det är dock viktigt att ha i åtanke att det inte går att avgöra exakt när skadan inträffar då det kan variera från det att åkaren tappar balansen till att den har ramlat och förblir stillaliggandes. Därför görs en bedömning när skadan med störst sannolikhet uppstår. För att hitta videomaterial att analysera användes videoklipp från webbplatser utan upphovsrättsskyddat material, i det här fallet filmer från Yuotube med 25 bildfrekvenser per sekund. Från tävlingarna i den alpina världscupen finns offentligt videomaterial vilket gör att analysen har baserats på tävlingsåk. Nedan presenteras en videoanalys som är uppdelad i två delar; den ena delen syftar till att kartlägga faktorer vid olika skadefall och den andra används för att beräkna åkarens hastighet.

6.1 Metod för kartläggning av faktorer och skademekanismer

De skadetabeller som tog fram för kartläggningen av faktorer baserades på Beres (2013) metod att analysera ACL-skadors uppkomst, *se bilaga B*. Tre filmer analyserades och utifrån dem sammanställdes tre olika skadetabeller med information om varje åkare, beskrivning av det specifika skadefallet och framtagning av flödesschema. En sammanfattning av skadetabellerna presenteras i flödesscheman i rapporten. Schemat presenterar vilka faktorer som samverkar vid uppkomsten av en ACL-skada och bygger på modellen i *figur 6.1.1* (Sandin 2008).



Figur 6.1.1 - Flödesschema för ett generellt skadefall

6.2 Metod för beräkning av hastighet i Tracker

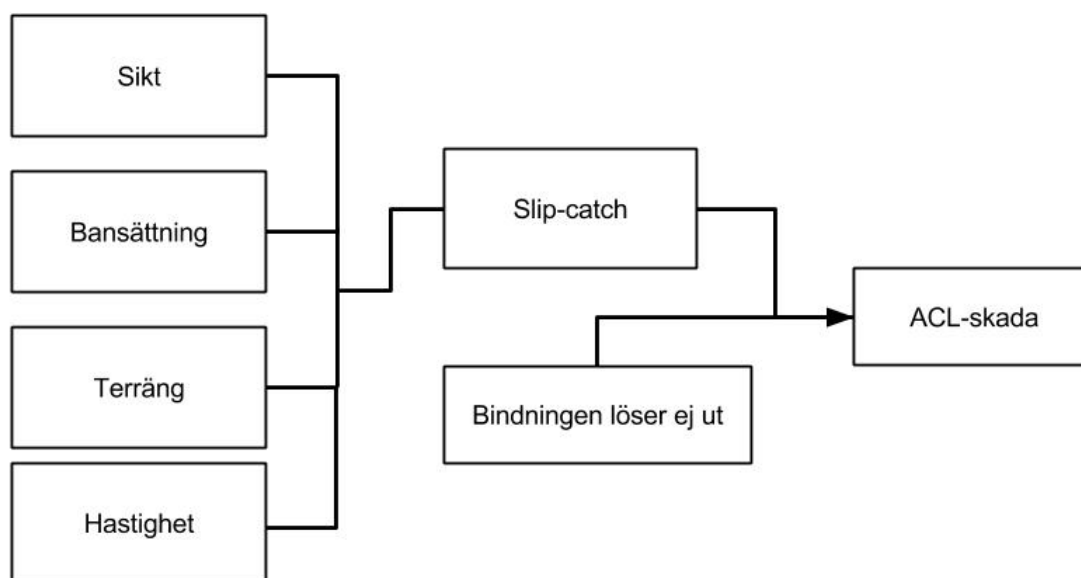
Utifrån videoklippen beräknades åkarens hastighet med hjälp av programvaran Tracker. Syftet med beräkningarna är att ge en ökad förståelse för vid vilken hastighet skadan eventuellt kan ha inträffat. På grund av dålig kvalitet kunde dock bara två av de tre klippen analyseras. Ett koordinatsystem infördes i videomaterialet där origo justeras för varje bildfrekvens genom att markera referenspunkter i bakgrunden. Origo måste omdefinieras på grund av att kameran inte är stationär utan förflyttas med åkaren. För att se hur åkaren förflyttas i koordinatsystemet markeras även åkarens masscentrum i varje bildfrekvens. Beräkning av hastighet kräver kalibrering av bildfrekvenser per sekund och referensmått på en av åkarens skidor för att ha en korrekt skala av tid och avstånd.

6.3 Resultat

Nedan presenteras resultatet från kartläggningen av faktorer för de tre olika skadefallen samt uppmätta hastigheter från två av fallen.

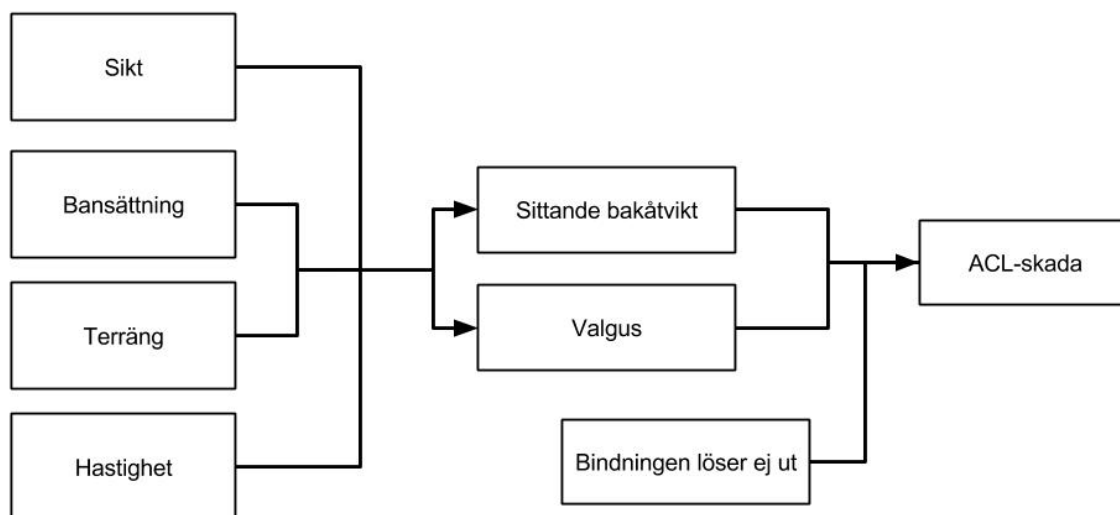
6.3.1 Kartläggning av faktorer och skademekanismer

