
Fageksamen Dr.scient studiet

Grethe Myklebust



Hva er sansemotorisk funksjon, og hvilke effekter har trening av sansemotorisk funksjon?

Norges Idrettshøgskole, Juni 2002



Innholdsfortegnelse:

1.0 Avgrensning av oppgaven og definering av sentrale begreper	3
1.1 Avgrensning av oppgaven.....	3
1.1 Definisjon av sentrale begreper	5
2.0 Hva er sansemotorisk funksjon?	7
2.1 Innledning	7
2.2 Det sansemotoriske system	8
2.2.1 Generelt om reseptorer.....	8
2.2.2 Propriosepsjon og proprioceptorer.....	9
2.2.3 Ligamentenes betydning for leddstabilitet, muskelkoordinasjon og proprioepsjon.....	11
2.2.4 Feedback og feed-forward mekanismer.....	12
2.2.5 Sentralnervesystemet	13
2.2.6 Mekanoreseptorene i kneleddet - betydning for den nevromuskulære funksjonen.....	14
2.2.7 Konsekvenser av en ACL skade	15
2.2.8 Oppsummering.....	17
3.0 Hvilke effekter har trening av sansemotorisk funksjon?	18
3.1 Innledning	18
3.2 Nevromuskulær trening	19
3.3 Testing av nevromuskulær funksjon/målemetoder.....	20
3.3.1 Målemetoder	21
3.3.2 Oppsummering målemetoder.....	24
3.4 Studier på effekt av nevromuskulær trening - ankelskader	24
3.4.1 Mekanisk og funksjonell instabilitet.....	25
3.4.2 Effekt av nevromuskulær trening på personer med friske ankler.....	25
3.4.3 Effekt av nevromuskulær trening hos personer etter ankelskade	26
3.4.4 Forebygging av ankelskader ved nevromuskulær trening	28
3.4.5 Oppsummering ankelskader.....	29
3.5 Studier på effekt av nevromuskulær trening – ACL skader	30
3.5.1 Effekt av nevromuskulær trening hos personer med ACL skade	30

3.5.2 Forebygging av ACL skader ved nevro-muskulær trening.....	32
3.5.3 Oppsummering ACL skader	36
4.0 Sluttkommentar.....	37
5.0 Referanser	38

1.0 Avgrensning av oppgaven og definering av sentrale begreper

1.1 Avgrensning av oppgaven

Denne oppgaven har jeg valgt å dele i to hoveddeler, i den første delen vil jeg beskrive og definere hva sansemotorisk funksjon og andre beslektede begrep er. Jeg vil gå igjennom de sentrale elementene i hva som skjer fra en reseptor i en ekstremitet fyrer til det svaret vi får i form av en motorisk respons. Under beskrivelsen av det sansemotoriske system vil jeg gi eksempler hentet fra studier fra kneleddet, (naturlig valg da det er gjort mest forskning på kneet, i kombinasjon med en spesiell interesse fra undertegnede) selv om virkningsmekanismene vil være likt det vi ser i forskning omkring ankel, rygg og skulder.

I en fullstendig beskrivelse av det sansemotoriske system har både det vestibulare og visuelle systemet en betydning, men jeg har valgt å utelukke en beskrivelse av anatomisk oppbygging og deres funksjoner i denne oppgaven. Mange vil også knytte begrepet sansemotorikk til behandling av nevrologiske lidelser, men dette er et område jeg utelukker i denne oppgaven. Jeg har også utelukket beskrivelser av hvordan tretthet, stress og mental ubalanse eventuelt kan påvirke det sansemotoriske systemet.

Oppgaven inneholder begrepet funksjon, men jeg har valgt å se på sansemotorisk funksjon som en helhet og derfor relateres ikke begrepet "funksjon" opp mot ICF (International classification of function, disability and health), klassifikasjons-systemet for "funksjon og funksjonshemming."

I andre del av oppgaven "effekt av trening av sansemotorisk funksjon" vil jeg starte med å klargjøre og definere sentrale begreper. Deretter vil jeg gjennomgå noen av de målemetodene som brukes for å teste nevromuskulær funksjon og komme inn på problematikken rundt testing av den nevromuskulær funksjonen. Det vil ikke bli en gjennomgang av alle aktuelle målemetoder innen dette feltet, det vil bli for omfattende, men jeg vil nevne noen av de mest brukte og aktuelle på studier av ankler og knær.

Med begrepet trening i denne sammenheng er det i forhold til trening av ankler og knær hvor målet er å oppnå en effekt i forhold til det sansemotoriske systemet.

Deretter går jeg igjennom studier som ser på effekt av nevromuskulær trening (NMT) (begrepet jeg har valgt å bruke i stedet for sansemotorisk trening) på ankler og knær. Hovedvekten blir på studier som omhandler effekt av NMT på ligamentskader i ankler og fremre korsbåndskader (ACL), og på studier som har sett på forebygging av disse skadene.

Jeg har under gjennomgangen av stoffet prøvd å relatere deler av forskningen i forhold til en klinisk tankegang og virksomhet som fysioterapeut.

Jeg har i oppgaven tatt i bruk artikler hentet fra Medline og Sport, brukt litteratur jeg selv har på feltet, bøker ved Norges Idrettshøgskole samt ved å kontakte ressurspersoner på feltet. I noen tilfeller har jeg kun hentet ut abstractene og brukt nødvendig informasjon derfra.

Under punkt 2.2.1 "Generelt om sanseorganer/reseptorer" har jeg brukt Brodal's bok Sentralnervesystemet-bygning og funksjon som hovedreferanse hvis ikke annet er referert på vanlig måte.

Jeg vil ellers takke sensorene for en interessant oppgave, dog innenfor et vanskelig område med utallige begrep og definisjoner. Det har vært svært lærerikt, til dels frustrerende men veldig nyttig for mitt videre arbeid forskningsmessig og klinisk.

God sommer!

Oslo 24 juni 2002

Grethe Mykebust

1.1 Definisjon av sentrale begreper

Det sansemotoriske systemet	Det beskriver mekanismene ervervet fra et sensorisk stimuli og omdannelsen av et stimuli til et neuralt signal, sammen med overføringen av signalet via de afferente banene til sentralnervesystemet (CNS). Det beskriver i tillegg prosessering og integrering av signalet via de ulike sentrene i CNS, likeså den motoriske respons som resulterer i en muskels aktivering for bevegelse og funksjonelle handlinger og ledd stabilitet (Fritt oversatt fra Lephart & Fu) (Lephart & Fu 2000)
Proprioepsjon	Den bevisste oppfatningen av en ekstremitets stilling i rommet, og en ekstremitets bevegelse og hastighet - brukes ofte synonymt med kinestesi (leddsans) (Brodal 1995)
Nevromuskulær kontroll	Evnen til å lage en kontrollert bevegelse gjennom koordinert muskel aktivitet (Williams) eller den efferente respons til den sensorisk afferente informasjon (Jonsson <i>et al.</i> 1989)
Nevromuskulær funksjon	Et uttrykk for nevro-muskulær kontroll, som sier noe om hvordan en pasient utfører en sammensatt bevegelse
Nevromuskulær trening	Trening som har til hensikt å påvirke sensoriske og sentralnervøse mekanismer for å stimulere og oppøve et funksjonelt muskelaktiveringsmønster
Balansetrening	Trening for å opprettholde en stilling
Perturbation	”An unexpected physical event that changes the movement or the movement goal” (Lephart & Fu 2000)
Plyometrisk trening (hoppetrening)	A quick, powerful movement involving prestretching the muscle and activating the stretch-shortening cycle to produce a subsequently stronger concentric contraction (Voight & Tippet 1994)
Motor control	Control of posture, balance and movement, involving interaction between the individual, the task and the environment (Shumway-Cook & Woollacott 1995)
Motor learning	The process of acquisition and or modification of movement (Shumway-Cook & Woollacott 1995)
Trening	Systematisk påvirkning av organismen over tid, med sikte på endring av de fysiske, psykiske og sosiale forventninger som ligger til grunn for prestasjonsevnen (Gjerset <i>et al.</i> 1995)

ACL	Anterior Cruciate ligament
CNS	Sentralnervesystemet
TTDPM	Threshold to detect passive motion

2.0 Hva er sansemotorisk funksjon?

2.1 Innledning

Sansemotorisk funksjon er et begrep som de fleste som arbeider med rehabilitering innen muskelskjelett-systemet og nevrologi har et forhold til, har en forestilling om hva innebærer og hvilke strukturer det gjelder. Men det er et begrep som er vanskelig å definere. I bokmålsordboka er det nærmeste jeg kommer "sanse" = "fornemme/oppfatte", "sansenerve" = sensorisk nerve og "sanseorgan" = organ som opptar sanseintrykk fra omverden (1993). I Per Brodals "sentralnervesystemet" finner jeg "sanseorganer" - se "reseptorer" (Brodal 1995). Engelsk litteratur er også fylt med ulike begreper, og det nærmeste begrepet jeg kommer "sansemotorisk funksjon" er "sensorimotor system". Definisjonen av begrepet er: "The sensorimotor system describes mechanisms involved in acquisition of a sensory stimulus and conversion of the stimulus to a neural signal, along with transmission of the signal via afferent pathways to the CNS. Additionally, it describes processing and integration of the signal by the various centers of the CNS and central command generators, as well as the motor responses resulting in muscle activation for locomotion and the performance of functional tasks and joint stabilisation" (Lephart & Fu 2000). Denne definisjonen ble utformet av verdens ledende forskere innenfor feltet i forbindelse med en workshop i 1997. Definisjonen innbefatter alt som skjer fra fyringen i den afferente impulsen til vi får en motorisk respons som svar i form av en koordinert bevegelse. Jeg opplever "det sansemotoriske systemet" som et mer presist og anerkjent uttrykk enn "sansemotorisk funksjon", og vil i resten av oppgaven bruke dette begrepet.

Et annet begrep som benyttes hyppig i nyere litteratur er "nevromuskulær funksjon". Dette er et begrep jeg ikke har klart å finne primærhenvielse til, men Wojtys (1994) brukte begrepet tidlig i forhold til evaluering av pasienters funksjonsevne etter ligamentskader i knær. Dette i en sammenheng hvor nevromuskulær funksjon skulle beskrive pasienters funksjon i forhold til en aktivitet, ikke bare i forhold til en enkel bevegelse (Wojtys & Huston 1994).

Beskrivelse av det sansemotoriske systemet er å bevege seg inn i et felt hvor man på enkelte områder vet en del, mens man på andre deler av feltet uttrykker seg med stor forsiktighet, mange forbehold og samtidig unndrar å trekke bastante konklusjoner.

I denne delen av oppgaven gir jeg først en generell beskrivelse av reseptorene, med vekt på proprioseptorene, deres beliggenhet og funksjon. Jeg vil også relativt kort beskrive de ulike nivåene bearbeidingen av impulsene skjer på, mekanismene i hjernestammen og i cortex. Deretter vil jeg bruke fremre korsbånd (ACL) som eksempel på betydningen av reseptorene for kneleddets funksjon og hvordan en skade av ACL påvirker knefunksjonen. Til slutt vil jeg beskrive konsekvensene av en ACL skade i forhold til det sansemotoriske systemet.

2.2 Det sansemotoriske system

Det sansemotoriske system innbefatter den afferente, efferente og de sentrale integreringer og bearbeidinger som gjør det mulig å vedlikeholde funksjonell leddstabilitet. Både visuelle og vestibulare input bidrar i dette systemet. Fra et klinisk synspunkt er input fra de perifere mekanoreseptorene viktigst (Lephart and Fu 2000).

2.2.1 Generelt om reseptorer

Reseptorer finnes praktisk talt overalt i kroppen og de gir opphav til elektriske signaler i form av nerveimpulser. Signalene ledes inn til CNS og forteller om forholdene i det området signalene kommer fra. Når reseptoren stimuleres oppfattes det subjektivt som et inntrykk av for eksempel smerte, bevegelse eller berøring.

Egenskaper: Reseptorene ”oversetter” signalene til elektriske impulser eller aksjonspotensialer som CNS forstår. Reseptorene er spesielt tilpasset for å informere om en bestemt type påvirkning, reseptorens adekvate stimulus er det stimulus den lettest reagerer på. Den sanseopplevelsen vi får ved stimulering av en bestemt reseptor er karakteristisk for denne reseptoren uansett hva som fikk den til å sende impulser. Reseptorene har forskjellig grad av adaptasjon, noen er langsomt adapterende, f. eks smertereseptorer, andre er raskt adapterende, f. eks reseptorer i huden som gir informasjon om berøring.

