

Främre korsbandsskada 2. Utvärdering av muskelfunktion i klinik och forskning

ROLAND THOMEÉ

Sammanfattning

Ett av idrottsrörelsens största problem är att många slutar sitt idrottande på grund av skador i unga år. Patienter med knäskada som inte återfått sin muskelfunktion, mätt som styrka och hoppförmåga löper större risk för recidiv, följdskador och att inte klara återgången till tidigare fysiska aktivitetsnivå. De löper dessutom ökad risk för framtida besvär som osteoartros.

Ett av syftena med vår forskning var att designa pålitliga och idrottsspecifika testmetoder. Vi ville ha tester som; speglade flera relevanta aspekter av muskelfunktion, kunde genomföras på vilken sjukgymnastik-mottagning som helst, på en rimlig tid och till en rimlig kostnad.

Våra resultat bekräftar litteraturen i att majoriteten av patienter med främre korsbandsskada inte återfår full styrka och hoppförmåga inom första året.

Vi har identifierat många faktorer som karakteriserar patienter som klarar sig bra. Vi vill därför se över hela omhändertagandet av patienter med främre korsbandsskada med ambitionen att nå ett bättre resultat, mycket snabbare, med minimal risk för återfalls-skada och framtida knäartros. Våra framtida randomiserade och kontrollerade studier får visa om detta är möjligt.

Roland Thomeé, legitimerad sjukgymnast och docent

Verksam vid Sportrehab, Sjukgymnastik & Idrottsskademottagning, Göteborg samt vid Lundberglaboratoriet för ortopedisk forskning, Avdelningen för ortopedi, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Göteborg.

VÅR IDROTTSMEDICINSKA behandlingsmodell för patienter med ortopediska skador grundar sig på vetenskaplig forskning, kunskap beskriven i litteraturen samt på vår beprövade erfarenhet av behandling och rehabilitering. Målsättningen med modellen är att kunna skapa så bra individuellt anpassade rehabiliteringsprogram som möjligt, för att patienten så snart och så säkert som möjligt kan återgå till vardag, arbete, motion och idrott.

Vi presenterar här en andra artikel om vår forskning om patienter med främre korsbandsskada. Den första artikeln, *Främre korsbandsskada - betydelsen av tilltro till förmåga* presenterades i Fysioterapi nummer av 9, 2007.

Majoriteten återfår inte full muskelstyrka

Ett av idrottsrörelsens största problem är att så många måste sluta sitt idrottande på grund av skador i unga år (15-25 års ålder). Skador som skulle kunna förebyggas, behandlas och rehabiliteras bättre om vi hade bättre metoder för bedömning av riskfaktorer, bättre program/strategier för rehabilitering, och bättre metoder för utvärdering.

Idrottare, motionärer, kliniker och forskare är fortfarande förbryllade av den höga förekomsten av främre korsbandsskada, den långa tid det tar att komma tillbaka efter skadan och

den påtagligt ökade risken för att utveckla en tidig knäartros [1-3]. Flera studier [4-6] har pekat på svaga samband mellan styrka och idrottsfunktion liksom mellan tester för knästabilitet och idrottsfunktion [7-8]. Detta kan förklaras av att testerna för styrka och hoppförmåga inte speglar förmågan till kraftutveckling respektive hoppförmåga på ett tillräckligt adekvat sätt. Bedömning av knäfunktion görs alltför subjektivt av patient, tränare och rehab-ansvariga [9].

I litteraturen har därför under många år efterfrågats mer pålitliga och relevanta instrument som kan medverka till att skador kan förebyggas, att återgång till fysisk aktivitet kan ske säkrare med mindre risk för återfallsskada och med mindre risk för framtida knäartros [1-3,10-13].

I Skandinavien får varje år fem-tio personer per 10 000 invånare en främre korsbandsskada och i Sverige totalt ca 6 000 personer. Av dessa opereras ca 3 000. Av de som opereras är cirka 40 procent kvinnor och 60 procent män. Risken för kvinnor att få en främre korsbandsskada är 3-5 gånger större än för män [14,15]. Fler-talet får även associerade knäskador i samband med främre korsbandsskadan, såsom menisk-, skelett- och broskskador. Skadan innebär i de allra flesta fall en rehabiliteringstid på sex-tolv månader [13,16]. Många skadade återgår inte till sin tidigare fysiska aktivitetsnivå [17,18]. Det råder ingen konsensus om behandlingen efter en främre korsbandsskada, vare sig om operation eller inte operation, eller hur rehabiliteringen ska utformas och utvärderas [19].