Det första skadefallet som analyserades var Aksel Svindals ACL-skada i störtloppsvärldscupen. Av flödesschemat i *figur 6.3.1.1* nedan framgår det att sikt, bansättning, terräng och hastighet var faktorer som ledde till en *slip-catch* vilket i sin tur i samband med att bindningen inte löste ut ledde till en ACL-skada i höger knä. En mer utförlig beskrivning av fallet finnes i *skadetabell 1, bilaga B*.



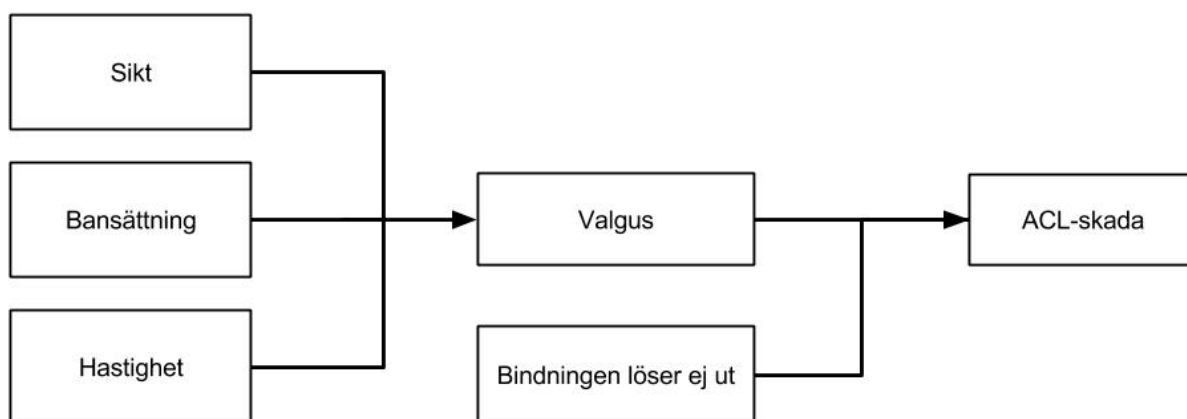
Figur 6.3.1.1 - Skadefall 1; åkare Aksel Svindal i världscupen i störtlopp, Kitzbuel säsongen 2016

Skadefall 2 är en analys av Georg Streitbergers skada i samma tävling som Aksel Svindal ovan. Från *figur 6.3.1.2* framgår det att faktorerna är desamma som i skadefall 1 ovan, men i Georgs fall är det *sittande bakåtvikt* i kombination med *valgus* och att bindningen inte löste ut som leder till en ACL-skada. Även här är det höger knä som drabbas. Se utförlig beskrivning av skadefallet i *skadetabell 2, bilaga B*.



Figur 6.3.1.2 - Skadefall 2; åkare Georg Streitberger i världscupen i störtlopp, Kitzbuel säsongen 2016

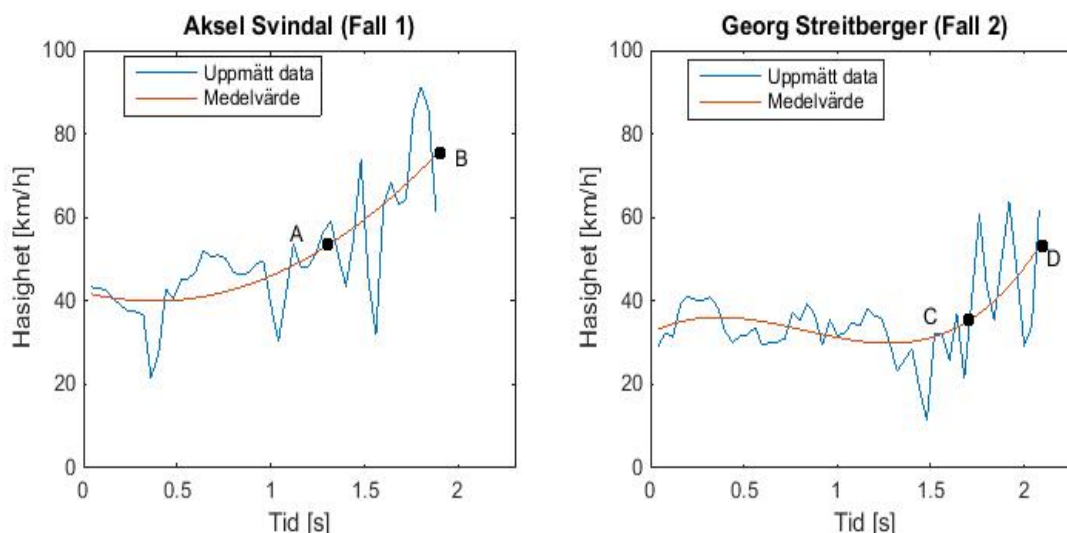
Det sista skadefallet baseras på Lindsey Vonn, alpina VM i super-G 2013. Flödesschemat i *figur 6.3.1.3* visar att sikt, bansättning och hastighet var faktorer som ledde till att åkaren landade på innerkanten av den högra skidan vilket ledde till en *valgus* som i samband med att bindningen inte löste ut resulterade i en ACL-skada. I *skadetabell 3, bilaga B* finns en fullständig redogörelse för analysen.