Klassifisering av reseptorene skjer på grunnlag av deres adekvate stimuli. En gruppe av reseptorer reagerer på formforandring i det vevet de ligger i, og dermed formforandring av reseptoren selv og gir beskjed til CNS om mekaniske stimuli, de kalles mekanoreseptorer.

Det er to typer mekanoreseptorer, lavterskel, som reagerer på selv et lite strekk av f. eks muskulaturen, og høytterskel reseptorer som reagerer kun når den mekaniske stimuleringen er så sterk at den oppfattes som smertefull.

Signalene fra mekanoreseptorene ledes raskt sentralt i tykke myeliniserte aksoner og det er stillingsforandringer i ledd som fremkaller endringer i impulstrafikken fra reseptorene (Brodal 1995).

2.2.2 Proprioepsjon og proprioseptorer

Proprioepsjon er definert som ”den beviste oppfatningen av en ekstremitets stilling i rommet og en ekstremitets bevegelse”. Det var Sherrington som i 1906 utledet termen fra latin (re)ceptus (motta) og propius (ens egen) (Sherrington 1906). Begrepet har vært brukt på ulike måter opp igjennom årene og blir ofte brukt synonymt med både kinestesi og balanse (Brodal 1995).

Proprioseptorer er reseptorer (mekanoreseptorer) som er lokalisert i ledd (ligamenter, menisk, kapsel: Ruffini endelegemer, Vater Pakiniske legemer, Golgi sene organer) og muskler (muskelspoler og senespoler) (tabell 1). Bevegelse gir en mekanisk deformasjon av disse strukturene og det fyres aksjonspotensialer til CNS. Når den afferente informasjonen når CNS, gir den en bevisst oppfattelse av et ledds bevegelse og posisjon. Den afferente informasjonen gir en efferent respons tilbake og gir en motorisk respons i form av en koordinert bevegelse (Lephart & Fu 2000).

Receptor type	Location	Sensitive to	Active when the joint is	Activation threshold	Response to persistent stimuli
Ruffini endings	Capsule and ligaments	Joint position intra-articular pressure amplitude of movement velocity of movement	Static or dynamic	Low	Slowing adapting
Pacinian corpuscles	Capsule, ligaments, menisci, and fat pads	Acceleration or deceleration	Dynamic only	Low	Rapidly adapting
Golgi tendon organ-like	Ligaments and menisci	Tension in ligaments, especially at end-range of motion	Dynamic only	High	Slowly adapting
Free nerve endings	Widely distributed in capsule, ligaments, and fat pads, fewer in menisci	Pain from mechanical or chemical origin	Inactive, except in the presence of noxious stimuli; then static or dynamic	High	Slowly adapting

Tabell 1. Egenskaper ved leddreseptorer i kneet (Fra Lephart & Fu)

Leddkapselen: Reseptorene i leddkapselen er Ruffini endelegemer, Vater Pakinske endelegemer og frie nerveendinger. Ruffini endelegemer finnes hyppigst på den siden av leddet som er under strekk når leddet er ekstendert. De er sakte adapterende mekanoreseptorer og er sett på som de reseptorene som samler informasjon om leddets stilling. De responderer mer på belastning enn forskyvning. I knelledet fyrer disse reseptorene bare når leddet er under ekstrem ekstensjon. Studier hvor de har

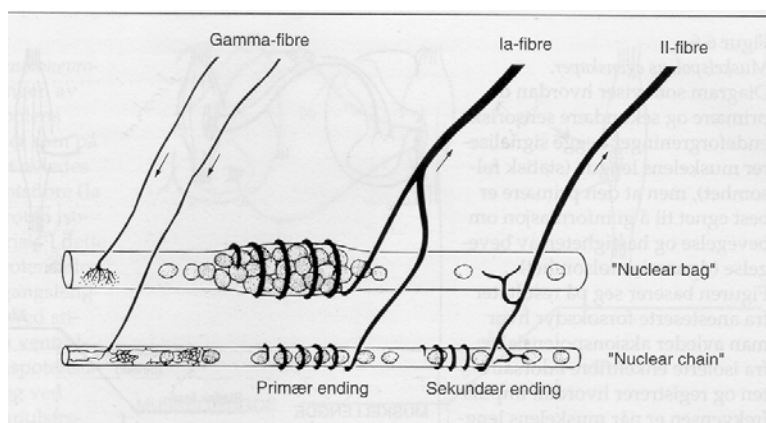
mikrostimulert fibre fra Ruffini nerveendinger har blitt assosiert med følelsen av leddbevegelse (Grigg 1994).

Vater Pakinski legemer er jevnt fordelt i leddkapselen og i omliggende vev. De responderer primært på kompresjon av området de ligger i. De er hurtigadopterende reseptorer og reagerer med en strøm av signaler før de raskt ”roer” seg. De samler primært informasjon om akselerasjon eller oppbremsing av ledd bevegelser.

Mikrostimulering av Vater Pakinski legemer har gitt følelsen av kompresjon.

Frie nerveendinger responderer primært på skadelige (noxious) stimuli og er derfor mer en nosiseptor (smertereseptor) enn en proprioseptor. De reagerer på ekstreme rotasjoner i ledd. Det er også vist at de frie nerveendingene er sensitivert når et ledd er inflammet noe som styrker teorien om at de er nosiseptorer framfor proprioseptorer (Grigg 1994).

Muskelspolene: De ligger i bindevevet mellom bunter av muskelfibre og består av noen få spesielle fibre innesluttet i en bindevevskapsel. Fibrene i spolen kalles intrafusale og er tynnere og kortere enn vanlige muskelfibre i motsetning til de ekstrafusale som ligger utenfor spolen. Det finnes to typer intrafusale fibre, ”nuclear chain fibre” (cellekjernen ligger fordelt i hele fiberens lengde) og ”nuclear bag fibre” (cellekjernen ligger i fiberens midtparti) (Figur 1).



Figur 1. Muskelspolen. Skjematisk fremstilling av de to typene av intrafusale muskelfibre og deres innervasjon.

Noe forenklet kan vi si at muskelspolenes nerveforsyning består av Ia fibre som er tykke sensoriske fibre, såkalte ”primære sensoriske endeforgreininger” og i type II fibre som er tynnere og kalles ”sekundære sensoriske endegreininger”. Det adekvate stimulus for disse endeforgreiningene er strekk av de intrafusale muskelfibrene. Det

fører til deformering av aksjonslyngene og dermed utløsning av aksjonspotensialer. Muskelspolene forsynes også med motoriske fibre, såkalte γ -(gamma) fibre, som kommer fra γ -motonevronene som har sine cellelegemer i ryggmargens forhorn. Gammafibrene ender i de distale delene av de intrafusale fibre og stimulering av fibre gir kontraksjon.

Musklespolens hovedfunksjon er å justere muskellengden. Når muskelen blir utsatt for en belastning, fyrer de intrafusale fibre kraftig og sender signaler til CNS. α -motonevronene fyrer og gir en kontraksjon av muskelen. Når belastningen på muskelen går ned, minker fyringene fra muskelspolen som igjen reduserer aktiviteten i α -motonevronene. Muskelspolens sensitivitet reguleres kontinuerlig av γ -motor systemet og det gjør det mulig at leddposisjon og bevegelsen blir regulert gjennom hele bevegelsesbanen.

De intrafusale fibre ligger parallelt med de ektrafusale fibre og er festet med begge ender til bindevevet som henger sammen med senene. Når muskelen som helhet kontraheres ved kontraksjon av de ektrafusale fibre vil muskelspolen slappes fordi dens to faste punkter nærmer seg hverandre.

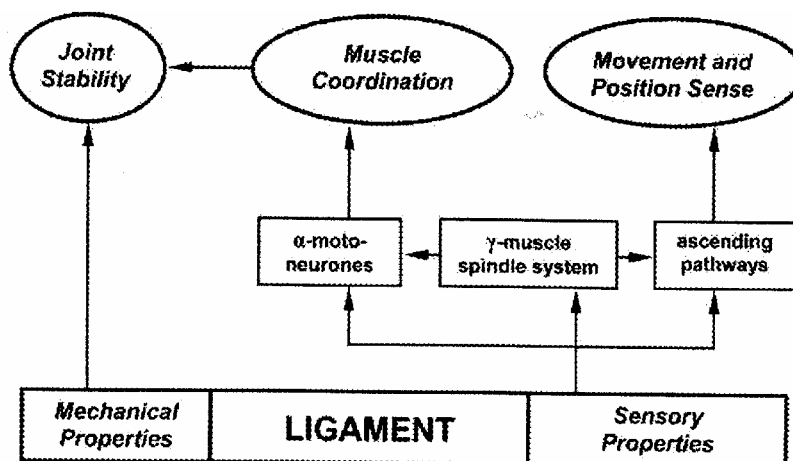
Senespolen: Senespolen består av en sensorisk nervefiber som slynger seg rundt og mellom bindevevsfibre i senen i overgangen til muskelen. Nervefiberen er noe tynnere enn muskelspolenes primære endeforgreining og kalles Ib fiber. Det adekvate stimulus er strekk av senen, og forsøk har vist at de er langsomt adapterende.

Muskelspolen gir CNS informasjon om muskelens spenning, og den er mer følsom for spenning oppstått ved aktiv kontraksjon enn ved passivt strekk.

Mekanoreseptorene i muskelseneovergangen består av muskelspolene og Golgi seneorganer. Muskelspolene gir informasjon om muskellengden og vil derfor kunne være med å gi informasjon om leddets bevegelser. Golgi seneorganer er lokalisert i muskelseneovergangen og skal beskytte muskelen mot overbelastning. Reseptoren fyrer ved kontraksjon av muskelen eller ved passiv strekk av den (Brodal 1995).

2.2.3 Ligamentenes betydning for leddstabilitet, muskelkoordinasjon og proprioepsjon

Sjølander et al (2002) har presentert en modell som gir en skjematisk oversikt over hvordan ligamentenes mekaniske og sensoriske egenskaper påvirker leddstabilitet, muskel koordinasjon og proprioepsjon (Figur 2) (Sjølander & Johansson 2002).



Figur 2. Skjematisk oversikt over hvordan mekaniske og sensoriske egenskaper ved ligamenter bidrar til leddstabilitet, muskel koordinasjon og proprioepsjon

De tenker seg at vår beviste evne til å kjenne leddposisjon og bevegelser av våre ekstremiteter i forhold til hverandre, og til kroppen kan skje via direkte spinale afferente baner eller indirekte via reflekser i γ (gamma)-muskel spole systemet. De afferente signalene fra ligamentene kan bidra til motorisk kontroll og koordinasjon gjennom polysynaptiske interneurale veier, og da igjen virke på γ -muskel-spolesystemet. I tillegg har ligamentene en mekanisk rolle ved å forhindre for stor leddbevegelighet. Men den funksjonelle stabiliteten hos leddet er også avhengig av leddkapsel, leddflatene, friksjonen mellom leddenes bruskbærende flater og de komprimerende kreftene som skapes av kroppsvekt og muskelaktiviteten rundt leddet (Sjølander & Johansson 2002). Blant disse faktorene har det blitt vist at et justert muskelaktiverings-mønster er helt avgjørende (Solomonow & Krogsgaard 2001). Sjølander mener at siden de afferente reseptorene i ligamentene er involvert i kontrollen av muskelstivhet og koordinasjon kan man si at ligamentene bidrar til funksjonell leddstabilitet ved en kombinasjon av deres mekaniske og sensoriske egenskaper (Sjølander & Johansson 2002).