Litteraturen är entydig i att majoriteten av patienter efter främre korsbandsskada inte återfår full muskelvolym, maximal styrka, eller maximal hoppförmåga inom ett år efter operation [9,20-29]. Klinisk erfarenhet överensstämmer med litteraturen [2,11,30,31] i att: *patienter med knäskada som inte återfått sin muskelfunktion (styrka och hoppförmåga) löper större risk för recidiv, följskador och att inte klara återgången till tidigare fysiska aktivitetsnivå, samt kan ha ökad risk för framtida besvär som osteoartros*. Trots detta återgår majoriteten av patienter till sin idrottsaktivitet sex-tolv månader efter operation [7,9,25,26,32].

Trots att operationsmetoder har förbättrats avsevärt under de senaste tio-femton åren och trots en avsevärt tidigare och aktivare rehabi-

litering tycks således muskelfunktion vara svårt att återställa inom ett år efter skada eller operation för majoriteten av skadade med eller utan operation. Effektiviteten i de protokoll som används för rehabilitering efter främre korsbandsskada har också ifrågasatts, avseende möjligheterna att återställa full muskelfunktion [9,11,22]. Det finns alltså en stor utmaning i att kritiskt granska och vidareutveckla det sätt på vilket rehabiliteringen genomförs för majoriteten av korsbandsskadade.

Kunskapen om vad som krävs för en säker återgång till fysisk aktivitet efter knäskada är begränsad och fler vetenskapliga studier efterlyses [11]. Validiteten hos traditionella tester av muskelstyrka med isokinetisk apparatur har ifrågasatts och mer idrottspecifika tester med hög reliabilitet och stor förmåga att diskriminera mellan skadad och frisk sida har efterfrågats [4,11,29,33]. Såväl Noyes som Itoh med medarbetare [34, 35] betonade vikten av att använda flera tester för att utvärdera muskelfunktion och väga samman resultaten i ett testbatteri.

I litteraturen beskrivs oftast isokinetiskt styrketest av quadriceps- och hamstringsmuskulatur efter korsbandsskada eller korsbandsoperation [24,36-47]. Dock är god isokinetisk quadricepsstyrka ifrågasatt som prediktor för god knäfunktion [36]. Vår forskargrupp har ifrågasatt validiteten av att testa styrka isokinetiskt, när nästan all träning sker isotoniskt [22]. Även test av benstyrkan isometriskt [41,48,49] och isotoniskt [22,50] finns beskrivet. Den vanligaste hopptesten efter korsbandsskada är enbens längdhopp [22,24,30,36,41-45,47,49,51-55]. I flera studier används flera olika slags hopp [30,36,42-44,49,52-56] för att bättre kunna upptäcka funktionella begränsningar.

Jesper Augustsson presenterade i sin avhandling från 2003 [57]: *Kinetic chain weight training, strength assessment, and functional performance testing - with reference to sports and rehabilitation* att hoppförmågan hos korsbandsskadade eller korsbandsopererade även ska testas efter uttröttningsför att bättre efterlikna idrottsituationer. Förmågan att prestera i ett uttröttat tillstånd, med hög prestationsförmåga och med minimal risk för skada, är mycket viktigt inom idrotten [58,59]. Den idrottsutövare som har mest krafter kvar eller bäst kan hantera tröttheten vinner tävlingen eller gör den avgö-

»I Skandinavien får varje år fem-tio personer per 10 000 invånare en främre korsbandsskada och i Sverige totalt cirka 6 000 personer.«



Figur 1 - Knäextension



Figur 2 - Knäflexion



Figur 3 - Benpress

rande poängen. Tyvärr inträffar också många idrottsskador i slutet av idrottsutövning när tröttheten slagit till [60-62]. Däremot utförs de flesta test för muskelfunktion när försökspersonen är utvilad. Jesper Augustsson visade att trots att försökspersonerna hade godkänd hoppförmåga i vila, vilket var ett inklusionskriterium, så klarade 2/3 inte att nå upp till 90 procent hoppförmåga i opererade benet jämfört med friska benet efter ett standardiserat protokoll av uttröttnings av quadricepsmuskeln [65]. Test-sensitiviteten ökar således markant om hoppförmåga även utvärderas med försökspersonen uttröttad.

Vår forskningsgrupp har även designat en modell för att studera kinematiken i nedre extremiteten under pågående löpning till kraftig uttröttnings på rullband. Resultat presenterades i Camille Neeters avhandling från 2007: *Knee function after anterior cruciate ligament injury - with special reference to muscle power, hop performance and kinematics during high-intensity running* [21].