Figur 6.3.1.3 - Skadefall 3; åkare Lindsey Vonn i alpina VM i super-G, Schladming säsongen 2013

6.3.2 Beräkning av hastighet i Tracker

Två grafer över Aksel Svindal och Georg Streitberger plottades i Tracker som visar åkarnas uppmätta hastighet samt ett beräknat medelvärde av hastigheten, se *figur 6.3.2.1*.



Figur 6.3.2.1 - grafer över Aksel Svindal och Georg Streitberger hastigheter vid skadetillfället. Den blå linjen motsvarar uppmätt hastighet och den röda motsvarar ett beräknat medelvärde av hastigheten.

Markeringarna A-D i graferna motsvarar tidpunkterna då åkarna tappar balansen och när de slutligen trillar. Aksel Svindal uppskattas från grafen tappa balansen vid 55 km/h (markering A) och sedan trilla vid 75 km/h (markering B). Georg Streitberger uppskattas från grafen tappa balansen vid 35 km/h (markering C) och vid 55 km/h (markering D) trillar han.

6.4 Diskussion

Nedan presenteras begränsningar och svårigheter med ovanstående genomförd videoanalys. Diskussionen redogör för vilka likheter som finns mellan de tre analyserade skadefallen. Den stora begränsningen i videoanalysen är Trackers otillräcklighet vid analys av rörelse i tre dimensioner i kombination med relativt låg upplösning i det videomaterial som analyserats.

6.4.1 Kartläggning av faktorer och skademekanismer

De begränsningar och svårigheter som stötts på i samband med kartläggning av faktorer och identifiering av skademekanismer har varit att hitta högupplöst videomaterial från webbplatser utan upphovsrättsskyddat material. Således har endast tre skadefall kunnat analyseras där två stycken är från samma tävling. Trots det begränsade utbudet har videoanalysen kunnat användas som ett verktyg för att kartlägga faktorer. Analysen visar att det inte är en enskild faktor som förklarar orsaken till en ACL-skada utan att det är flera faktorer i kombination med varandra som leder till att åkaren tappar kontrollen och hamnar i obalans. När åkaren är ur balans har den inte samma möjligheter att korrigera för misstag vilket leder till en skademekanism som i de analyserade fallen antingen är en *slip-catch*, *sittande bakåtvikt* eller en *valgus*.

Det skadefallen har gemensamt är skadan sker i samband med landning efter ett hopp. Landningen försvåras av att sikten över krönet är begränsad på grund av mulet väder eller flatljus och åkarens höga hastighet över hoppet gör korrigering av landningen mer komplicerad. Bindningen löser inte ut i något av fallen vilket kan vara en bidragande orsak till skadornas uppkomst. I två av de tre analyserade fallen sker skadetillfället i slutet av banan där trötthet kan vara en anledning till att åkarna har svårt att parera de krafter som uppstår i samband med landning. Ytterligare en gemensam faktor är att alla analyserade skador sker i fartgrenar; störtlopp och super-G. ACL-skador inom fartgrenarna orsakas av höga hastigheter och hopp, vilket överensstämmer med ovanstående analys (Gilgien et al. 2014).

6.4.2 Beräkning av hastighet i Tracker

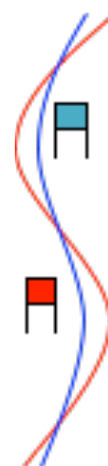
Det finns flera parametrar som minskar noggrannheten av den beräknade hastigheten i Tracker. En av dessa parametrar är faktumet att skidornas längd, vilka används som referensmått för att kalibrera avståndsrelaterade mått, kan enligt FIS reglemente variera med ± 5 cm under tävlingar. Eftersom användaren markerar samtliga punkter och koordinatsystemets origo manuellt för varje bildfrekvens samt att kamerans förflyttning gör att skalan på alla avståndsrelaterade mått försämras blir noggrannheten sämre. De analyserade filmerna hade låg upplösning vilket medförde att det var svårt att markera åkarens masscentrum i varje bildfrekvens. För varje av ovanstående felparametrar ökar variationen i resultat från analysen vilket minskar utdatans trovärdighet. För att öka noggrannheten av det beräknade medelvärdet krävs det många bildfrekvenser per sekund för att få en jämn dataspridning med många mätpunkter. I videoanalysen användes filmer med 25 bildfrekvenser per sekund vilket är tillräckligt för den här typen av beräkning, men optimalt hade varit ungefär 100 bildfrekvenser per sekund.

Trots den variation som uppstår på grund av ovanstående felparametrar är det uppskattade medelvärdet från graferna vid skadetillfällena tillräckligt bra för att ge en ökad förståelse över hastighetens betydelse då skadan sker.

7. Diskussion

Projektet har kartlagt skademekanismer och de faktorer som leder fram till dessa. Huvudfyndet i analysen är att en enskild faktor inte ensam kan prediktera skada utan att det krävs en samverkan av flera olika parametrar för att en skada ska uppstå. Gemensamt för funna skademekanismer är en accelerationsskillnad mellan skenben och lårben. Det ger en hög kraft på ACL, vars funktion är att förhindra lårbenet att röra sig i fotriktningen i förhållande till skenbenet. Ett resonemang förs kring vilka faktorer som kan påverkas och hur funna skademekanismer kan identifieras och förhindras innan skadan uppstår. Vidare analyseras även funnen statistik ur ett könsrelaterat perspektiv för att belysa om eventuella skillnader mellan könen påverkar skadefallen.

Alpin skidåkning går ut på att ta sig genom banan på kortast möjliga tid. Med en aggressiv åklinje, se blå kurva i *figur 7.1*, fås en kortare åksträcka och högre hastighet vilket möjliggör bättre tider. Åkarna åker därmed med små marginaler och pressar sig själva och utrustning till det yttersta även om det kan öka risken för skador (Spörri et al 2012a). Flera studier pekar ut hastighet som en av de största riskfaktorerna för ACL-skador, men då sporten bygger på att ta sig ner snabbast anser vi att det är fel sätt att angripa problemet. Istället är det bättre att tvinga åkarna till lägre hastigheter genom ändringar i reglementet för utrustning och bansättning. Svårigheten vid regelförändringar, av till exempel utrustning, är att det är svårt att veta vad följderna blir av en förändring. Historiskt sett har det visat sig att utrustningens utformning påverkar både skadefrekvens och skadans karaktär (*figur 5.3.3.1, avsnitt 5.3.3*) och det är därför viktigt att göra noggranna analyser innan man inför en förändring.