2.2.4 Feedback og feed-forward mekanismer

Det er to motoriske kontroll mekanismer som er involvert når det gjelder bearbeidingen av den afferente informasjonen og koordineringen av den efferente responsen i forbindelse med bevegelse av et ledd (Swanik *et al.* 1997). Feedback mekanismen regulerer den motoriske kontrollen, ved kontinuerlig å gi informasjon fra ledd og muskler som reflektorisk gir respons tilbake til muskulaturen. Feedback

prosessen er en "sakte" prosess og styrer kroppsstilling og langsomme bevegelser. Feed-forward mekanismene er basert på informasjon i CNS fra tidligere erfaringer og betegnes som CNS - forberedende aktivering av muskulaturen. Denne responsen igangsettes på subcorticalt nivå, og er ikke avhengig av stimuli fra periferien. Den har derfor betydning for dynamisk bevegelse og utføring av kontrollerte bevegelser. Begge disse kontrollmekanismene kan bedre den dynamiske stabiliteten hvis de sensoriske og motoriske banene blir hyppig stimulert. Man tenker seg at signalene kan bli lagret og "husket" slik at de kan være "preprogrammert" og nyttiggjøres i nye situasjoner (Swanik *et al.* 1997). Dette er mekanismer som kan være viktig i utviklingen av idrettsspesifikke bevegelser, hvor "baning" av nye bevegelser er sentralt og hvor automatisering av bevegelser er et mål. Hvis en kobler disse mekanismene mot forebygging av skader så blir det ekstremt viktig at man baner "riktige" bevegelser fra starten av, slik at bevegelsesmønster som utvikles er mest mulig beskyttende for en utøver.

2.2.5 Sentralnervesystemet

Det er vist at det kan oppstå endringer i deler av sensorisk cortex etter en ACL skade (Valeriani *et al.* 1996; Valeriani *et al.* 1999). Sensoriske input (fra proprioceptorer) til cortex sender signaler til andre deler av cortex cerebri som "planlegger" motoriske aktiviteter, og til primære motoriske regioner i cortex. Denne påvirkningen av CNS etter en perifer skade kan være en av årsakene til de endringer i balanse og bevegelsesmønster vi ser hos enkelte pasienter med en ACL skade. Høyere liggende områder i CNS har stor betydning for kontroll av motorikk. Bevegelser er ikke bare styrt av reflekser der stimulering av reseptorer perifert gir sensorisk feedback til CNS med påfølgende reflektorisk respons. Vår kontroll av motorikk styres av høyere liggende områder i CNS og innlæring av ferdigheter kan medføre en preprogrammering av bevegelsesmønster i CNS (sansemotoriske erfaringer). Slike preprogrammerte bevegelsesmønstre vil kunne aktiveres hurtigere enn hvis man var avhengig av sensoriske stimuli fra periferien. Motoriske programmer kan således lagres i CNS, og kan initiere bevegelser uten vesentlige bidrag fra sensoriske feedback fra periferien (Swanik *et al.* 1997).

2.2.6 Mekanoreseptorene i kneleddet - betydning for den nevromuskulære funksjonen

Selv om hovedfunksjonen til ACL er mekanisk ved at ACL bidrar til å hindre ventralglidning av tibia i forhold til femur, har fokus på dens sensoriske funksjon økt de senere årene, blant annet fordi det ikke er funnet sammenheng mellom mekanisk stabilitet i kneleddet og pasientenes opplevelse av knefunksjonen (Snyder-Mackler *et al.* 1997).

ACL er kneleddets viktigste stabilisator og tåler en belastning på 2000 N før det ryker. Uten koaktivering av hamstringsmuskulaturen ville en kraftig kontraksjon av m. quadriceps lett ha rupturert ligamentet. I stedet vil koaktiveringen balansere kreftene som virker på leddet og gi et stabilt ledd (Krogsgaard *et al.* 2002).

Proprioseptorene i ACL er hovedsakelig Ruffini endelegemer, men også et mindre antall Vater Pacinski legemer og Golgi sene organer (Schultz *et al.* 1984; Schutte *et al.* 1987). Det er påvist signaler fra ACL og helt opp til sensoriske deler av cortex (Pitman *et al.* 1992).

Det er imidlertid dokumentert svært få proprioseptorer i ACL; noen hevder ca 1% av arealet av ACL (Schutte *et al.* 1987), andre opererer med maksimum 17 reseptorer (Krauspe *et al.* 1995). Antallet per se behøver ikke ha noen betydning, de kan ha sin helt spesielle funksjon, men sett i forhold til alle de andre reseptorene i og rundt kneleddet er antallet meget lite.

Det har lenge vært oppfatningen at den viktigste rollen til reseptorene i leddet har vært å beskytte leddet for skader ved å aktivere beskyttelses-reflekser fra muskulaturen.

Man har tenkt seg at når leddet har blitt utsatt for ekstreme bevegelser så skulle beskyttende muskelreflekser bli aktivert og forhindre skader av leddet. En mulig ACL-hamstringsrefleks har hyppig vært diskutert som en mulig beskytter av ACL, men studier primært på katter har vist at fyringen av hamstrings tar for lang tid til å kunne virke beskyttende på leddet. Det diskuteres fortsatt om slike mekanismer finnes, og hvis så er tilfelle vil den kliniske relevansen være minimal siden refleksene vil tre i kraft for sent til å kunne beskytte leddet mot en skade (Dyhre-Poulsen & Krogsgaard 2000). Men det kan være mulig at mekanoreseptorene i leddet kan bidra til muskel kokontraksjon og leddstabilitet via feed-forward og preprogrammerings mekanismene, men i hvor stor grad dette gjelder er fortsatt ikke vitenskapelig klarlagt (Sjølander & Johansson 2002). Krogsgaard *et al.* (2002) ser som Sjølander muligheten

av at de afferente impulsene fra ligamentet kan brukes i de komplekse motoriske programmene som kontrollerer muskelkoordinasjonen under aktivitet. En hendelse med et rush av signaler er ikke nok for å kunne endre de motoriske programmene men man tenker seg at mange lignende hendelser kan ”oppdatere” de motoriske programmene slik at vi eventuelt kan få en endret motorisk respons, dette ikke bare ved sensorisk aktivitet fra leddene men fra flere områder, synet inkludert (Krogsgaard *et al.* 2002).

Rent klinisk er det på det rene at vi må tenke utover den styrkemessige siden ved trening av friske og skadde personer. Nevromuskulær trening (se detaljer i del II) hvor en prøver å påvirke reflekshastigheten og bevisstheten rundt bevegelsene synes viktig. Vi kan også tenke oss at vi må utsette leddene, og dermed også reseptoraktiviteten for høyhastighetstrening hvor leddet belastes i ulike vinkler med ulik grad av rotasjon for å ha en mulighet til i det hele tatt å påvirke dette kompliserte systemet. Som Sjølander hevder er det kanskje en utopi at vi kan tro at vi kan trene opp reflekshastighet slik at vi kan ”redde” en person fra f. eks en ACL skade, men jeg tror allikevel at bruk av kunnskapen som forskning på dette området gir, kan være med å påvirke hvilken type ressurser og øvelser vi setter i gang for å forsøke å forebygge skader. I tråd med Krogsgaards tanker så er det fornuftig å trene ”hele” personen. Her tar en hensyn til ikke bare aktiviteten som skjer rundt f. eks kneleddet, men tenker motorisk kontroll i underekstremitetene, og ikke minst i hele overkroppen. Repeterende trening som muligens kan gi ”nok” impulser til at vi kan få påvirket den motoriske responsen i form av mer koordinerte og kanskje skadeforebyggende bevegelser.

2.2.7 Konsekvenser av en ACL skade

De fleste studier har vist nedsatt proprioepsjon hos individer med en ACL skade i forhold til friskt ben, eller i forhold til en kontrollgruppe (Barrett 1991; Borsa *et al.* 1997; MacDonald *et al.* 1996). Studiene av pasienter med ACL-opererte knær er mindre entydige, noen har rapportert om fortsatt nedsatt proprioepsjon etter ACL rekonstruksjon (Lephart *et al.* 1992), andre finner ingen forskjell (Risberg *et al.* 1999), mens noen finner nedsatt proprioepsjon etter operasjonen med gradvis bedring etter hvert (Fremerey *et al.* 2000). Dette kan forklares ut fra den tid det tar for regenerering av mekanoreseptorer i det rekonstruerte korsbåndet (Ochi *et al.* 1999; Shimizu *et al.* 1999).

Man har også funnet nedsatt proprioepsjon i det friske benet etter en ACL skade, noe som tyder på en bilateral nedsatt proprioepsjon (Roberts *et al.* 1999). Den proprioceptive evnen blir ytterligere forverret ved tilleggskader i form av menisk eller bruskskader, noe som også stemmer med pasienters subjektive oppfatning av knefunksjonen (Friden *et al.* 2001).

Flere studier har vist at quadricepsmuskulaturen er inhibert og har dårlig funksjon lenge etter en ACL skade (Snyder-Mackler *et al.* 1993), (Kannus *et al.* 1992). Men pasienter med ACL skader som fungerer bra er i stand til å rekruttere hamstringsmuskulaturen raskere enn de som har en ACL skade og som opplever sviktfølelse i kneet (Beard *et al.* 1993). Det er videre vist forskjell på skadet side og ikke skadet side når det gjelder hvilke muskler i underekstremiteten som trer inn (rekrutteringsmønster) og til hvilket tidspunkt de ulike muskelgrupper trer inn (timing) under funksjonelle aktiviteter, og ved testing ved fremoverglidning av tibia i forhold til femur (Wojtys & Huston 2000).

Ved testing av skadet ben er det vanlig å sammenligne resultatene med friskt ben, og en forskjell på mindre enn 15% mellom benene har vært sett på som tilfredstillende resultat ved for eksempel ett-bens hoppetest (Johansson & Sjølander 1993). Men siden en unilateral ACL skade har en effekt også på den nevromuskulære funksjonen på det friske benet kan man stille spørsmålsteget ved å i det hele tatt bruke friskt ben som kontroll (Ageberg 2002). I vår kliniske hverdag er det stort sett sammenligninger med friskt ben som er gjeldende for å vurdere hvor bra både styrke og nevromuskulær kontroll pasienten har i forbindelse med f. eks ”friskmelding” til idrett. Ageberg (2002) hevder at det friske benet er et unøyaktig mål slik at det blir vesentlig å teste ut pasienten i forhold til friske kontroller (Ageberg 2002). Klinisk kan dette være vanskelig å gjennomføre, da de friske kontrollene skal matche pasientene på mange områder for i det hele tatt å være ”gode kontroller.” Det vil sannsynligvis fortsatt være vanlig å bruke friskt ben som kontroll, men det er viktig å teste pasientene så nært opp mot de situasjonene som idretten/arbeidet krever. Dette krever videre utvikling av tester og målemetoder.

Det er også studier som viser at hamstringsaktiviteten i det skadde benet kan trenes opp til å fyre raskere enn i det friske benet slik at man mener at posturale responser kan bli unilateralt omstrukturert og preprogrammert for å kompensere for instabiliteten (Lavender *et al.* 1999). Det hevdes også at noen kan kompensere for tap

av afferente impulser fra ACL ved høyere aktivitet fra kneleddets andre strukturer (Cordo *et al.* 1994).

Når det gjelder ACL rekonstruksjoner så har det vært foreslått at det kunne være et poeng å beholde den øverste delen av det femorale utspringet da det er funnet flest mekanoreseptorer i dette området. Man tenker seg da at resten av ACL skal syes til det nye graftet og at den sensoriske innervasjonen kan bli spart (Krogsgaard *et al.* 2002). Men hvordan skal en eventuell effekt av dette kunne måles? Krogsgaard konkluderer selv med at effekten av dette er ukjent og at det er nødvendig med videre forskning (Dyhre-Poulsen & Krogsgaard 2000). Tanken er interessant, men igjen gjenspeiler dette hvor vanskelig det er å måle effekt i dette forskningsfeltet.

2.2.8 Oppsummering

I denne delen av oppgaven har jeg beskrevet hva som skjer fra et afferent signal oppstår til et svar i form av en koordinert bevegelse. Jeg har beskrevet de ulike mekanoreseptorene nærmere og knyttet deres betydning for den nevromuskulære funksjonen opp mot forskning på kneleddet og spesielt ACL. Jeg har også valgt å se på konsekvenser av en ligamentskade for den nevromuskulære funksjonen. Jeg har prøvd å knytte kliniske kommentarer til stoffet der det har vært naturlig.

Begrepene som brukes for å beskrive dette området har vært mange, men forskere synes og enes om det sansemotoriske system som et samlebegrep for alt som skjer fra det afferente inputen til den motoriske responsen i form av en koordinert bevegelse. Dette er et forskningsfelt hvor mye er ugjort, og det er fortsatt uenighet og usikkerhet om hvordan virkningsmekanismene i dette komplekse systemet er. utfordringen for forskningsfeltet ligger i å kunne skaffe informasjon som er overførbart til den kliniske virkelighet, slik at vi med større sikkerhet vet hvor og hvordan vi kan utfordre det sansemotoriske systemet til beste for pasientene.