Det kinematiska mönstret studerades vid högintensiv löpning på löpband hos tolv patienter, tio månader efter främre korsbandsrekonstruktion, och hos fem friska försökspersoner. Inga signifikanta skillnader uppmättes i det kinematiska mönstret, som ett resultat av ökande uttröttnings, mellan början och slutet av den högintensiva löpningen. Redan i början av löpningen visade patienterna däremot en signifikant mindre inåtrotation av fotleden, ökad inåtrotation av höftleden och ökad extension i knäleden i det involverade benet jämfört med det icke-skadade benet och jämfört med kontrollgruppen. Inga skillnader fanns mellan höger och vänster ben i kontrollgruppens kinematiska mönster, som heller inte förändrades under pågående löpning. Slutsat-

sen var att högintensiv löpning på löpband, under pågående uttröttnings, inte förändrade nedre extremitetens kinematiska mönster tio månader efter främre korsbandsrekonstruktion. Det faktum att vi inte kunde visa några förändringar i det kinematiska mönstret i nedre extremiteten under högintensiv löpning skulle kunna betecknas som ett positivt fynd. Å andra sidan, de kortsiktiga och långsiktiga konsekvenserna av de förändringar i det kinematiska mönstret som fanns redan från början av löpningen är oklara. Fler studier behöver genomföras för att bedöma möjligheten att kunna återgå till motion och idrott som involverar löpning och risken för att till exempel utveckla knäartros.

Sammanfattningsvis kan konstateras att test av muskelfunktion efter korsbandsskada och korsbandsoperation kan utföras på många olika sätt och att ingen konsensus råder om vilka test som bör användas vid utvärdering.

Vidareutvecklade metoder för utvärdering av muskelfunktion

I början av 2000-talet satte vi upp några nya kriterier för fortsatta studier av patienter med korsbandsskada. Eftersom traditionella metoder för utvärdering av muskelfunktion ifrågasatts i litteraturen och av vår forskargrupp beslutades följande:

1. Vi skulle designa en testmetodik med hög reliabilitet (mätnoggrannhet) och validitet (som mätte nedre extremitetens muskelfunktion), samt med god responsivens (känsliga för kliniskt relevanta förändringar över tid). Med andra ord ville vi ha pålitliga, idrottspecifika tester som kunde ge oss en detaljerad bild av patientens muskelfunktion och där vi kunde läsa av förbättringar som vi och patienten subjektivt såg i kliniken. Testerna skulle

således ha stor förmåga att kunna skilja mellan friskt och skadat ben.

2. Vi ville ha tester som speglade flera relevanta aspekter av muskelfunktion i nedre extremiteten.

3. Vi ville ha testmetodik som kunde genomföras på vilken sjukgymnastik-mottagning som helst som behandlar patienter med knäskador. Vi ville därför också att testerna skulle kunna genomföras på en rimlig tid och att test-utrustningen skulle kunna fås till en rimlig kostnad.

Efter litteraturgenomgångar och diskussioner fastnade vi till slut för att mäta muskulär effektutveckling. Detta kan också benämnas explosiv styrka, power på engelska, det vill säga kraft x hastighet. Hög effekt innebär att kunna prestera hög kraft på kort tid, vilket är mer idrottsspecifikt än att bara prestera kraft [64].

Dessutom ville vi mäta benstyrkan i såväl open som closed chain. Vi hade också kravet för godkänd benstyrka att personen skulle vid alla tre testerna ha 90 procent eller mer styrka i skadade benet jämfört med friska benet. Vi slog alltså ihop testerna i ett testbatteri för att ställa stora krav på patienten. För att ytterligare testa patientens förmåga till hög effektut-