*Figur 7.1 –
två olika
åklinjer*

Inför säsongen 2012/2013 införde FIS krav på en längre tvärsnittsradi på skidan i avsikt att få en mindre aggressiv skida som inte kan ta lika snäva svängar. Skadestatistiken gick också ner de kommande två åren men då många faktorer spelar in är det för tidigt att dra några slutsatser av resultatet. En längre tvärsnittsradi ger generellt sett lägre centripetalkraft men högre hastighet jämfört med en skida med kortare tvärsnittsradi. Om åkaren klarar av att hålla den tänkta linjen är hastigheten i sig inget problem, men om åkaren hamnar fel i linjen bidrar hastigheten till en större rörelsemängd som måste föras tillbaka till korrekt linje. Ifall skidan skär eller fastnar bromsas foten och skenbenet in och knät måste stoppa överkroppens hastighet vilket skapar en accelerationsskillnad. Knät utsatt för en kraft enligt $F = ma$. En högre ursprungshastighet innan skidan skär fast ger en större accelerationsskillnad och resulterar därmed i en större kraft på knät.

En kort tvärsnittsradi ger istället högre centripetalkraft och lägre hastigheter. En hög centripetalkraft kräver större muskelkraft i varje sväng och då utmattning nämns som en bidragande faktor vid uppkomsten av ACL-skador finns det för- och nackdelar med olika tvärsnittsradi. Banans längd påverkar också utmattningsgraden hos åkaren och det finns studier som visar på att merparten av alla skador sker inom den sista fjärdedelen av ett åk (Bere et al 2013). Det föder ett intressant resonemang kring längden på banan. Om utmattning är den huvudsakliga anledningen till att de flesta olyckor sker inom den sista fjärdedelen är det värt att fundera kring hur hög svårighetsgrad sista delen av banan bör hålla.

Kanske finns det till och med incitament nog att korta ner åket med en fjärdedel för att på så sätt minska skaderisken.

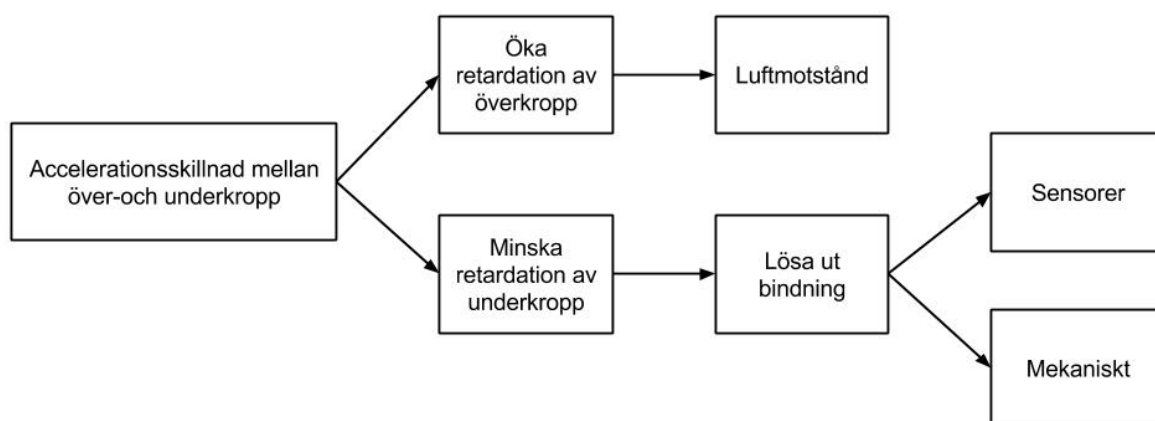
Enligt statistik från säsongerna 2006/2007 och 2007/2008 visade det sig att det uppkom knappt tio skador per 1000 åk. Det motsvarar knappt 1 % av åken, det är intressant att fundera över vad den procentenheten gjorde annorlunda gentemot de 99% av åken som sker utan skada (Flørenes 2009). Generellt sett föregås de flesta skadefall av att åkaren kommer ur balans och därefter ramlar. Därför är det intressant att analysera vad som får åkaren att komma ur balans vilket varierar från tävling till tävling och åkare till åkare. Rent tävlingsspecifikt varierar sikt, snöförhållanden och bana mellan tävlingarna och vissa tävlingar har en erkänt svår terräng med hopp som ställer höga krav på åkarens teknik och fysik (Bere et al. 2011b).

Hopp anses vara något av det tekniskt mest svåra inom alpin skidåkning eftersom det ställs höga krav på balans (Bere et al. 2011b). Svårigheten handlar om att välja en bra linje genom hoppet och landa i balans med knäna i linje med fötterna. När åkaren landar ska normalkraften inte enbart motverka tyngdkraften, utan den måste även motverka den kraft som uppstår till följd av att åkaren får en accelerationsförändring i vertikalled vid landning. Hur stor accelerationsförändringen blir beror dels på höjden av hoppet men också på backens lutning vid landning. För att reducera kraften är landningssträckan konstruerad för att följa åkarens tilltänkta färdriktning vid landning. Landar åkaren med knäna vertikalt över fötterna behöver den extra belastningen från landningen inte pareras av ligamenten. Om åkaren däremot flyger för långt och landar på ett flackare parti blir det en stor vertikal hastighetsminskning, det vill säga en stor retardation och därmed en extra kraft på åkaren.

Den extra kraften kan dels få åkaren ur balans men också vara förödande om åkaren landar med *sittande bakåtvikt* eller i position liknande *valgus*, två skademekanismer som ofta inträffar i samband med hopp.