3.0 Hvilke effekter har trening av sansemotorisk funksjon?

3.1 Innledning

Sansemotorisk trening er på lik linje med sansemotorisk funksjon vanskelig å finne en klar definisjon på, men de fleste som jobber med rehabilitering har et forhold til hva som legges idet. Vanlige begreper brukt blant fysioterapeuter er trening av balanse, koordinasjon, stabilitet og/eller proprioepsjon. Det samme oppleves ved gjennomgang av den engelske litteraturen, beskrivelsen av trening varierer mellom ”proprioceptive”, ”coordination”, og ”balance”. Disse begrepene brukes om hverandre og treningene inneholder stort sett de samme elementene uavhengig av begrepet som brukes. I nyere litteratur er begrepet nevromuskulær trening (NMT) i ferd med å bli innarbeidet som begrep for den type trening fysioterapeuter og andre bruker for å bedre den nevromuskulære kontrollen eller påvirke det sansemotoriske systemet. Fysioterapeuter har ofte sagt at vi driver med proprioseptiv trening, men med bakgrunn i proprioseptorenes funksjon (gi afferent informasjon til CNS) blir ”proprioseptiv trening” noe uklart. Med begrepet NMT menes en type trening som har til hensikt å påvirke både sensoriske og sentralnervøse mekanismer for å stimulere og oppøve et funksjonelt muskel-aktiveringsmønster (Risberg & Myklebust 2001). Jeg vil i det følgende gå igjennom de ulike begrepene som faller inn under NMT, og gi noen eksempler på ulike treningsformer som ligger innunder begrepet.

I en beskrivelse av effekten av nevromuskulær trening er det nødvendig å si noe om målemetodene som finnes for å vurdere effekt eller endring. Jeg vil derfor beskrive noen av de vanligste testene og diskutere problematikken rundt testing av nevromuskulær funksjon.

Jeg har valgt å se på studier som ser på effekt av NMT i forhold til ankelinstabilitet og ACL skader. Studiene omhandler primært effekt av trening i forhold til skader i de aktuelle områdene, og studier som har sett på en eventuell forebyggende effekt. Jeg har også funnet noen få artikler som beskriver effekt av NMT på friske ankler.

Jeg vil i resten av oppgaven bruke begrepet nevromuskulær trening (NMT) i stedet for sansemotorisk trening.

3.2 Nevromuskulær trening

Den nevro-muskulære treningen har til hensikt å påvirke nervesystemets evne til å utløse en hurtigere motorisk respons for derved å oppnå dynamisk stabilitet, og for innlæring av bevegelsesmønstre og spesifikke ferdigheter.

Sentrale begreper for å beskrive de ulike treningstypene som benyttes i et NMT program er:

- balansetrening
- trening av dynamisk leddstabilisering
- “perturbation” trening
- hoppetrening eller plyometrisk trening

Øvelsene som inkluderes i balansetrening kan sies å falle inn under definisjonen av balanse som ”a state of bodily equilibrium or the ability to maintain the center of body mass over the base of support without falling”. Balanseøvelser vil da være trening av statisk balanse. En mye brukt øvelse som vil gå under begrepet ”balansetrening” er for eksempel å stå på ett ben på et vippebrett og prøve å stå i ro/holde balansen på brettet. ”Perturbation” (har ikke noe godt norsk ord for det) defineres som ”an unexpected physical event that changes the movement or the movement goal” (Lephart & Fu 2000). Perturbation trening består av øvelser der man står på et ustabilt underlag og påføres en uventet ytre kraft for å oppøve en adekvat motorisk respons på et uventet, uforutsigbare stimuli. Det er ofte nettopp slike situasjoner som oppstår daglig og som setter krav til riktig rekruttering av muskulaturen til rett tid, og vil derfor kunne ha stor overføringsverdi til daglige funksjoner.

Trener pasienten balanse på et vippebrett på ett ben, men i tillegg beveger seg fremover for eksempel ved å føre tyngdepunktet framover ved hjelp av en arm eller ben er det trening av dynamisk leddstabilisering. Dersom det oppstår en uforutsett endring av underlaget på grunn av ytre kraft, vil dette betegnes som ”perturbation” trening (Risberg & Myklebust 2001).

Den siste komponenten av et NMT program beskrives gjennom begrepet hoppetrening eller plyometrisk trening. Hoppetrening beskriver en viss type øvelser som ofte inngår i NMT, der hovedprinsippene er:

- 1) oppøving i hurtighet, timing av muskulaturen, bedre nervesystemets evne til en hurtig motorisk respons

- 2) innlæring/re-læring av landingsfasen i ett hopp for å redusere belastning på leddet (de passive strukturer) igjennom muskulaturens sjokkabsorberende funksjon

NMT program vektlegger **læring** av sammensatte ferdigheter med overføringsverdi til dagliglivets funksjoner og **kvalitet** på utførelse av bevegelser og ferdigheter. I motsetning til oppøving av muskelstyrke hvor antall repetisjoner og motstand står sentralt, er det helt vesentlig i et NMT program at man starter med innlæring av voluntære bevegelser (aktivering av cortex cerebri). Bevegelser og bevegelsesmønstre som krever voluntær aktivitet vil nødvendigvis ta lengre tid fordi signalet må nå helt til cortex cerebri. Etter en slik innlæringsfase er målet å automatisere bevegelsene, slik at bevegelsene kan initieres fra lavere subcortical nivåer. Aktivering av muskulaturen og initiering av slike bevegelsesmønstre vil da kunne skje raskere. NMT bygger på prinsipper for motorisk læring. Rent praktisk betyr det at selv om det benyttes vippebrett for balansetrening eller dynamisk leddstabilisering, vil ønsket resultat ikke alltid oppnås dersom pasienten er mer opptatt av å tenke på hva vedkommende skal gjøre på jobben enn å fokusere på kvaliteten i utførelsen av bevegelser og på innlæring av ferdigheten. Det samme gjelder for øvelsen knebøy. Øvelsen er mye brukt i rehabilitering av ACL pasienter og er i utgangspunktet en styrkeøvelse, men er like mye en øvelse hvor pasienten må bevisstgjøre tyngdeplassering, lære bevegelseskvalitet, kjenne at hun får tak i rett muskulatur og ikke kompenserer ved å heve hoften på affisert side, rotere kroppen etc. En stor grad av mental bevissthet rundt bevegelsen er påkrevd for at knebøy skal bli en automatisert bevegelse. Et godt hjelpemiddel i startfasen av innlæring av bevegelsen er bruk av speil, hvor pasienten kan både se og kjenne at bevegelsen går som den skal, etter hvert skal speilet kun brukes som korrektur for å sjekke at bevegelseskvaliteten er optimal. Slik innlæring av bevegelser krever fokus på bevegelseskvalitet - og utførelse (Risberg & Myklebust 2001).

3.3 Testing av nevromuskulær funksjon/målemetoder

For å kunne vurdere effekt av NMT er det nødvendig å ha målemetoder som kan vurdere en eventuell effekt. Det er en av de største utfordringene for forskningsmiljøene å lage metoder som gjør det mulig å måle nevromuskulær

funksjon. Målemetodene må være valide og reliable for å kunne gi den informasjonen som vi ønsker. Gode målemetoder kan gi informasjon om

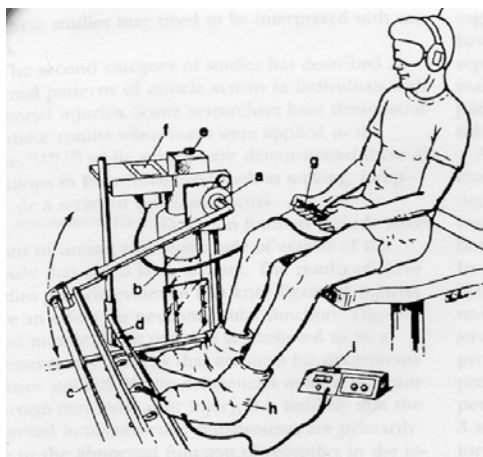
- effekten av en skade på den nevromuskulære funksjonen
 - en persons grad av nevromuskulær funksjon
 - eventuell framgang av et rehabiliteringsopplegg
 - hvor effektivt et treningsprogram er på den nevromuskulære funksjonen
- (Williams *et al.* 2001)

Det vi ønsker å evaluere og vurdere er konsekvensene av den input vi gir i form av en efferent respons.

3.3.1 Målemetoder

De vanligste målemetodene i dag er måling av "Joint position sense" (JPS), "joint kinestesia" (JK) og "Threshold to detection of passive motion" (TTDPM), som fokuserer på den nevrosensoriske komponenten. Stabiliometri og hoppetester vurderer mer generell nevromuskulær kontroll, mens funksjonelle tester vurderer mer individets aktive nevromuskulære kontroll. Mens andre igjen tester individets reaktive kontroll ved f. eks perturbation eller tester hvor kneleddet blir påført et direkte press på for eksempel på leggen. Siden det er så mange ulike testmetoder å velge mellom er det av overordnet betydning at det spørsmålet klinikere og forskere ønsker å få svar samsvarer med valg av verktøy (Williams *et al.* 2001). Både JPS, JK og TTDPM er ment å kunne vurdere proprioepsjon, men det er stor grad av uenighet om målemetodene er gode nok og virkelig tester det de skal. Grob *et al.* (2002) har i en studie sett på validiteten av fire vanlige tester for proprioepsjon (JPS og kinestesia). De fant ingen korrelasjon mellom testene for kinestesia og JPS eller mellom de ulike JPS testene, men de fant en signifikant korrelasjon mellom kinestesia testene ($r=0.86$). De konkluderte med at en person med ett resultat i en proprioepsjons test ikke vil oppnå samme resultat i en annen test som skal måle det samme (Grob *et al.* 2002).

Et eksempel på en vanlig målemetode for proprioepsjon er TTDPM (Figur 3) hvor personen sitter i en stol med bena plassert i "luftputer". Elektronisk vil knefleksjonen endres med svært lav hastighet ($0,5^\circ$ per sek) og personen skal med bind for øynene angi når stillingsending oppfattes ved å trykke på en knapp.



Figur 3. Apparat for måling av proprioepsjon ”threshold to detect passive motion” (TTDPM)

Resultatet hos personen er påvirket av hvor raskt han trykker på knappen etter at bevegelsen er oppfattet. I tillegg så er bevegelsene som måles relativt små (Beynon *et al.* 1999; Borsa *et al.* 1997; MacDonald *et al.* 1996). Denne testen brukes for å si noe om endret sensorisk funksjon, og da vil apparaturens målenøyaktighet og pasientens responstid (hvor kjapt han trykker på knappen) ha betydning for tolkning av resultater og sammenligning med andre testpersoner (Williams *et al.* 2001). Til tross for disse innvendingene er denne testen vurdert til sannsynligvis å være den mest sensitive testen for måling av proprioepsjonen (Ageberg 2002).

I tillegg kan faktorer som alder, kjønn, erfaring fra idrett og dominant-ikke dominant ben påvirke de nevromuskulære faktorene og vanskeliggjøre sammenligninger med andre, og konklusjonene en kan trekke fra testen (Hageman *et al.* 1995; Lephart *et al.* 1996; Rozzi *et al.* 1999a). En kan også stille spørsmålsteget ved om man ut fra resultater fra sittende tester uten vektbæring kan trekke konklusjoner i forhold til hva som skjer i stående stilling eller i forhold til dynamisk aktivitet.

En stående balansetest, Kinesthetic Ability Trainer (KAT 2000) (Fig 4) er også mye brukt som mål på effekt av nevromuskulær trening. Her står personen på en form for balansebrett og en måler statisk balanse hvor en ser hvordan personen klarer å holde kroppen i ro i forhold til et 0-punkt på en skjerm. Trykket av foten mot balanseplaten (en luftboble under brettet) blir et uttrykk for personens endrede tyngdepunkt. Man kan også måle dynamisk balanse hvor personens evne til å følge en ”kurser” på en dataskjerm som beveger seg i ett mønster.

Fosdahl et al (2000) så på effekten av et NMT program bestående av ulike øvelser på gulv, balanse Brett og balansematte på proprioepsjon og balanse hos kvinnelige elitehåndballspillere. Spillerne ble testet før treningen startet, etter 8 uker og etter 8 måneder. Spillerne skulle trene 3 ganger i uken i en femukers periode og en gang i uken gjennom sesongen. TTDPM og KAT 2000 ble brukt til å måle henholdsvis proprioepsjon og balanse. Resultatene viste at spillerne hadde en signifikant bedring i dynamisk balanse, men ingen endring av statisk balanse og TTDPM (Fosdahl *et al.* 2000).