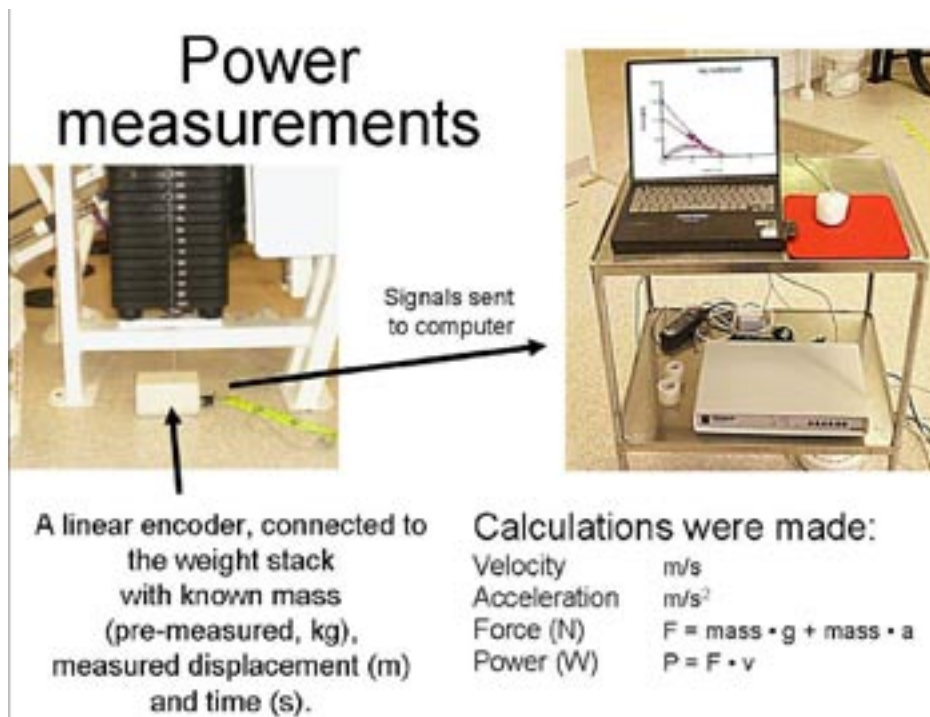
veckling av hela nedre extremiteten/kroppen, med samtidigt inslag av koordination, valde vi att göra tre olika hoppstest. Dessutom skulle ett av hoppstesterna ha ett inslag av hoppförmåga under uttröttnings. Även där med kravet att klara alla tre testerna med 90 procent eller bättre.

Ett datoriserat mätsystem, som kunde användas på sedvanliga träningsmaskiner användes, (MuscleLab®, Ergotest Technology, Oslo, Norge). I systemet ingick även utrustning för att genomföra hoppstesterna. Pilotstudier gav oss att testerna skulle kunna genomföras på rimlig tid.

Alla tester gjordes efter noggrann muntlig och skriftlig information. Patienterna fick även praktiskt träna på testmomenten på mottagningen, för att vara optimalt familiariserade.

Mätning av benstyrka

Benstyrkan mättes isotoniskt och koncentriskt med ett testbatteri bestående av knäextension (Figur 1) och knäflexion (Figur 2) i open chain och benpress i closed chain (Figur 3). Vanliga träningsmaskiner med ett viktmagasin användes. Till viktmagasinet kopplades en så kallad linear encoder för att mäta sträckan som viktmagasinet lyftes och tiden det tog att helt



Figur 4 – Datoriserad mätutrustning



Figur 5 - Vertikalt upphopp



Figur 6 - Enbens längdhopp



Figur 7 - Sidhopp

sträcka eller böja knäet. Försökspersonen blev tillsagd att sträcka eller böja knäet så snabbt och kraftfullt som han/hon kunde. Mätssystemet räknade fram power (W) som en produkt av kraft (N) gånger hastighet (m/s) (Figur 4).

Mätning av hoppförmåga

Hoppförmåga, det vill säga excentriskt/koncentriskt muskelarbete med involvering av "stretch-shortening-cykeln", mättes med ett testbatteri bestående av vertikalt upphopp (Figur 5), enbens längdhopp (Figur 6), samt sidhopp (Figur 7). Vid vertikalt upphopp och enbens längdhopp mättes avstånd och vid sidhopp mättes antal hopp som kunde utföras på 30 sekunder utan att vidröra markeringarna som var placerade med 40 cm mellanrum. En ljusmatta användes för att mäta avstånd och antal hopp.

Resultat

Testerna hade hög test-retest-reliabilitet med ICC-värden mellan 0,85 och 0,98. Beroende på hur resultaten redovisas fås olika bilder av hur framgångsrik rehabiliteringen varit. Figur 8 visar resultaten för 70 patienter ett år efter rekonstruktion av främre korsbandet. Som grupp betraktad har patienterna 90 procent styrka i knäextension i opererade benet jämfört med det friska benet. Detta kan ju tyckas vara ett bra resultat. Däremot är det endast

hälften av patienterna som har nått 90 procent, vilket ju känns som ett mindre tillfredsställande resultat. Motsvarande mönster ses i de övriga testerna.