7.1 Skyddsprinciper

För att skydda åkaren i de situationer ACL-skadan inträffar är det intressant att diskutera hur utveckling av utrustning kan minska skadans inverkan och förhoppningsvis motverkar den helt. Från tidigare analys framgår det att accelerationsskillnaden mellan skenben och lårben som uppstår vid *slip-catch* är en av orsakerna till ACL-skadan. Genom att utveckla utrustningen skulle accelerationsskillnaden som uppstår kring knät kunna minskas. Enligt *figur 7.1.1* kan det åstadkommas på två olika sätt; antingen genom att öka retardationen av överkroppen eller genom att minska retardationen av underkroppen. Nedan presenteras olika förslag till lösning av problemet.



Figur 7.1.1 - diagram över hur ACL-skador kan motverkas

För att retardera överkroppen kan luftmotståndet nyttjas genom att integrera en fallskärm i fardrärkten. Fallskärmen skulle kunna utlösas med hjälp av sensorer som reagerar på stora accelerationsskillnader. En fördel med lösningen är att åkaren kan lyftas från marken och undvika eventuella skadesituationer som är på väg att uppstå. Det medför även att risken för sekundärskador som kan uppstå i samband med att åkaren till exempel ramlar och glider minskar. Lösningen kan dock inte motverka accelerationsskillnaden helt, utan kan enbart dämpa den. Dessutom krävs det att åkaren färdas med relativt hög hastighet för att den ska fungera korrekt. Det skulle förmodligen även ta för lång tid för fallskärmen att lösa ut och hinna retardera överkroppen innan skada uppstår.

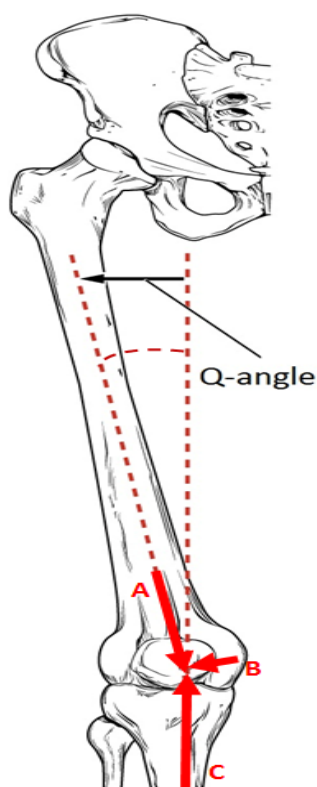
Ett annat sätt att motverka accelerationsskillnaden är att tvinga underkroppen till samma acceleration som överkroppen genom utveckling av utlösningssystemet. I videoanalysen framgick det att ingen av åkarnas bindningar löste ut i samband med ACL-skadan. Att bindningen inte löser ut kan alltså ha ett avgörande bidrag till skadan. Det är därför viktigt att se över om utlösningssystemet går att förbättra. En möjlig lösning är integrering av sensorer i fardrärkten som kan identifiera accelerationsskillnader kring knät och lösa ut bindningarna innan ACL-skadan uppstår.

Dagens bindningar är inte konstruerade att lösa ut vertikalt vid tån vilket i samband med *sittande bakåtvikt* ger en stor kraft på ligamenten. Vid *sittande bakåtvikt* är ligamenten redan i ett utsatt läge och stötar från underlaget kan då leda till brott på ligamentet.

Om bindningen kan lösa ut i vertikalt läge innan kraften på ligamenten blir för stor kan risken för en ACL-skada minska avsevärt. Nackdelen är att åkaren kommer ramla men risken är stor att det hade skett oavsett. Genom att utveckla utlösningfunktionen kan även skademekanismen *valgus* motverkas. Ligamenten i knät och framförallt ACL är känsliga för rotationsrörelser och momentkrafter, en bindning som löser ut vid belastning i sidled skulle därmed kunna förhindra en korsbandsskada (Senner et al. 2013). Vi antar att fler frihetsgrader ökar chansen att bindningen löser ut i en skadesituation, problemet är dock att fler frihetsgrader också medför risken att bindningen löser ut vid fel tidpunkt. Elitåkare utsätter bindningen för höga krafter och påfrestningar och spänner därför åt bindningen hårdare än rekommenderat. Det leder i sin tur till att bindningen inte alltid löser ut när den borde vilket bidrar till ökad risk för skada i de situationerna. Något som måste tas i beaktning är om åkaren kommer välja att använda den nya tekniken om bindningen riskerar att lösa ut felaktigt. Troligtvis hade åkaren i många fall hellre valt att utsätta sig för den farliga situationen än att riskera att åket avbryts. Därmed ställs det höga krav på nyutvecklade produkter då elitåkare antagligen inte kommer nyttja den nya produkten om prestandan är sämre än tidigare.

7.2 Jämförelse mellan kvinnor och män

Det är intressant att diskutera skillnader och likheter mellan kvinnor och män i alla sammanhang. Förutom rent fysiska skillnader som går att se med blotta ögat finns det också mer subtila skillnader som är svårare att upptäcka. Små skillnader i hur våra kroppar är uppbyggda, förmågan att bygga muskler men även mentala skillnader som är medfödda eller påförda under uppväxten. Alla dessa egenskaper är saker som måste tas hänsyn till vid analys av skadeförhållandet mellan män och kvinnor inom alpin skidåkning.



I många andra sporter är det vanligt med ACL-skador bland kvinnor än bland män (Arendt et al. 1995; Mykleburst et al. 1997), därför är det naturligt att tro att även så är fallet inom alpinskidåkning. Flera studier har dock kommit fram till att ACL-skador är lika vanligt bland båda könen i världscupsammanhang (Bere et al. 2013; Flørenes et al. 2009). Något som är spännande är att samma studier visat att män i övrigt skadar sig oftare än kvinnor. Tidigare diskuterades skillnaden i längd och fallhöjd på banan mellan män och kvinnor. Högre fallhöjd ger högre hastighet och i nästa steg högre kinetisk energi som kroppen måste hantera. Hastighet pekas ut som den enskilt största riskfaktorn för alpinskador (Spörri et al. 2012a) och det är därmed inte orimligt att fundera kring om det är därför män ådrar sig fler skador än kvinnor. Andra pekar också på att män har en högre riskbenägenhet än kvinnor och att det i sin tur ger en större påfrestning på kroppen. Genom att hålla en tuffare åklinje, gå tigare på portarna och generellt sett åka med mindre marginaler ges mindre utrymme för misstag vilket kan vara skillnaden mellan en krasch och ett lyckat åk.