Figur 4. KAT (Kinesthetic Ability Trainer)

Kraftplattformstester er mye brukt for vurdere "postural sway" som et mål for postural kontroll, den er mer fintfølede enn KAT da den måler bevegelse i 3 plan. Denne testen brukes ofte i forbindelse med studier av ankelinstabilitet.

I noen ankelstudier brukes også tester hvor de ved EMG målinger av muskulatur ser på musklens reaksjonstid på inversjonstraumer. EMG testing er også brukt for å se på fyringshastigheten av musklene rundt kneleddet, særlig av hamstringsmuskulaturen.

En vanlig måte å vurdere effekt av en treningsintervensjon, er å registrere antall skader før og etter en intervensjon. Dette brukes som effektmål i de fleste studier hvor

en ønsker å forebygge skader. Hvor vellykket intervensjonen har vært vurderes ut fra reduksjon av skader, men det er svakheter ved denne type effektmål. Endringen i antall skader kan være et resultat av naturlige svingninger, eller være påvirket av underrapportering. Denne type studier er også sårbar i forhold til grad av compliance i forhold til den aktuelle intervensjon. Det trengs også store populasjoner og ”mange skader” for å få pålitelige svar.

3.3.2 Oppsummering målemetoder.

Det finnes mange ulike måleinstrumenter som skal teste den nevromuskulære funksjonen, primært testing av proprioepsjon, og jeg har bare nevnt noen av testene her. Men etter å ha lest om dette temaet sitter jeg igjen med følelsen at det er langt flere spørsmål enn svar i forhold til målemetodenes validitet og i noen grad reliabilitet. Et viktig spørsmål er grad av klinisk relevans disse testene har, kan svar fra en laboratorie test overføres til det som skjer i høy fart, med store krefter, rotasjoner og vridninger hos f. eks en håndballspiller eller fotballspiller? Men til dags dato finnes det ikke bedre testmetoder og vi må derfor bruke kunnskapen og tolke svarene som kommer fra denne type tester med forsiktighet.

3.4 Studier på effekt av nevromuskulær trening - ankelskader

Ankelskader er den hyppigst forekommende skade med en insidens på 1 per 100 000 innbyggere, og den vanligste idrettsskaden, 20% av alle idrettskader rammer ankelen (Bahr 2002). De står for 25% av alt fravær fra deltagelse i idrett. I USA skjer det om lag 4.000.000 ankel skader årlig, halvparten av dem er alvorlige ankelovertråkk (Ashton-Miller *et al.* 2001).

Det foregår en diskusjon på hvilken effekt ulike balanseøvelser har på ankelledet. I de fleste artikler om emnet beskrives en bedring i proprioepsjon etter trening (Gauffin *et al.* 1988;Rozzi *et al.* 1999b), men Ashton-Miller *et al.* (2001) bestrider i sin review at denne type trening ikke kan bedre annet enn balansen. De hevder at en bedring i de ulike testene ikke nødvendigvis skyldes en bedret sensorisk funksjon men kan like godt være en bedret motorisk kontroll, og mener det er prematurt å hevde at ulike balanseøvelser bedrer proprioepsjonen (Ashton-Miller *et al.* 2001). Etter deres oppfatning, er den eneste muligheten for å kontrollere om personer kan bedre sin proprioepsjon å designe en randomisert kontrollert studie hvor personene følges over

lang tid, kanskje over år for å utvikle deres proprioceptive evne. Det høres ut som et ambisiøst prosjekt, og fortsatt vil man ha en utfordring i forhold til hvordan man skal måle en eventuell bedring. Problematikken rundt definisjonen og forståelsen av de begrepene vi bruker i forhold til virkningsmekanismene i det sansemotoriske systemet møter oss hele tiden. Også i studiene jeg har gjennomgått har personene trent ”koordinasjon”, ”balanse”, eller ”proprioepsjon”, alle med mål om å bedre ”proprioepsjonen.”

3.4.1 Mekanisk og funksjonell instabilitet

I forhold til behandling av instabiliteten i ankelleddet omtaler man to typer. Mekanisk instabilitet innebærer en anatomisk anormalitet hvor ett eller flere av de laterale ligamentene i ankelen er røket, og en vil finne positiv skuffetest eller positiv thalar tilt test. Funksjonell instabilitet ble først beskrevet i 1965 av Freeman som en tilstand hvor en pasient har ”recurrent sprains and/or a feeling of giving way of the ankle”(Freeman 1965). Man har senere lagt til at en mekanisk instabilitet kan gi en funksjonell instabilitet ved skade av mekanoreseptorene i de laterale ligamentene og/ eller i muskel-senene som gir en delvis ”de-afferentiation” av den ”proprioceptive refleksens” (Konradsen & Ravn 1990). Funksjonell instabilitet representerer en mangel på nevromuskulær kontroll hvor proprioepsjon, svakhet i muskulatur, muskelens reaksjonstid og postural kontroll kan være påvirket. Forskning har vist at den proprioceptive inputen fra ankelleddet kommer i sterkere grad fra reseptorer i hud, muskler og sener enn fra reseptorer i ligamentene (Richie, Jr. 2001). Dette kan forklare hvorfor man kan ha en mekanisk instabilitet uten å oppleve stadige nye overtråkk. Det er den funksjonelle instabiliteten en ønsker å påvirke ved nevromuskulær trening.

3.4.2 Effekt av nevromuskulær trening på personer med friske ankler

I en klinisk kontrollert randomisert studie så Hoffman & Payne (1995) på effekten av ”proprioceptive” trening på balansebrett hos friske personer. De pre- og posttestet 28 personer før og etter trening, og testet balanse (”postural sway”) ved en ett-benstest på en kraftplattform. Testpersonene trente tre ganger i uken i 10 uker på brettet. Testpersonene hadde en signifikant reduksjon både i medial-lateral og anterior-posterior ”postural sway” etter treningsprogrammet var gjennomført. Forfatterne konkluderte med at 10 ukers trening bedret balansen (Hoffman & Payne 1995).

Rozzi et al (1999) har vist bedret ledd proprioepsjon og ett-bens balanse indeks etter 4 ukers balanse trening (3 ganger per uke) av en gruppe friske ankler (Rozzi *et al.* 1999b). Se nærmere beskrivelse av hele studien under neste avsnitt.

3.4.3 Effekt av nevromuskulær trening hos personer etter ankelskade

Studiene som følger måler effekt på ulikt nivå, alt fra ”postural sway”, JPS, muskelens reaksjonstid i forhold til inversjonstilting på plattform til grad av reskader. Fra et klinisk synspunkt (og selvfølgelig fra pasientens) er grad av reskader og subjektiv oppfatning av instabilitet interessant for det er det pasientene sliter med, de ønsker en funksjonell ankel som tåler de aktivitetene en utsetter seg for uten stadig nye overtråkk. Fra et vitenskapelig/akademisk synspunkt er det interessant å finne ut på hvilket nivå NMT virker. Som tidligere nevnt bestrider Ashton-Miller i sin review at trening bedrer ledd proprioepsjonen. Han mener at det like godt kan være en bedret motorisk funksjon eller at personen får endret ”adferds strategi” etter trening (Ashton-Miller *et al.* 2001).

Wester et al (1996) undersøkte effekten av et treningsprogram på balansebrett i forhold til risiko for reskade etter første gangs overtråkk i en randomisert kontrollert prospektiv studie. Pasientene (n= 61) ble randomisert til en kontrollgruppe og en intervensjonsgruppe. Treningsgruppen trente daglig på et balansebrett i en 12 ukers periode. 13 pasienter trakk seg underveis. Seks av de 24 i treningsgruppen opplevde et nytt overtråkk men ingen hadde subjektiv opplevelse av instabilitet. Av de 24 i kontrollgruppen hadde 13 tråkket over på nytt ($p<0.05$) og 6 følte instabilitet ($p<0.01$). Forfatterne konkluderte med at tidlig balansebrett trening etter første gangs overtråkk var effektiv for å redusere antall residiv (Wester *et al.* 1996).

Holme et al (1999) undersøkte effekten av et tidlig rehabiliterings-program, hvor balansetrening (ett-bens stående balanse trening og balansebrett) var inkludert, på ankelfunksjonen. 92 mosjonister som ankom legevakt med ankelovertråkk, med ingen tidligere ankelinstabilitet, fikk alle informasjon om å mobilisere ankelen tidlig, styrke - og mobiliserende øvelser samt stående balanseøvelser. Etter 5 dager ble gruppen delt i to, matchet i forhold til alder, kjønn og aktivitetsnivå og randomisert til en kontrollgruppe og en treningsgruppe. Treningsgruppen trente hos fysioterapeut to

ganger i uken med ulike balanseøvelser av økende vanskelighetgrad. Hele 17 (38%) av personene i treningsgruppen trakk seg i løpet av studien. De fant ingen forskjell i styrke eller postural kontroll mellom gruppene, men treningsgruppen hadde signifikant færre reskader enn kontrollgruppen i løpet av de første 12 månedene (Holme *et al.* 1999).

Disse to studiene viser en reduksjon i antall reskader, og måler effekt i forhold til skader.

Eils & Rosenbaum (2001) så på effekten av et 6-ukers flerstasjons proprioseptivt treningsprogram hos pasienter med ankel instabilitet. De sammenlignet resultatene for pre- og posttester av JPS, ”postural sway” og muskulaturens responstid på et plutselig inversjonstraume. Treningsgruppen trente et NMT program hos fysioterapeut en gang i uken i seks uker. Treningsgruppen oppnådde signifikant bedring i JPS, postural sway og muskelens reaksjonstid i forhold til kontrollgruppen. I tillegg rapporterte treningsgruppen om redusert antall reskader og en subjektiv følelse av bedre stabilitet ett år etter skaden. Forfatterne konkluderer med at et flerstasjonsprogram med ”proprioseptive” trening (NMT-øvelser) kan anbefales i forebygging og rehabilitering av funksjonelle ankelinstabiliteter (Eils & Rosenbaum 2001).

Denne studien har målt effekt av et treningsprogram på flere parametere, objektive og subjektive mål.

Osborne *et al.* (2001) har sett på effekten av et treningsprogram på balansebrett i forhold til muskel - reaksjonstid hos personer med tidligere ankelovertråkk. EMG målinger ble gjort på muskulatur rundt ankelleddet og reaksjonstiden på ulike inversjons ”perturbations” ble registrert. Testing ble gjort før og etter 8 ukers trening (15 minutter daglig av tidligere skadet ankel) på balansebrett. Resultatene viste at de oppnådde en statistisk signifikant reduksjon i fyringstiden for tibialis anterior i begge anklene etter treningsperioden. De konkluderer med at fyringstiden kan reduseres etter balansebrett trening og at det kan være snakk om ”cross-training” effekt til frisk side ved denne typen trening (Osborne *et al.* 2001).

Klinisk er dette interessant med tanke på muligheten av å påvirke den nevro-muskulære funksjonen på skadet side tidlig i rehabiliteringen ved å utfordre det sansemotoriske systemet på frisk side. Forfatterne påpeker at denne ”cross-training” effekten har vært kjent lenge i forhold til styrketrening men at dette er første gang det

er registrert i forhold til proprioepsjon. Når det gjelder reduksjonen i fyringstid gjaldt det for tibialis anterior som ikke er den viktigste muskulaturen for å kunne ”hente inn igjen” en overtråkk (Osborne *et al.* 2001). Forfatterne hevder at de sannsynligvis hadde oppnådd samme gode resultat for fibularmuskulaturen hvis testgruppen hadde vært større. Men vil denne raske fyringen kunne hjelpe i forhold til de kreftene som virker ved de fleste overtråkk? Men det kan ha betydning i forhold til situasjoner med moderate krefter.

Rozzi *et al.* (1999) har sett på effekten av et 4-ukers balanse trenings program (ett-bens trening 3 ganger per uke) på en gruppe med funksjonelt instabile ankler og en gruppe friske kontroller. De har testet personene før og etter trening på en balanseplattform og målt stabilitets indeksen (SBI). Begge gruppene forbedret deres balanse indeks og de konkluderte med at balanse trening bedrer leddets proprioepsjon og ett-bens balansen hos både instabile ankler og hos friske ankler (Rozzi *et al.* 1999b).