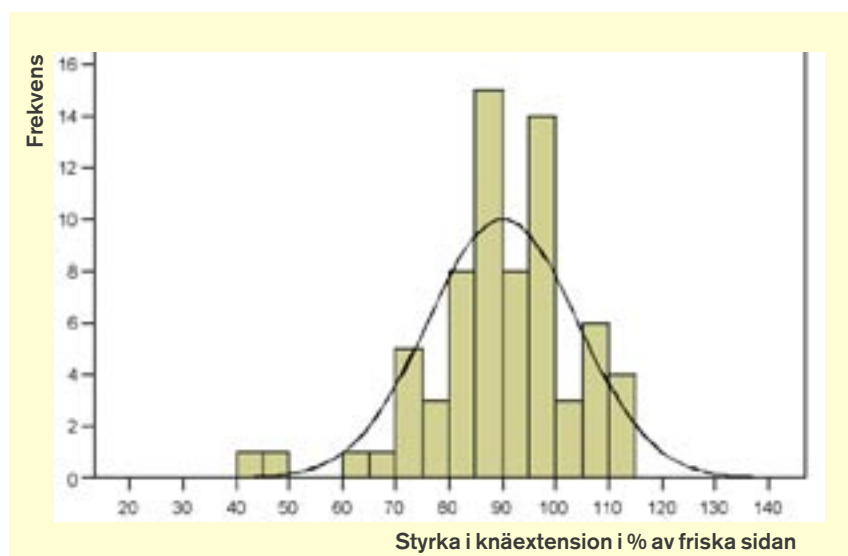
Om vi i stället tittar på testbatterierna så var det cirka fem procent av patienterna som hade godkänt styrketestbatteri och cirka fem procent godkänt hoppbatteri sex månader efter operation. Motsvarande siffror för de två testbatterierna var för sig var cirka 30 procent efter tolv månader och cirka 45 procent efter 24 månader. Till detta skall vi lägga att många patienter faktiskt får sämre muskelfunktion i det friska benet mellan tolv- och 24-månadersuppföljningarna. Således får patienterna till viss del i procent ett bättre opererat ben, tack vare att det friska benet fått sämre muskelfunktion. Sammantaget ställde testbatterierna klart större krav på patienten än vad varje enskilt test gjorde.

Sambanden mellan de tre styrketesterna var ganska starka ($r=0,7-0,8$), det vill säga med förklaringsgrader (r^2) mellan cirka 50 och 65 procent, och likaså mellan de tre hopptesterna ($r=0,75-0,9$), det vill säga med förklaringsgrader (r^2) mellan ca 55 och 80 procent. De starkaste sambanden fanns mellan enbens längdhopp och enbens upphopp. Sambanden mellan styrketesterna och hopptesterna var ($r=0,26-0,7$), med förklaringsgrader (r^2) mellan cirka 7 och 50 procent. Sammantaget visar dessa samband tydligt att alla tester speglar olika aspekter av muskelfunktion.

Rehabilitering

Det finns flera studier som pekar på betydelsen av att rehabiliteringen efter en främre korsbandsskada skall vara väl definierad och individuellt anpassad för att nå ett lyckat resultat [22,40,65-68].

Ett lyckat resultat kan definieras på olika sätt och diskuteras också i litteraturen. För att nå ett lyckat resultat efter en främre korsbandsskada tycks återställd muskelfunktion vara av stor betydelse. Ett optimalt resultat efter främre korsbandsskada skulle kunna vara; 1) full rörlighet i knäleden, 2) ett mekaniskt och funktionellt stabilt knä, 3) ingen knäsmärta, 4) en bra kapacitet för fysisk aktivitet, 5) ingen post-traumatisk knäartros, och 6) en god upplevd knä kvalitet [2,69,70]. För en mer detaljerad beskrivning av de sex punkterna ovan, se vår artikel Främre korsbandsskada - betydelsen av



Figur 8 – Frekvensfördelning av styrka i knäextension i opererade benet i procent av friska benet hos 70 patienter 12 månader efter rekonstruktion av främre korsbandet.

tilltro till sin förmåga i Fysioterapi nr 9/2007. Där presenteras också delar av vår framtida rehabiliteringsmodell för patienter med främre korsbandsskada.

Framtid

Fortfarande råder ingen konsensus om vilka tester eller testresultat som ska ligga till grund för beslut om återgång till idrott eller krävande arbete, men mycket tyder på att ett testbatteri där man tittar på många olika funktioner är att föredra. Flera studier visar också att det tar lång tid att återhämta sig för att kunna återgå till motion och idrott efter korsbandsskada och korsbandsrekonstruktion.

Myklebust och Bahr [71] menar att slutmålet med rehabiliteringen kanske ibland måste vara framtida god knäfunktion utan nya skador i stället för återgång till elitidrott. De menar att det är stor risk att få brosk- eller meniskskada om man återgår till idrott med pivoterande moment utan rekonstruktion av korsbandet och pekar på data som tyder på att nästan alla elitidrottare med korsbandsskada utvecklar knäartros med tiden [71].