Figur 7.2.1 - Kraftresultanter beroende på Q-vinkeln

Tidigare nämndes att ACL-skador i världscupsammanhang, är lika vanligt bland män och kvinnor i jämförelse med skador i generell bemärkelse. I världscupen finns det tydliga regler för terräng och banorna är anpassade med kortare längd och lägre fallhöjd för kvinnor än för män (FIS 2015). Trots det är ACL-skadorna lika vanliga bland båda könen vilket kan ses som en indikation på att kvinnors knän är mindre lämpliga för alpinskidåkning ur skadesynpunkt. En ytterligare faktor som tyder på det fås genom att belysa skadestatistiken för fritidsåkare. Alla fritidsåkare åker i samma backar, oavsett kön, och flera oberoende studier visar att ACL-skador är upp till dubbelt så vanligt bland kvinnliga fritidsåkare än respektive manliga segment (Stevensson et al. 1998; Stenroos et al. 2014; Raschner et al. 2012). Förutom att kvinnor har mindre muskler och en annan hormonuppsättning är det också intressant att analysera hur kraftresultanterna A och B, i *figur 7.2.1*, påverkas av skillnader i Q-vinkel. På grund av kvinnans bredare bäcken är vinkeln större för kvinnor än män vilket gör att kraften på ligamenten blir större än motsvarande kraft på ligamenten i ett manligt knä. Det vill säga med en större Q-vinkel krävs en större kraftkomposant från ligamentet (B i *figur 7.2.1*) för att uppnå kraftjämvikt i knät. Den större Q-vinkeln gör det också svårare för kvinnor att kantställa skidan vilket gör det svårare att svänga skarpt, det är dock något som är kompenserat för i reglementet för världscupstävlingar (FIS 2015). Trots ovan nämnda indicier finns det dock ingen statistik som stödjer teorin om att kvinnor i världscupen löper större risk att ådra sig en ACL-skada än män.

8. Vidareutveckling

Det finns uppenbarligen mycket att fortsätta utforska och analysera inom skadeområdet för alpin skidåkning. Ett sätt att kunna avgöra vilken kombination av faktorer som ger ökad skaderisk är att också studera åk där skador inte uppstår. Det ökar förståelsen för hur olika faktorer samverkar till att få en åkare ur balans och drabbas av en skademekanism. För att göra en mer pålitlig och noggrann videoanalys kan fler filmer med högre upplösning och större antal bildfrekvenser per sekund analyseras. Ett sätt att säkerställa högkvalitativt filmmaterial är att montera fler stationära kameror och spela in det material som krävs för den tänkta analysen. Det är ofta enkelt att redan innan identifiera vilka delar av banan som är mer svåråkta än andra; de ställen där åkare riskerar att lättare tappa kontroll och hamna i obalans. Vid de delarna av banan kan en stationär höghastighetskamera installeras för att garantera ännu högre kvalitet på filmmaterialet. Genom att kombinera de monterade videokamerorna med att integrera markörer i åkarnas fardräft kan analysen ge noggrannare resultat. Markörerna skulle då sitta på samtliga leder, hjälm, masscentrum och pjäxan för att ge flera olika referenspunkter att lokalisera i programvaran. Vad som dock måste tas i beaktning i en videoanalys är att mätområdet i en alpin tävlingsbana är väldigt stort; det kräver många videokameror som fångar åkaren från flera vinklar. Andra sätt att förenkla skadeanalysen av elitskidåkare är att måla ett rutnät i banan för att skapa ett referensnät samt att placera ut referensstolpar längs med banan för att kalibrera alla avståndsrelaterade mått. Som ett komplement till att studera helkroppsrörelsen vid uppkomsten av en ACL-skada hade det även intressant att följa knäts rörelse. Det ger ytterligare ett perspektiv att studera skadorna och kan möjliggöra en större förståelse om hur förflyttning av masscentrum påverkar krafterna i knät.

Trackers stora begränsning är att programvaran är otillräcklig vid analys av rörelser i tre dimensioner. Genom användning av en annan programvara eller utveckling av Tracker med fler funktioner som möjliggör tredimensionell analys kan ett mer trovärdigt resultat fås. Vad som hade varit intressant är att plocka ut olika koordinatpositioner för förflyttningar av foten i förhållande till knät och höften. Positionerna skulle då kunna lägga grund för rörelse i en simulering som möjliggör undersökning av vad som faktiskt sker inuti knät. Här kan belastningar på ligament identifieras för att ta fram vilka krafter, spänningar och töjningar som resulterar i att dem går av.

Ytterligare ett förslag på vidareutveckling är att med hjälp av sensorer utföra mätningar av parametrar. Fördelen med sensorer är att mätningarna blir mer noggranna och sker i realtid. Generellt finns det två olika sätt att fästa sensorerna på åkaren; antingen genom att integrera dem i fardräkten eller att ha lösa avtagbara sensorer. Arbetssättet är dock kostsamt och kräver avancerad teknologi. I fallet då lösa sensorer används måste det innan specificeras vilken typ av mätdata som efterfrågas för att välja rätt mätinstrument.

För att mäta acceleration kan en måtenhet som kallas accelerometer användas. Enheter fästs på kroppen i de punkter där rörelsen är intressant att mäta; typiskt lår, smalben och bröstorg för den alpina skidåkaren då det ger en bra bild av helkroppsrörelsen (Michahelles et al. 2005). En annan intressant parameter att mäta för att analysera skademekanismerna är masscentrums förflyttning.