Bernier & Perrin (1998) så på effekten av ”koordinasjonstrening” på proprioepsjonen hos personer med funksjonelt instabile ankler i en klinisk randomisert studie. 44 personer ble randomisert til en kontroll gruppe, placebo-gruppe (elektrisk stimulering av fibular muskulaturen) og en treningsgruppe. Det ble testet ”postural sway” og aktiv og passiv ”joint position sense”. Treningsgruppen trente i seks uker, tre ganger i uken, 10 minutter hver gang med diverse balanse og ”proprioceptive” øvelser. Resultatene viste at balanse og koordinasjonstrening bedrer noen av målene i ”postural sway” testen. De kunne ikke vise effekt på leddsansen etter trening (Bernier & Perrin 1998).

3.4.4 Forebygging av ankelskader ved nevromuskulær trening

Kan nevromuskulær trening forebygge ankelskader? Det kan være fristende å konkludere kort og brutalt med et ”nei”, men det vil være for enkelt og sier heller ikke hele sannheten. Så langt finnes det ikke studier som har vist at denne typen trening forebygger ankelskader. Det vil ikke si at det ikke virker, men studiene som eventuelt kan vise det er ikke gjennomført ennå.

I en prospektiv kontrollert studie (randomisert på lagnivå) så Tropp *et al.* (1985) på to ulike metoder for å forebygge ankelovertråkk hos fotballspillere sammenlignet med en kontrollgruppe. Den ene gruppen brukte ankelortose, mens den andre gruppen trente på balanse Brett. Balanse Brettgruppen besto alle av utøvere med tidligere

overtråkk. De fant at trening på balansebrett og ankelortose var like effektivt i forebygging av ankelovertråkk, men ingen forebyggende effekt blant spillere med tidligere friske ankler. Ut fra denne studien kan vi ikke si noe om effekt av balansebrett trening på friske ankler. Det var allikevel en studie som tidlig viste at denne type trening kan ha effekt på forebygging av reskader (Tropp *et al.* 1985).

I sin review artikkel konkluderer Bahr (2002) med at "there are some evidence that balance training reduces the risk of ankle sprains in athletes with previous injury", og han fortsetter "further large-scale studies are necessary to examining this question taking previous injury into account". Studiene på forebygging av ankelskader ser alle på en miks av tiltak, hvor nevro-muskulær trening er en del av intervensjonen i noen av studiene (vanligvis balansebrett trening). De som har NMT som et tiltak viser effekt på forebygging av tidligere ankel skader og ikke på utøvere med tidligere friske ankler. En skal merke seg at dette er studier som primært har vurdert menn som driver idrett på relativt høyt plan. I mange av ballspillidrettene oppstår det situasjoner hvor ingen form for trening kan forhindre skaden, f. eks en spiller som hopper og lander på en motspillers fot. En kan muligens tenke seg at NMT kan være effektivt i situasjoner med mindre krefter og hastighet. Det kan også være mulig å tenke seg at ved å øke personers ferdighet, ved å trene inn for eksempel fornuftig fotsett og landingsteknikk, kan en i løpet av måneder eller kanskje år med bevisst trening oppnå en automatisering av bevegelser som er skadeforebyggende (Ashton-Miller *et al.* 2001). Dette er trolig en vesentlig side av all forebygging i idrett. Man må sannsynligvis oppnå adferdsendring, prøve å få utøverne til å innøve teknikker som kan gi mindre risiko for skade. Dette er endringer eller tilpasninger som det tar tid å få innarbeidet, derfor tror jeg det er ekstremt viktig å starte med de helt unge, lære dem gode bevegelsesmønster tidlig. For å kunne forstå hva som er risikoadferd er det i tillegg nødvendig med kunnskap fra studier som avdekker skademekanismene i den enkelte idrett.

3.4.5 Oppsummering ankelskader

Så langt har vi ikke data som bekrefter eller avkrefter at nevro-muskulær trening har en forebyggende effekt på ankelskader. Studier viser likevel en klar effekt i forhold til reskader. Dette har gitt optimisme i forhold til en mulig forebyggende effekt på friske ankler. Denne type studier bør være prospektive randomiserte og kontrollerte studier.

De er tid- og ressurskrevende da man trenger store populasjoner, nøye oppfølging i forhold til mengde trening som gjennomføres i en intervensjonsgruppe samt nøyaktig registrering av skader og compliance. I tillegg trengs det mer forskning for å avdekke virkningsmekanismene i det sansemotoriske systemet ved NMT. Et siste område der det fortsatt er mye å hente, er i utviklingen av målemetoder og testapparat.

3.5 Studier på effekt av nevromuskulær trening – ACL skader

Epidemiologiske undersøkelser har vist at forekomsten av ACL skader i ulike ballidretter er høy (Arendt & Dick 1995;Lindenfeld *et al.* 1994;Myklebust *et al.* 1997). Insidensen varierer fra 0.13 ACL skader pr 1000 spiller timer hos menn i fotball helt opp til 2,8 ACL skader pr 1000 kamptimer for kvinner i eliteserien i håndball (Arendt & Dick 1995;Myklebust *et al.* 2001). Det høye antallet skader og de store kostnadene knyttet til behandlingen av denne skadetyper, samt de alvorlige konsekvensene har gjort behovet for forebyggende tiltak presserende (Engebretsen 2000;Gillquist & Messner 1999;Myklebust *et al.* 2002).

Fremre korsbåndskader blir enten konservativt eller operativt behandlet og jeg har beskrevet konsekvensene av en ACL ruptur i forhold til det sansemotoriske systemet under punkt 2.2.7.

I det følgende vil jeg gå igjennom studier som har sett på effekt av NMT i forhold til personer med ACL skade og studier som har sett på forebygging av ACL skader ved hjelp av nevromuskulær trening.

3.5.1 Effekt av nevromuskulær trening hos personer med ACL skade

Beard *et al.* (1994) så på effekten av to ulike treningsprogram hos pasienter med ACL skade (ikke operert) i en prospektiv randomisert studie. Begge gruppene trente i tre måneder, to ganger i uken. Ett program besto av styrketrening, men i hovedsak i åpen kjede, det andre regimet var basert på øvelser i lukket kjede og ”proprioceptive” øvelser. De målte effekt av treningen ved et funksjonelt score system og hamstrings refleks fyringstid (et mål på proprioepsjon). Gruppen med ”proprioseptiv trening” oppnådde best resultater på alle tester, og det var en positiv korrelasjon mellom proprioepsjon og funksjon (Beard *et al.* 1994).

Zetterstrøm et al (1994) gjorde en sammenligning av to fysioterapiregimer i en klinisk kontrollert randomisert studie av konservativt behandlede ACL pasienter. Den ene gruppen trente et vanlig rehabiliteringsregime (med lite vekt på NMT) mens den andre gruppen i tillegg til vanlig regime trente ett-bens balanseøvelser gjennom 12 måneder. Balansetreninggruppen oppnådde bedre postural stabilitet i ett-bens tester enn gruppen med vanlig regime (Zatterstrom *et al.* 1994).

Fitzgerald et al (2000) så på effekten av ”perturbation” trening i forhold til et standard treningsprogram på konservativt behandlede pasienter. Alle pasientene drev med vridningsidretter eller hadde hardt fysisk arbeid, og de ble randomisert til de to treningsgruppene. Innholdet i standard treningsprogrammet var styrketrening av under ekstremitetene, løpeprogram med vendinger og bråstopp samt idrettsspesifikk trening. Perturbation programmet besto av trening hvor pasienten står på et brett og fysioterapeuten gir uventede ”dytt” på brettet under treningen. Vanskelighetsgraden økte med hjul under brettet og raskere ”perturbations”. Hvor vellykket programmene var, ble vurdert ut fra tilbakekomst til vridningsidretter og sviktfølelse i kneet. Alle pasientene trente 2-3 ganger i uken i 5 uker. De konkluderte med at begge programmene fungerte godt i forhold til tilbakekomst til idrett, men det virket som om perturbation gruppen hadde færre sviktepisoder og opprettholdt deres funksjonelle status lengre (Fitzgerald *et al.* 2000).

Disse studiene kan tyde på at NMT kan ha en virkning på pasienters funksjonsnivå etter en ACL skade. Men det er sannsynligvis en bedret balanse pasienten har oppnådd, en bør muligens være forsiktig med å kalle det bedret proprioepsjon slik Ashton-Miller har hevdet (Ashton-Miller *et al.* 2001). Så langt vet vi ikke de eksakte årsakene til denne forbedringen. Williams og medarbeidere (2001) tror at bedringen etter NMT trening er multifaktoriell. De foreslår at bedringen kan skyldes endringer i muskelfyringsmønsteret, økt kroppsbevissthet i forhold til plassering i rommet grunnet ”tuning” av det nevro-muskulære systemet i kombinasjon med økt oppmerksomhet, økt trygghet, bedre biomekanisk utførelse av bevegelser og endringer i styrke og utholdenhet (Williams *et al.* 2001).

3.5.2 Forebygging av ACL skader ved nevromuskulær trening

De første forebyggende studiene hvor man vurderte effekten av nevromuskulær trening ble publisert i 1996. Til tross for stor interesse og enighet om at forebyggende tiltak er presserende, har det ikke vært gjennomført mange studier av denne typen. De forebyggende studiene som er gjennomført, er primært utført på idrettsutøvere i høyrisikoidrettene håndball, fotball og basketball.

Caraffa et al (1996) gjorde en prospektiv studie av mannlige fotballspillere (amatører og semiprofesjonelle) i Italia, der formålet var å forebygge ACL-skader ved hjelp av et proprioseptivt treningsprogram. Førti klubber med 600 spillere ble fulgt i tre år. Spillerne gjennomgikk en pretest (kne-undersøkelse med vekt på stabilitetstesting) før klubbene ble delt i to, 20 lag i hver gruppe. Kontrollgruppen trente som vanlig mens intervensjonsgruppen gjennomførte et 5-fase treningsprogram på ulike typer av balansebrett. De trente programmet daglig minimum 20 minutter i minst 30 dager og deretter vedlikehold av øvelsene to ganger i uken gjennom sesongen. Resultatene var oppsiktsvekkende gode, kontrollgruppen hadde 1,15 ACL-skader per lag per år, mens intervensjonsgruppen hadde 0,15 ACL-skader per år. Med andre ord oppnådde intervensjonsgruppen en 70% reduksjon av ACL-skader i forhold til kontrollgruppen (Caraffa *et al.* 1996). Studien har blitt kritisert for blant annet mangelfull beskrivelse av treningsprogrammet, og ingen kontroll av hyppighet og kvalitet på programmet spillerne gjennomførte (compliance). Caraffa har kalt treningsprogrammet for proprioseptiv trening mens det etter min oppfatning, ut i fra begrepsavklaringen tidligere i denne artikkelen, burde vært kalt balansetrening og dynamisk leddstabilisering.

Wedderkopp et al gjennomførte en prospektiv intervensjonsstudie på kvinnelige håndballspillere i alderen 16-18 år. Målet var å redusere antall idrettsskader generelt og skader i underekstremitetene spesielt. De ønsket å bedre den posturale kontrollen ved hjelp av trening på et balansebrett. Alle utøverne (n=111) i intervensjonsgruppen fikk hvert sitt balansebrett som skulle brukes 10-15 minutter på hver trening. I tillegg skulle trenerne sikre at utøverne brukte alle muskelgruppene under oppvarmingen før trening og kamp. Kontrollgruppen (n=126) fortsatte trening og kampaktiviteter som før. Spillerne ble fulgt i en sesong og alle skader (akutte og belastningsskader) ble registrert i begge gruppene. Intervensjonsgruppen hadde signifikant færre skader enn

kontrollgruppen både på kamp og trening. Videre hadde kontrollgruppen 3 ganger så mange ikke-kontaktskader i forhold til intervensjons-gruppen (Wedderkopp *et al.* 1999). Dette ble oppfattet som uttrykk for bedret postural kontroll og proprioseptiv sans. Dette gjorde utøverne bedre i stand til å konsentrere seg om ballmottak og spillet slik at løpingen, fintene og landingene ble mer kontrollerte og automatiserte. Forfatterne kommenterer at de ikke kan være sikre på om det er den økte posturale kontrollen, bedre oppvarmingsrutiner eller begge deler som er årsaken til de gode resultatene.