Det är viktigt att fortsätta att försöka förstå varför inte fler patienter efter en främre korsbandsskada når ett acceptabelt resultat avseende fysisk aktivitet, symtom, muskelfunktion och upplevd knäkvalitet. I en kvalitativ studie, baserad på semi-strukturerade intervjuer, visar Anette Heijne i sin avhandling att många patienter ger upp när de stöter på motstånd [72]. Deras ansträngningar blir därför inte optimala. Rehabiliteringen blir mer krävande än vad patienten hade förväntat sig. Patienterna är således inte väl förberedda och får tvivel om sin kapacitet, sin tilltro till sin förmåga och hur lönande det är att anstränga sig. Det behövs troligtvis ytterligare stöd från omgivningen, bättre och tydligare information vad som kan förväntas och en strategi för att sätta upp gemensamma, realistiska och genomförbara mål med rehabiliteringen.

Vår forskargrupp har nu ett gediget material av data på patienter med främre korsbandsskada. Vi har identifierat många olika faktorer som karakteriserar de patienter som klarar sig bra. Vi har därför satt upp som ambition för de närmaste åren att se över hela omhändertagandet av patienter med främre korsbandsskada med ambitionen att nå ett bättre resultat

och nå det mycket snabbare, med minimal risk för återfallsskada och framtida knäartros. Våra framtida randomiserade och kontrollerade studier får visa om detta är möjligt.

Referenser

1. Fithian DC, Paxton LW, Goltz DH. Fate of the anterior cruciate ligament-injured knee. *Orthop Clin North Am.* Oct 2002;33(4):621-636.
2. Roos H, Karlsson J. Anterior cruciate ligament instability and reconstruction. Review of current trends in treatment. *Scand J Med Sci Sports.* Dec 1998;8(6):426-431.
3. Von Porat A, Roos EM, Roos H. High prevalence of osteoarthritis 14 years after an anterior cruciate ligament tear in male soccer players: a study of radiographic and patient relevant outcomes. *Ann Rheum Dis.* Mar 2004;63(3):269-273.
4. Greenberger H, Paterno M. Relationship of knee extensor strength and hopping test performance in the assessment of lower extremity function. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995;5:202-6.
5. Ostenberg A, Roos E, Ekdahl C, Roos H. Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 1998;8:257-64.
6. Pincivero DM, Lephart SM, Karunakara RG. Relation between open and closed kinematic chain assessment of knee strength and functional performance. *Clin J Sport Med.* 1997;7:11-6.
7. Brandsson S, Faxén E, Kartus J, Eriksson BI, Karlsson J. Is a knee brace advantageous after anterior cruciate ligament surgery? A prospective, randomised study with a two-year follow-up. *Scand J Med Sci Sports.* 2001;11:110-4.
8. Wilk K, Romaniello W, Soscia S, Arrigo C, Andrews J. The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;2:60-72.
9. Pfeifer K, Banzer W. Motor performance in different dynamic tests in knee rehabilitation. *Scand J Med Sci Sports* 1999;9:19-27.
10. Keller CS, Noyes FR, Buncher CR. The medical aspect of soccer injury epidemiology. *Am J Sports Med* 1987;15:230-237.
11. Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC. The science of anterior cruciate ligament rehabilitation. *Clin Orthop* 2002;402:9-20.
12. Murphy DF, Connolly DAJ, Beynon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med.* 2003;37:13-29.