Genom att utnyttja att arean under foten är känd kan man fästa tre kraftsensorer i form av en triangel på pjäxans sula. Den uppmätta kraften tillsammans med den kända arean kan beräkna trycket och visa hur det fördelas och således hur åkarens masscentrum förflyttas i förhållande till foten. Det går också att mäta skidans rotationer med hjälp av att fästa gyroskop, utrustning som mäter rörelsemängdsmoment, på skidan. Olika typer av gyroskop kan mäta olika stora rotationer, men i skidåkning är rotationerna sällan större än 180 grader. Till sist kan det vara intressant att mäta kantvinkeln med hjälp av infraröda distanssensorer som fästs på sidan av pjäxorna. Genom att rikta sensorerna ned mot backen och mäta avståndet kan man med hjälp av trigonometri beräkna vinkeln (Michahelles et al. 2005). Med hjälp av de olika sensorerna kan data om åkarens dynamik, krafter samt skidans rotation och kantvinkel uppmätas. Det kan i sin tur användas för identifiering och analys av skadliga rörelser och krafter för att i nästa led kunna motverka och förebygga ACL-skador.

För att på ett enkelt sätt kunna samla data i realtid som i efterhand kan analyseras rekommenderas att använda sig av en kombination av sensorer och trackingsystem. Ett sätt att tracka åkaren är att använda sig av GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Den metod av GNSS-mätning som ger minst mätosäkerhet i realtid är RTK (Real Time Kinematic) vilket bygger på att en rörlig mottagare placeras över de punkter man vill lokalisera, således kan man följa och tracka en åkare (Supej 2010). Trots att metoden har låg mätosäkerhet är den ändå inte tillräckligt noggrann för att ge exakta mätdata. Således är video den typ av trackingmetod som är att föredra som både erbjuder möjligheten att följa en rörande kropp och i efterhand kunna identifiera skademekanismen.

9. Slutsats

Att förebygga ACL-skador i samband med alpinskiåkning är väldigt komplext. För att kunna erbjuda en lösning på problemet är det viktigt att förstå när skadan uppstår och vid vilka situationer knät utsätts för krafter och vilka de är. Projektet ger en grund för hur en kartläggning av skademekanismer kan genomföras men är inte tillräcklig för att ge en exakt orsak till skada. Vi har kommit fram till att ACL-skador uppstår till följd av flera faktorer men att kunna ta fram skyddsprinciper kräver en utökad kartläggning av hur kroppen rör sig under en skadesituation. Vi tror dock att utrustning är den faktor som har störst utvecklingspotential vad gäller skadeprevention.

10. Källförteckning

Arendt Elizabeth, Dick Randall. 1995. Knee injury patterns among Men and Women in Collegiate Basketball and Soccer: *The American Journal of Sports Medicine*:
<http://ajs.sagepub.com/content/23/6/694.full.pdf+html>

Bere, Tone, Florenes Tånje W., Krosshaug Tron et al. 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*:
<http://ajs.sagepub.com/content/39/7/1421.full.pdf+html>

Bere T, Florenes Tånje W., Krosshaug Tron et al. 2013. A systematic video analysis of 69 injury cases in World Cup alpine skiing. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sms.12038/epdf>

Bere Tone, Florenes Tonje W., Nordsletten Lars et al. 2009. Injuries among male and female World Cup alpine skiers. *Journal of ISAKOS*:
<http://bjsm.bmj.com/content/43/13/973.full.pdf+html>

Bere Tone, Florenes Tonje W., Nordsletten Lars et al. 2014. Sex differences in the risk of injury in World Cup alpine skiers: a 6-year cohort study. *British Journal of Sports Medicine*:
http://www.klokavskade.no/upload/Publication/Bere_2013_BJSM_Sex%20differences%20in%20the%20risk%20of%20injury%20in%20World%20Cup%20alpine%20skiers_a%206-yr%20cohort%20study.full.pdf

Bere Tone, Mok Kam-Ming, Koga Hideyuki et al. 2013. Kinematics of Anterior Cruciate Ligament Ruptures in World Cup Alpine Skiing. *The American Journal of Sports Medicine*.
http://www.klokavskade.no/upload/Publication/Bere_2013_AJSM_Kinematics%20of%20ACL%20ruptures%20in%20World%20Cup%20skiing.pdf

Gilgien Matthias, Spörri Jörg, Kröll Josef et al. 2015. Effect on ski geometry and standing height on kinetic energy: equipment designed to reduce risk of severe traumatic injuries in alpine downhill ski racing. *Journal of ISAKOS*:
<http://bjsm.bmj.com/content/50/1/8.full.pdf+html>

Haaland Bjornar, Steenstrup Sophie E., Bere Tone et al. 2015. Injury rate and injury patterns in FIS World Cup Alpine Skiing (2006-2015): have the new ski regulations made an impact? *British Journal of Sports Medicine*:
[http://www.klokavskade.no/upload/Publication/Haaland_2015_BJSM_Injury%20rate%20and%20injury%20patterns%20in%20FIS%20World%20Cup%20Alpine%20Skiing%20\(2006-2015\).pdf](http://www.klokavskade.no/upload/Publication/Haaland_2015_BJSM_Injury%20rate%20and%20injury%20patterns%20in%20FIS%20World%20Cup%20Alpine%20Skiing%20(2006-2015).pdf)

Hewett Timothy E., Ford Kevin R., Hoogenboom Barbara J. et al. 2010. Understanding and preventing ACL injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations. *North American Journal of Sports Physical Therapy*:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3096145/>

International Ski Federation. 2015. The international ski competition rules (IQR) Book IV Joint regulations for alpine skiing. FIS: http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/AlpineSkiing/03/29/54/ICR_cleanJuly2015_Neutral.pdf

International Ski Federation. 2015. Specification for competition equipment and commercial markings. FIS: http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/NordicCombined/04/30/53/Competitionequipment_1516_12082015_clean_jr_English.pdf