I artikkelen ”Plyometric Training in Female Athletes” av Hewett *et al.* (1996), ble effekt av plyometrisk trening på kreftene som virker på kneet i landingsfasen hos kvinnelige utøvere i volleyball undersøkt. Målet var å redusere kreftene som virker på kneet under landing ved hjelp av bedret timing og rekrutteringsmønster av muskulaturen i underekstremitetene, samt å øke hopp høyden til utøverne.

Treningsprogrammet var omfattende med 2 timers trening, 3 ganger per uke i 6 uker.

Treningen var delt i 3 faser:

Fase 1: ”The technique phase”; Innlæring og drilling av god hoppteknikk. Fokuset ble rettet spesielt på riktig kroppsstilling, hoppene skulle være rett opp, myk landing med bøyde knær samt ”instant recoil preparation” slik at de var klar for neste hopp. Under treningen ble det brukt verbale og visualiserende teknikker for å bevisstgjøre utøverne på bevegelseskvaliteten.

Fase 2: ”The Fundamental phase”; Bedring av teknikk for å oppnå styrke og ”power”.

Fase 3: ”The performance phase”; Utvikling av maksimal hopp høyde. Programmet var sammensatt av ulike typer hopp og vanskelighetsgrader, men alltid med fokus på riktig teknikk for å redusere kreftene som virket på kneet. Undersøkelsen viste at utøverne reduserte kreftene som virket på kneet under landing med 22% etter gjennomføring av treningsprogrammet og at de reduserte abduksjons- og adduksjonskreftene som virker på kneleddet med 50%. Hamstrings-quadriceps rasjon ble videre økt med 26% på dominant side og 13% på ikke-dominant side.

Hamstringsstyrken økte også med 44% på dominant side mot 21% på ikke-dominant side. Forfatterne konkluderte med at denne plyometriske treningen kan ha en signifikant effekt på knestabiliseringen og kan muligens være med å forebygge de alvorlige kneskadene blant kvinnelige utøvere (Hewett *et al.* 1996). Imidlertid kan det hevdes at det trekkes relativt bastante slutninger på bakgrunn av et så vidt lite

materiale (11 kvinnelige volleyballspillere). Programmet er også såpass tøft og intenst at overføringsverdien til vanlige personer kan være begrenset. Likevel kan det være av avgjørende betydning å ta med seg denne type øvelser i senere rehabiliteringsfasen for knepasienter slik at de blir best mulig rustet for hverdag og fritidsaktiviteter når rehabiliteringen er over. Kompleksiteten i øvelsene og innlæringene av teknikkene for å bedre ferdighetene i landingsfasen kan være avgjørende for å oppnå disse resultatene.

Hewett et al (1999) brukte resultatene i sin første studie for å evaluere effekten av NMT på insidensen av kneskader hos fotball-, volleyball- og basketballspillere i en prospektiv studie. Tre grupper ble studert. Kvinnelige utøvere fra alle idrettene ble inkludert i en gruppe. De fikk et 6 ukers treningsprogram, likt det de beskrev i artikkelen fra 1996. Den andre gruppen var kvinnelige utøvere fra ulike idretter som ikke fikk noen spesiell trening før sesongstart. Den tredje gruppen var mannlige basketball- og fotballspillere som fungerte som kontroller i denne studien. Gjennom ukentlige rapporter ble gruppene fulgt opp gjennom sesongen og antall trenings- og kamptimer ble registrert, samt skadetyper og skademekanismer. Insidensen av kneskader i de tre gruppene var som følger: ”Utrente” kvinner hadde en insidens på 0,43 pr 1000 spilletimer, 0,12 i den trente gruppen og 0,09 blant gruppen med mannlige utøvere. De kvinnelige utøverne som ikke gjennomgikk NMT hadde en 3,6 ganger så høy risiko for å skade kneet i forhold til trent gruppe ($p=0,05$), og 4,8 ganger så høy risiko som de mannlige utrente utøverne ($p=0,03$) (Hewett *et al.* 1999). Artikkelen bekrefter at øvelsesprogrammet fra 1996-studien fungerte og bekrefter igjen den enorme forskjellen det er på skadeinsidens mellom kvinner og menn. Men studien tyder på at spesialtrening hos kvinner kan utligne noe av denne kjønnsforskjellen i forhold til skaderisiko. Studien kan kritiseres for at den ikke er randomisert og dobbel blindet, at det var et ulikt antall utøvere i gruppene og at gruppene var ulike med hensyn til type idrett. Det relativt lave antallet skader er også en svakhet ved denne studien. Men til tross for dette bringer denne studien inn viktig kunnskap om forebygging av skader ved bruk av NMT.

Søderman et al (2000) gjorde en prospektiv randomisert studie hvor de ønsket å forebygge akutte skader i underekstremitetene ved hjelp av trening på balansebrett. 221 kvinnelige fotballspillere ble randomisert til to grupper hvor

intervensjonsgruppen trente på ett balansebrett daglig i en måned og deretter tre ganger i uken gjennom en 7 måneders sesong. Kontrollgruppen hadde ikke noen annen trening enn vanlig fotballtrening. De fant ingen forskjell mellom intervensjonsgruppen og kontrollgruppen når det gjaldt forekomsten av skader. Mer overraskende var at 4 av 5 ACL-skader skjedde i intervensjonsgruppen (Soderman *et al.* 2000). Forfatterne konkluderte med at balansebrett-trening ikke hadde noen forebyggende effekt på skader i underekstremitetene hos kvinnelige fotballspillere, og dette var stikk i strid med resultatene fra Caraffas studie fra 1996.

Erfaringene fra Caraffas studie på fotballspillere gjorde at det ble igangsatt en forebyggende studie på kvinnelige håndballspillere i norsk elite, 1.- og 2. divisjon. Det første året (sesongen 1998-99) ble alle ACL-skader registrert prospektivt og påfølgende sesong ble det gjennomført en intervensjon på de omlag 60 lagene (950 spillere). Formålet med intervensjonen var å bedre den nevro-muskulære kontrollen samt å prøve og endre finte- og landingsteknikken hos utøverne. Hvert lag ble besøkt en gang og de fikk utlevert informasjonsmateriell i form av en video og posters. I tillegg fikk alle lagene 6 balansebrett og 6 balansematter. Erfaringene fra det første året var en positiv tendens i form av færre skader, men en samtidig compliance studie viste at det var dårlig oppfølging av programmet spesielt i de lavere divisjonene. Det ble utviklet et forbedret øvelsesprogram og gjennomført en tettere oppfølging av utøverne i andre intervensjonssesong. Totalt ble 60 fysioterapeuter knyttet mot lagene og de fulgte opp klubbene 3 økter i uka med et program av 15 minutters varighet med ulike øvelser på gulv, balansematte og balansebrett. Dette ble gjennomført i 5-7 uker og deretter skulle utøverne trene programmet en gang i uka gjennom sesongen. Resultatene fra studien er lovende med en reduksjon fra 29 ACL-skader i kontrollsesongen til 17 etter to intervensjonssesonger. Det vesentligste funnet var at spillerne i eliteserien som hadde gjennomført treningsprogrammet som forventet (compliers) hadde en signifikant reduksjon i forhold til de som ikke hadde gjennomført treningsprogrammet som avtalt. Studien kan kritiseres for at den ikke er randomisert, har brukt historisk kontroll og man kan ikke si om det er den nevro-muskulære treningen som har fungert eller om det er endringer i finte- og landingsteknikk som har virket (Myklebust *et al.* 2001). Men studien til Fosdahl (2000) har vist at denne type trening (de undersøkte noen av spillerne som deltok i intervensjonen), har effekt på balansen (Fosdahl *et al.* 2000).

3.5.3 Oppsummering ACL skader

Mål for effekt av NMT varierer veldig fra studie til studie. Alt fra reduksjon i antall sviktepisoder, tilbakekomst til idrett til reduksjon i antall ACL skader.

Så langt er det lite som tyder på at vi ved verken rekonstruksjon av ACL eller rehabilitering kan fullstendig gjenvinne den nevromuskulære funksjonen i kneet, men studier har vist at rehabilitering har effekt. Det er fortsatt ikke klarlagt om et NMT treningsprogram har bedre effekt enn et standard styrkeprogram, men det pågår studier som forhåpentligvis kan gi oss mer kunnskap på det området (Risberg *et al.* 2001).

De forebyggende studiene på ACL skader ved bruk av NMT er lovende, men det er svakhet ved designen av studiene og det kan være preliminært å trekke for bastante konklusjoner ut fra foreliggende materiale. Vi har fortsatt ikke svar på om effekten av NMT varer over tid, vil trening i 6-10 uker ha effekt utover treningsperioden. Vi vet heller ikke hva som er et minimum av trening for å oppnå en effekt. Lloyd (2001) har kommentert at det ville være interessant å evaluere de forebyggende programmene i laboratoriebaserede tester som er sportsspesifikke for å se om de reduserer belastningen på kneligamentene og dermed skaderisikoen (Lloyd 2001). Dette er viktig da man kan koble kunnskap om skademekanismer i utviklingen av skadeforebyggende program.

4.0 Sluttkommentar

I denne oppgaven har jeg prøvd å beskrive og klargjøre noen av begrepene som brukes i dette feltet. Jeg har også gjennomgått hva som skjer i det sansemotoriske systemet fra de afferente signalene til den motoriske responsen i form av en kontrollert bevegelse.

Jeg har beskrevet mekanoreseptorene og deres betydning i kneleddet og ACL spesielt, og hvilke konsekvenser en skade av ACL har for den nevromuskulære kontrollen.

Deretter har jeg beskrevet nevromuskulær trening, hva det innebærer, og effekten av den type trening i forhold til ankel og ACL skader. Jeg har også sett på målemetoder for vurdering av nevromuskulær funksjon. Til slutt har jeg gjennomgått studier som ser på forebyggende effekt av nevromuskulær trening.

Det sansemotoriske systemet er et komplisert og sammensatt system hvor det fortsatt gjenstår mye forskning for å klargjøre virkningsmekanismene som ligger bak en koordinert bevegelse.

I forhold til klinisk virksomhet som fysioterapeut kan vi ikke "vente" på forskningsresultater i forhold til valg av behandlings eller forebyggende strategi. Vi bør prøve å samarbeide med forskere på flere plan for å undersøke om erfaringer vi gjør i klinikken kan undersøkes i forskningssammenheng, og sammen utvikle behandlingsstrategier. Innenfor det sansemotoriske systemet er det mye som er uklart, men det er et felt hvor basalforskere og klinikere kan ha mye og tilføre hverandre.

5.0 Referanser

Bokmålsordboka, Definisjons- og rettskrivningsordbok. Oslo, 1993.

Ageberg, E. Consequences of a ligament injury on neuromuscular function and relevance to rehabilitation - using the anterior cruciate ligament-injured knee as model. *Journal of Electromyography and Kinesiology (JJEK)* . 2002.
Ref Type: In Press

Arendt, E. and Dick, R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am. J. Sports Med.*, 1995, 23: 694-701.

Ashton-Miller, J. A., Wojtys, E. M., Huston, L. J. and Fry-Welch, D. Can proprioception really be improved by exercises? *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2001, 9: 128-136.

Bahr, R. Can we prevent ankle sprains? *Evidence Based Sports Medicine* . 2002.
Ref Type: In Press

Barrett, D. S. Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 1991, 73: 833-837.

Beard, D. J., Dodd, C. A., Trundle, H. R. and Simpson, A. H. Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency. A prospective randomised trial of two physiotherapy regimes. *J Bone Joint Surg Br*, 1994, 76: 654-659.

Beard, D. J., Kyberd, P. J., Fergusson, C. M. and Dodd, C. A. Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. An objective indication of the need for surgery? *J Bone Joint Surg Br*, 1993, 75: 311-315.

Bernier, J. N. and Perrin, D. H. Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 1998, 27: 264-275.

Beynonnon, B. D., Ryder, S. H., Konradsen, L., Johnson, R. J., Johnson, K. and Renstrom, P. A. The effect of anterior cruciate ligament trauma and bracing on knee proprioception. *Am. J Sports Med*, 1999, 27: 150-155.

Borsa, P. A., Lephart, S. M., Irrgang, J. J., Safran, M. R. and Fu, F. H. The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. *Am J Sports Med*, 1997, 25: 336-340.

Brodal, P. *Sentralnervesystemet, bygning og funksjon.* TANO AS, 1995 (2 edition).

Caraffa, A., Cerulli, G., Projetti, M., Aisa, G. and Rizzo, A. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 1996, 4: 19-21.