13. Bahr R, Mæhlum S. Förebygga behandla rehabilitera idrottsskador: SISU idrottsböcker 2004.
14. Arendt E, Dick R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med.* Nov-Dec 1995;23(6):694-701.
15. Barber-Westin SD, Noyes FR, Galloway M. Jump-land characteristics and muscle strength development in young athletes: a gender comparison of 1140 athletes 9 to 17 years of age. *Am J Sports Med.* Mar 2006;34(3):375-384.
16. Karlsson J, Thomeé R, Martinsson L, Swärd L. Motions- och idrottsskador och deras rehabilitering SISU idrottsböcker 1997.
17. Jerre R, Ejerhed L, Wallmon A, Kartus J, Brandsson S, Karlsson J. Functional outcome of anterior cruciate ligament reconstruction in recreational and competitive athletes. *Scand J Med Sci Sports.* 2001 Dec;11(6):342-6.
18. Nyland J, Johnson DL, Caborn DN, Brindle T. Internal health status belief and lower perceived functional deficit are related among anterior cruciate ligament-deficient patients. *Arthroscopy.* 2002 May-Jun;18(5):515-8.
19. Risberg M, Lewek M, Snyder-Mackler L. A systematic review of evidence for anterior cruciate ligament rehabilitation: how much and what type? *Physical Therapy in Sport.* 2004;5(3):125-45.
20. Button K, van Deursen R, Price P. Measurement of functional recovery in individuals with acute anterior cruciate ligament rupture. *Br J Sports Med.* 2005;39:866-71.
21. Neeter C. Knee function after Anterior Cruciate Ligament injury - with special reference to muscle power, hop performance and kinematics during high-intensity running. Thesis, The Sahlgrenska Academy at Göteborg University; 2007.
22. Augustsson J, Thomee R, Karlsson J. Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004 Sep;12(5):350-6.
23. Anderson JL, Lamb SE, Barker KL, et al. Changes in muscle torque following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between hamstrings and patella tendon graft procedures on 45 patients. *Acta Orthop Scand.* Oct 2002;73(5):546-552.
24. Mattacola CG, Perrin DH, Gansneder BM, Gieck JH, Saliba EN, McCue FC, 3rd. Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train.* 2002 Sep;37(3):262-8.
25. Hiemstra LA, Webber S, MacDonald PB, Krielaars DJ. Knee strength deficits after hamstring tendon and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1472-9.
26. Arangio GA, Chen C, Kalady M, et al. Thigh muscle size and strength after anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther.* Nov 1997;26(5):238-243.
27. Petschnig R, Baron R, Albrecht M. The relationship between isokinetic quadriceps strength test and hop tests for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* Jul 1998;28(1):23-31.
28. Urabe Y, Ochi M, Onari K. Changes in isokinetic muscle strength of the lower extremity in recreational athletes with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2002;11:252-267.
29. Wojtys EM, Huston LJ. Longitudinal effects of anterior cruciate ligament injury and patellar tendon autograft reconstruction on neuromuscular performance. *Am J Sports Med.* May-Jun 2000;28(3):336-344.
30. Fitzgerald GK, Axe MJ, Snyder-Mackler L. A decision-making scheme for returning patients to high-level activity with nonoperative treatment after anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8:76-82.
31. Lewek M, Rudolph K, Axe M, et al. The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* Jan 2002;17(1):56-63.
32. Carter T, Edinger S. Isokinetic evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction: Hamstring versus patellar tendon. *Arthroscopy.* 1999;15:169-72.
33. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med.* Sep-Oct 1991;19(5):513-518.
34. Itoh H, Kurosaka M, Yoshiya S, et al. Evaluation of functional deficits determined by four different hop tests in patients with anterior cruciate ligament deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6(4):241-245.
35. Rudolph KS, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Dynamic stability after ACL injury: who can hop? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8(5):262-269.
36. Keays SL, Bullock-Saxton J, Keays AC. Strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res.* 2000 Apr;(373):174-83.
37. Cooper RL, Taylor NF, Feller JA. A systematic review of the effect of proprioceptive and balance exercises on people with an injured or reconstructed