Krosshaug Tron, Slauterbeck J.R., Engebretsen L et al. 2007. Biomechanical analysis of anterior cruciate ligament injury mechanisms: three-dimensional motion reconstruction from video sequences. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0838.2006.00558.x/epdf>

Mechanics of Sports. 2007. Ski Bindings. *Mechanics of Sports*: <http://www.mechanicsofsport.com/skiing/equipment/bindings.html> (Hämtad 2016-03-06)

Mechanics of Sports. 2007. Ski Boots. *Mechanics of Sports*: <http://www.mechanicsofsport.com/skiing/equipment/boots.html> (Hämtad 2016-03-06)

Michaelles Florian, Schiele Bernt. 2005. Sensing and Monitoring Professional Skiers. *IEEE Xplore*: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1495389>

Myklebust G, Maehlum S, Engebretsen L et al. 1997. Registration of cruciate ligament injuries in Norwegian top level team handball. A prospective study covering two seasons. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00155.x/pdf>

Pujol Nicolas, Blanchi Marie P., Chambat Pierre. 2007. The incidence of anterior cruciate ligament injuries among competitive Alpine skiers: a 25-year investigation. *The American Journal of Sports Medicine*: <http://ajs.sagepub.com/content/35/7/1070.full.pdf+html>

Qu Xingda, Nussbaum Maury A. 2008 Effects of external loads on balance control during upright stance: Experimental results and model-based predictions. *Gait & Posture*: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636208001501>

Raschner Christian, Platzer Hans-Peter, Patterson Carson et al. 2012. The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10 year longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine*: <http://bjsm.bmj.com/content/early/2012/09/10/bjsports-2012-091050.short>

Ruedl Gerhard, Helle Kenneth, Tecklenburg Katja et al. 2015. Factors associated with self-reported failure of binding release among ACL injured male and female recreational skiers: a catalyst to change ISO binding standards?. *British Journal of Sports Medicine*: <http://bjsm.bmj.com/content/50/1/37.abstract>

Ruedl Gerhard, Webhofer Magdalena, Helle Kenneth et al. 2012. Leg dominance is a risk factor for noncontact anterior cruciate ligament injuries in female recreational skiers. *The American Journal of Sports Medicine*: <http://ajs.sagepub.com/content/40/6/1269.full.pdf+html>

Ruedl Gerhard, Webhofer Magdalena, Helle Kenneth et al. 2016. Factors associated with self-reported failure of binding release among ACL injured male and female recreational skiers: a catalyst to change ISO binding standards? *British Journal of Sports Medicine*: <http://bjsm.bmj.com/content/50/1/37.abstract>

Sandin Jonas. 2008. Aggregating case studies of vehicle crashes by means of causation charts an evaluation and revision of the driving reliability and error analysis method. *Chalmers Universtiy of Technology: Department of Applied Mechanichs*: https://www.researchgate.net/profile/Jesper_Sandin/publication/259332041_Aggregating_case_studies_of_vehicle_crashes_by_means_of_causation_charts_an_evaluation_and_revision_of_the_driving_reliability_and_error_analysis_method/links/00b7d52b06902655bd000000.pdf

Spörri Jörg, Kröll Josef, Amesberger Günter et al. 2012a. Perceived key injury risk factors in World Cup alpine ski racing - an explorative qualitative study with expert stakeholders. *Journal of ISAKOS*: <http://bjsm.bmj.com/content/early/2012/08/08/bjsports-2012-091048.full.pdf+html>

Spörri Jörg, Kröll Josef, Schwameder Hermann et al. 2012b. Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: an explorative case study. *Journal of ISAKOS*: <http://bjsm.bmj.com/content/46/15/1072.full.pdf+html>

Steensturup Sophie, Bere Tone, Krosshaug Tron et al. 2013. Video analysis of 4 ACL injuries 2012/13 World Cup Season. *Oslo Sports Trauma Research Center*: http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/Medical/04/32/74/ReportACLvideoanalysisFISISS2012-13season_Neutral.pdf

Senner Veit, Frank Michael L., Lehner Stefan. 2013. Ski equipment-related measures to reduce knee injuries. *bfu - Swiss Council for Accident Prevention*: http://www.sportsengineering.org/wp-content/uploads/2013/12/ISSS-broschure_bfu-TUM.pdf

Stenroos Antti, J, Handolin Lauri E. 2014. Alpine Skiing Injuries in Finland: A two-year retrospective study based on a questionnaire among Ski racers. *BioMed Central The Open Access Publisher*: <http://bmcsportsscimedrehabil.biomedcentral.com/articles/10.1186/2052-1847-6-9>

Stevenson Herb, Webster Jennifer, Johnson Robert et al. 1998. Gender differences in knee injury epidemiology among competitive alpine ski racers. *The Iowa Orthopaedic Journal*: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2378176/>

Supej Matej. 2010. 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK-system. *Journal of Sports Science*: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02640411003716934>

Tarang Jain, Laura Ritchie. Anterior Cruciate Ligament (ACL) – Structure and Biomechanical Properties. *Physiopedia*: [http://www.physiopedia.com/Anterior_Cruciate_Ligament_\(ACL\)_-_Structure_and_Biomechanical_Properties](http://www.physiopedia.com/Anterior_Cruciate_Ligament_(ACL)_-_Structure_and_Biomechanical_Properties)

UKDavis BIOWIKI. Bones of the Lower Limb:

http://biowiki.ucdavis.edu/TextMaps/OpenStax_Anatomy_and_Physiology/Unit_2%3A_Support_and_Movement/08%3A_The_Appendicular_Skeleton/8.4%3A_Bones_of_the_Lower_Limb

Westin, Maria. 2015. Alpine skiing- injury profile, ACL injury risk factors, and prevention.

Department of molecular medicine and surgery, Karolinska Institutet:

https://openarchive.ki.se/xmlui/bitstream/handle/10616/44689/Thesis_Maria_Westin.pdf?sequence=3