Cordo, P., Carlton, L., Bevan, L., Carlton, M. and Kerr, G. K. Proprioceptive coordination of movement sequences: role of velocity and position information. *J Neurophysiol.*, 1994, 71: 1848-1861.

Dybre-Poulsen, P. and Krogsgaard, M. R. Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans. *J Appl. Physiol*, 2000, 89: 2191-2195.

Eils, E. and Rosenbaum, D. A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.*, 2001, 33: 1991-1998.

Engebretsen, L. Forebygging av korsbåndskader-utopi eller nær virkelighet? 2000. 5-5-2000.
Ref Type: Personal Communication

- Fitzgerald, G. K., Axe, M. J. and Snyder-Mackler, L. The efficacy of perturbation training in nonoperative anterior cruciate ligament rehabilitation programs for physical active individuals. *Phys. Ther.*, 2000, 80: 128-140.
- Fosdahl, M., Friis, A., Risberg, M. A., Myklebust, G. and Holm, I. The effect of Neuromuscular Training on Proprioception, Balance and Muscle Strength in Team Handball Players. *Norsk Idrettsmedisin* 3, 10. 2000.
Ref Type: Abstract
- Freeman, M. A. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.*, 1965, 47: 669-677.
- Fremerey, R., Lobenhoffer, P., Skutek, M., Zeichen, J., Gerich, T. and Bosch, U. [Proprioception after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Endoscopic vs. 2 tunnel technique]. *Unfallchirurg*, 2000, 103: 864-870.
- Friden, T., Roberts, D., Ageberg, E., Walden, M. and Zatterstrom, R. Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 2001, 31: 567-576.
- Gauffin, H., Tropp, H. and Odenrick, P. Effect of ankle disk training on postural control in patients with functional instability of the ankle joint. *Int. J Sports Med*, 1988, 9: 141-144.
- Gillquist, J. and Messner, K. Anterior cruciate ligament reconstruction and the long-term incidence of gonarthrosis. *Sports Med.*, 1999, 27: 143-156.
- Gjerset, A., Haugen, K. and Holmstad, P. *Treningslære*. Oslo, 1995.
- Grigg, P. Peripheral neural mechanisms in proprioception. *J Sports Rehab*, 1994, 3: 2-17.
- Grob, K. R., Kuster, M. S., Higgins, S. A., Lloyd, D. G. and Yata, H. Lack of correlation between different measurements of proprioception in the knee. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 2002, 84: 614-618.
- Hageman, P. A., Leibowitz, J. M. and Blanke, D. Age and gender effects on postural control measures. *Arch. Phys. Med Rehabil*, 1995, 76: 961-965.
- Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V. and Noyes, F. R. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am. J Sports Med*, 1999, 27: 699-706.
- Hewett, T. E., Stroupe, A. L., Nance, T. A. and Noyes, F. R. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am. J. Sports Med.*, 1996, 24: 765-773.
- Hoffman, M. and Payne, V. G. The effects of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 1995, 21: 90-93.
- Holme, E., Magnusson, S. P., Becher, K., Bieler, T., Aagaard, P. and Kjaer, M. The effect of supervised rehabilitation on strength, postural sway, position sense and re-injury risk after acute ankle ligament sprain. *Scand J Med Sci Sports*, 1999, 9: 104-109.
- Johansson, H. and Sjølander, P. The neurophysiology of joint. In: V. Wright and E. Radin (Eds) Dekker, New York, 1993: 243-290.
- Jonsson, H., Karrholm, J. and Elmqvist, L. G. Kinematics of active knee extensors after tear of the anterior cruciate ligament. *Am. J Sports Med*, 1989, 17: 796-802.
- Kannus, P., Jarvinen, M., Johnson, R., Renstrom, P., Pope, M., Beynon, B., Nichols, C. and Kaplan, M. Function of the quadriceps and hamstrings muscles in knees with chronic partial deficiency of the anterior cruciate ligament. Isometric and isokinetic evaluation. *Am. J Sports Med*, 1992, 20: 162-168.

- Konradsen, L. and Ravn, J. B. Ankle instability caused by prolonged peroneal reaction time. *Acta Orthop. Scand*, 1990, 61: 388-390.
- Krauspe, R., Schmitz, F., Zoller, G. and Drenckhahn, D. Distribution of neurofilament-positive nerve fibres and sensory endings in the human anterior cruciate ligament. *Arch. Orthop. Trauma Surg*, 1995, 114: 194-198.
- Krogsgaard, M. R., Dyhre-Poulsen, P. and Fischer-Rasmussen, T. Cruciate ligament reflexes. *Journal of Electromyography and Kinesiology (JJEK)* . 2002.
Ref Type: In Press
- Lavender, A., Laurence, A. S., Bangash, I. H. and Smith, R. B. Cortical evoked potentials in the ruptured anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1999, 7: 98-101.
- Lephart, S. M. and Fu, F. *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*. Human Kinetics, 2000.
- Lephart, S. M., Giraldo, J. L., Borsa, P. A. and Fu, F. H. Knee joint proprioception: a comparison between female intercollegiate gymnasts and controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1996, 4: 121-124.
- Lephart, S. M., Mininder, S. K., Fu, F. H., Borsa, P. A. and Harner, C. D. Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sports Rehab*, 1992, 1: 188-196.
- Lindenfeld, T. N., Schmitt, D. J., Hendy, M. P., Mangine, R. E. and Noyes, F. R. Incidence of injury in indoor soccer. *Am. J Sports Med.*, 1994, 22: 364-371.
- Lloyd, D. G. Rationale for training programs to reduce anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 2001, 31: 645-654.
- MacDonald, P. B., Hedden, D., Pacin, O. and Sutherland, K. Proprioception in anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knees. *Am. J. Sports Med.*, 1996, 24: 774-778.
- Myklebust, G., Bahr, R., Engebretsen, L., Holm, I. and Maehlum, S. Clinical, functional and radiological outcome 6-11 years after ACL injuries in team handball players - a follow-up study. *The American Journal of Sports Medicine* . 2002.
Ref Type: In Press
- Myklebust, G., Maehlum, S., Engebretsen, L., Strand, T. and Solheim, E. Registration of cruciate ligament injuries in Norwegian top level team handball. A prospective study covering two seasons. *Scand J Med Sci Sports*, 1997, 7: 289-292.
- Myklebust, G., Skjølberg, A., Olsen, O., Brækken, I., Bahr, R. and Engebretsen, L. Forebygging av korsbåndskader i norsk kvinnehåndball-en prospektiv undersøkelse over 3 sesonger. *Norsk Idrettsmedisin* 3. 2001.
Ref Type: Abstract
- Ochi, M., Iwasa, J., Uchio, Y., Adachi, N. and Sumen, Y. The regeneration of sensory neurones in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.*, 1999, 81: 902-906.
- Osborne, M. D., Chou, L. S., Laskowski, E. R., Smith, J. and Kaufman, K. R. The effect of ankle disk training on muscle reaction time in subjects with a history of ankle sprain. *Am. J. Sports Med.*, 2001, 29: 627-632.
- Pitman, M. I., Nainzadeh, N., Menche, D., Gasalberti, R. and Song, E. K. The intraoperative evaluation of the neurosensory function of the anterior cruciate ligament in humans using somatosensory evoked potentials. *Arthroscopy*, 1992, 8: 442-447.

- Richie, D. H., Jr. Functional instability of the ankle and the role of neuromuscular control: a comprehensive review. *J Foot Ankle Surg*, 2001, 40: 240-251.
- Risberg, M. A., Beynon, B. D., Peura, G. D. and Uh, B. S. Proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction with and without bracing. *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 1999, 7: 303-309.
- Risberg, M. A., Mork, M., Jenssen, H. K. and Holm, I. Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 2001, 31: 620-631.
- Risberg, M. A. and Myklebust, G. Neuromuskulær trening som rehabilitering og forebygging - relatert til kneskader. *Fysioterapeuten*, 2001, 68: 12-21.
- Roberts, D., Friden, T., Zatterstrom, R., Lindstrand, A. and Moritz, U. Proprioception in people with anterior cruciate ligament-deficient knees: comparison of symptomatic and asymptomatic patients. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 1999, 29: 587-594.
- Rozzi, S. L., Lephart, S. M., Gear, W. S. and Fu, F. H. Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *Am. J Sports Med*, 1999a, 27: 312-319.
- Rozzi, S. L., Lephart, S. M., Sterner, R. and Kuligowski, L. Balance training for persons with functionally unstable ankles. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 1999b, 29: 478-486.
- Schultz, R. A., Miller, D. C., Kerr, C. S. and Micheli, L. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. *J Bone Joint Surg Am.*, 1984, 66: 1072-1076.
- Schutte, M. J., Dabezies, E. J., Zimny, M. L. and Happel, L. T. Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.*, 1987, 69: 243-247.
- Sherrington, C. *The integrative action of the nervous system*. Yale University Press, New Haven, CT, 1906.
- Shimizu, T., Takahashi, T., Wada, Y., Tanaka, M., Morisawa, Y. and Yamamoto, H. Regeneration process of mechanoreceptors in the reconstructed anterior cruciate ligament. *Arch. Orthop. Trauma Surg*, 1999, 119: 405-409.
- Shumway-Cook, A. and Woollacott, M. *Motor Control, Theory and practical applications*. Williams & Wilkins, Baltimore, 1995.
- Sjølander, P. and Johansson, H. D. M. Spinal and supraspinal effects of activity in ligament afferents. *Journal of Electromyography and Kinesiology* . 2002.
Ref Type: In Press
- Snyder-Mackler, L., Binder-Macleod, S. A. and Williams, P. R. Fatigability of human quadriceps femoris muscle following anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.*, 1993, 25: 783-789.
- Snyder-Mackler, L., Fitzgerald, G. K., Bartolozzi, A. R. and Ciccotti, M. G. The relationship between passive joint laxity and functional outcome after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*, 1997, 25: 191-195.
- Soderman, K., Werner, S., Pietila, T., Engstrom, B. and Alfredson, H. Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2000, 8: 356-363.
- Solomonow, M. and Krogsgaard, M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports*, 2001, 11: 64-80.

- Swanik, C. B., Lephart, S., Giannantonio, F. P. and Fu, F. H. Reestablishing proprioception and neuromuscular control in the ACL-injured athlete. *J Sports Rehab*, 1997, 6: 182-206.
- Tropp, H., Askling, C. and Gillquist, J. Prevention of ankle sprains. *Am. J. Sports Med.*, 1985, 13: 259-262.
- Valeriani, M., Restuccia, D., Di, L., V, Franceschi, F., Fabbriani, C. and Tonali, P. Clinical and neurophysiological abnormalities before and after reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee. *Acta Neurol. Scand*, 1999, 99: 303-307.
- Valeriani, M., Restuccia, D., DiLazzaro, V., Franceschi, F., Fabbriani, C. and Tonali, P. Central nervous system modifications in patients with lesion of the anterior cruciate ligament of the knee. *Brain*, 1996, 119 (Pt 5): 1751-1762.
- Voight, M. and Tippett, S. Plyometric exercises in rehabilitation. In: Mosby (Ed) *Rehabilitation Techniques in Sports Medicine*. St. Louis, 1994: 88-97.
- Wedderkopp, N., Kalsoft, M., Lundgaard, B., Rosendahl, M. and Froberg, K. Prevention of injuries in young female players in European team handball. A prospective intervention study. *Scand J Med Sci Sports*, 1999, 9: 41-47.
- Wester, J. U., Jespersen, S. M., Nielsen, K. D. and Neumann, L. Wobble board training after partial sprains of the lateral ligaments of the ankle: a prospective randomized study. *J Orthop. Sports Phys. Ther.*, 1996, 23: 332-336.
- Williams, G. N., Chmielewski, T., Rudolph, K., Buchanan, T. S. and Snyder-Mackler, L. Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. *J Orthop. Sports Phys. Ther.*, 2001, 31: 546-566.
- Wojtys, E. M. and Huston, L. J. Neuromuscular performance in normal and anterior cruciate ligament-deficient lower extremities. *Am. J Sports Med*, 1994, 22: 89-104.
- Wojtys, E. M. and Huston, L. J. Longitudinal effects of anterior cruciate ligament injury and patellar tendon autograft reconstruction on neuromuscular performance. *Am. J Sports Med*, 2000, 28: 336-344.
- Zatterstrom, R., Friden, T., Lindstrand, A. and Moritz, U. The effect of physiotherapy on standing balance in chronic anterior cruciate ligament insufficiency. *Am. J Sports Med*, 1994, 22: 531-536.