- anterior cruciate ligament. *Res Sports Med.* 2005 Apr-Jun;13(2):163-78.
38. Linko E, Harilainen A, Malmivaara A, S S. Surgical versus conservative interventions for anterior cruciate ligament ruptures in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2005(2).
39. Cupal Dd BBW. Effects of relaxation and guided imagery on knee strength, reinjury anxiety, and pain following anterior cruciate ligament reconstruction. *Rehabilitation Psychology.* 2001;46(1):28-43.
40. Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E. Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8(6):337-42.
41. Zatterstrom R, Friden T, Lindstrand A, Moritz U. Rehabilitation following acute anterior cruciate ligament injuries - a 12-month follow-up of a randomized clinical trial. *Scand J Med Sci Sports.* 2000 Jun;10(3):156-63.
42. Fonseca ST, Ocarino JM, Silva PL, Guimaraes RB, Oliveira MC, Lage CA. Proprioception in individuals with ACL-deficient knee and good muscular and functional performance. *Res Sports Med.* 2005 Jan-Mar;13(1):47-61.
43. Bjorklund K, Skold C, Andersson L, Dalen N. Reliability of a criterion-based test of athletes with knee injuries; where the physiotherapist and the patient independently and simultaneously assess the patient's performance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006 Feb;14(2):165-75.
44. Holm I, Fosdahl MA, Friis A, Risberg MA, Myklebust G, Steen H. Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clin J Sport Med.* 2004 Mar;14(2):88-94.
46. Kobayashi A, Higuchi H, Terauchi M, Kobayashi F, Kimura M, Takagishi K. Muscle performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop.* 2004 Feb;28(1):48-51.
47. Jarvela T, Kannus P, Latvala K, Jarvinen M. Simple measurements in assessing muscle performance after an ACL reconstruction. *Int J Sports Med.* 2002 Apr;23(3):196-201.
47. Shaw T, Williams MT, Chipchase LS. Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. *Aust J Physiother.* 2005;51(1):9-17.
48. Urbach D, Awiszus F. Impaired ability of voluntary quadriceps activation bilaterally interferes with function testing after knee injuries. A twitch interpolation study. *Int J Sports Med.* 2002 May;23(4):231-6.
50. Neeter C, Gustavsson A, Thomee P, Augustsson J, Thomee R, Karlsson J. Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006 Jun;14(6):571-80.
51. Ageberg E, Zatterstrom R, Moritz U, Friden T. Influence of supervised and nonsupervised training on postural control after an acute anterior cruciate ligament rupture: a three-year longitudinal prospective study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31:632-44.
51. Rudroff T. Functional capability is enhanced with semitendinosus than patellar tendon ACL repair. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Sep;35(9):1486-92.
52. Katayama M, Higuchi H, Kimura M, Kobayashi A, Hatayama K, Terauchi M, et al. Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture. *Int Orthop.* 2004 Oct;28(5):278-81.
53. Ferrari JD, Bach BR, Jr., Bush-Joseph CA, Wang T, Bojchuk J. Anterior cruciate ligament reconstruction in men and women: An outcome analysis comparing gender. *Arthroscopy.* 2001 Jul;17(6):588-96.
54. Fischer-Rasmussen T, Jensen PE. Proprioceptive sensitivity and performance in anterior cruciate ligament-deficient knee joints. *Scand J Med Sci Sports.* 2000 Apr;10(2):85-9.
55. Gustavsson A, Neeter C, Thomee P, Gravare Silbernagel K, Augustsson J, Thomee R, et al. A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006 Aug;14(8):778-88.
56. O'Donnell S, Thomas SG, Marks P. Improving the sensitivity of the hop index in patients with an ACL deficient knee by transforming the hop distance scores. *BMC Musculoskelet Disord.* 2006;7:9.
57. Augustsson J. Kinetic chain weight training, strength assessment, and functional performance testing. With reference to sports and rehabilitation. Thesis, Sahlgrenska Academy, Göteborg University, 2003.
58. Johnston RB 3rd, Howard ME, Cawley PW, Losse GM. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1998 Dec;30(12):1703-7
59. Wojtys EM, Wylie BB, Huston LJ. The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees. *Am J Sports Med.* 1996 Sep-Oct;24(5):615-21.

60. Ostenberg A, Roos H. Injury risk factors in female European football. A prospective study of 123 players during one season. *Scand J Med Sci Sports*. 2000;10: 279-85.
61. Dugan SA, Frontera WR. Muscle fatigue and muscle injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2000;11: 385-403.
62. Feagin JA Jr, Lambert KL, Cunningham RR, Anderson LM, Riegel J, King PH, Van Genderen L. Consideration of the anterior cruciate ligament injury in skiing. *Clin Orthop*. 1987;216:13-8.
63. Augustsson J, Thomee R, Linden C, Folkesson M, Tranberg R, Karlsson J. Single-leg hop testing following fatiguing exercise: reliability and biomechanical analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2006 Apr;16(2):111-20.
64. Knuttgen HG, Komi PV. Basic considerations for exercise. In: Komi PV (eds) *Strength and Power in Sport*. Blackwell Science, Oxford, 2003, pp. 3-7
65. Solomonow M, Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports*. 2001 Apr;11(2):64-80.
66. Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, et al. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med*. 2005;33:1579-1602.
67. Kvist J, Gillquist J. Sagittal plane knee translation and electromyographic activity during closed and open kinetic chain exercises in anterior cruciate ligament-deficient patients and control subjects. *Am J Sports Med*. 2001;29:72-82.
68. Trees A, Howe T, Dixon J, White L. Exercise for treating isolated anterior cruciate ligament injuries in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2005 19(4).
69. Almekinders LC, Pandarinath R, Rahusen FT. Knee stability following anterior cruciate ligament rupture and surgery. The contribution of irreducible tibial subluxation. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86-A: 983-987.
70. Frank CB, Jackson DW. The science of reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 79:1556-1576, 1997.
71. Myklebust G, Bahr R. Return to play guidelines after anterior cruciate ligament surgery. *Br J Sports Med*. 2005;39:127-31.
72. Heijne A. Predictive factors for the 12 months outcome after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. In: Thesis for doctoral degree, Stockholm, 2007.