

**de Fysiotherapeut**

Koninklijk Nederlands Genootschap voor Fysiotherapie

# ***KNGF Evidence Statement***

**Revalidatie na voorste-kruisbandreconstructie**



# ***KNGF Evidence Statement***

## **Revalidatie na voorste-kruisbandreconstructie**

N. Engelen-van Melick, W. Hullegie, F. Brooijmans, E. Hendriks, C. Neeter, T. van Tienen en R. van Cingel

Creatief concept: KNGF  
Vormgeving – DTP – Drukwerk: Drukkerij De Gans, Amersfoort  
Eindredactie: Tertius – Redactie en organisatie, Houten

© 2014 Koninklijk Nederlands Genootschap voor Fysiotherapie (KNGF)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het KNGF. Het KNGF heeft als doel om de voorwaarden te scheppen waardoor fysiotherapeutische zorg van goede kwaliteit gerealiseerd wordt, die toegankelijk is voor de gehele Nederlandse bevolking, met erkenning van de professionele deskundigheid van de fysiotherapeut. Het KNGF behartigt voor ruim 20.000 aangesloten fysiotherapeuten de belangen op beroepsinhoudelijk, sociaal-maatschappelijk en economisch gebied.

# Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>	<b>Noten</b>	<b>13</b>
1.1 Achtergrond	5		
1.2 Afbakening van de populatie	6	<b>Literatuur</b>	<b>16</b>
<b>2 Diagnostisch proces</b>	<b>7</b>		
<b>3 Therapeutisch proces</b>	<b>7</b>		
3.1 Preoperatief proces	7		
3.2 Postoperatief proces	7		
3.3 Behandelprotocol	8		

# Evidence Statement Voorste-kruisbandreconstructie

## 1 Inleiding

Het doel van dit statement is het fysiotherapeutisch handelen bij patiënten die voor revalidatie na reconstructie van de voorste kruisband (VKB) bij de fysiotherapeut komen, te onderbouwen met wetenschappelijk bewijs en de uniformiteit in fysiotherapeutisch handelen en gebruik van klinimetrische instrumenten te bevorderen.

Er is gezocht naar een antwoord op de volgende vragen:

- Hoe ziet de fysiotherapeutische revalidatie na een VKB-reconstructie er uit?
- Welke klinimetrie kan toegepast worden tijdens de revalidatie en aan het einde van de revalidatie?
- Welke criteria worden gebruikt voor het hervatten van sportactiviteiten?

Het statement is een handleiding voor de practicus.

Wetenschappelijke onderbouwing wordt toegelicht in de noten, inclusief de mate van bewijs.

De werkwijze die is gehanteerd bij de ontwikkeling van dit statement en de literatuursearch is opgenomen in noot 1.

### 1.1 Achtergrond

Van alle VKB-rupturen is 70% gebaseerd op een 'non-contact' traumamechanisme (Quatman & Hewett, 2009; Saris et al., 2011). Met non-contact wordt bedoeld dat de krachten die zorgden voor de VKB-ruptuur afkomstig waren van de beweging van de persoon zelf en er geen contact was met een andere persoon of met een object (Shultz SJ et al., 2008). De tijd die verstrijkt tussen initieel grondcontact en het ruptureren van de VKB bedraagt 17-70 milliseconden (Ireland, 2002; Krosshaug et al., 2007; Koga et al., 2010). De incidentie van VKB-rupturen is het hoogst bij jonge mensen (15-40 jaar) die een pivoterende sport beoefenen, zoals basketbal, voetbal, handbal en skiën (Prodromos et al., 2007; Moses et al., 2012). Vrouwen hebben een 2-8 keer grotere kans op een VKB-ruptuur dan mannen bij het beoefenen van dezelfde sport (Yoo et al., 2010; Myer et al., 2013). Per jaar loopt meer dan 3% van de amateursporters een VKB-ruptuur op; bij topsporters kan dit, afhankelijk van de soort sport, zelfs oplopen tot boven de 15% (Moses et al., 2012). In Nederland werden in 2012 naar schatting 8000-9000 VKB-reconstructies uitgevoerd. De meeste primaire VKB-reconstructies worden uitgevoerd met een autologe *bone-patellar tendon-bone* (BPTB) graft of *hamstring* (HS) graft. Beide methoden leiden tot goede functionele resultaten, herstel van de passieve stabiliteit en lage complicatiepercentages (Saris et al., 2011). Recent onderzoek bij sporters laat zien dat een derde

van hen niet terugkeert op het oorspronkelijke sportniveau binnen 2 jaar (Laboute et al., 2010; Shah et al., 2010; Ardern et al., 2011a). Na 3 jaar, of na een nog langere periode, loopt dit zelfs op tot 50%, omdat veel sporters alsnog besluiten op een lager niveau te gaan sporten (Ardern et al., 2012; Mascarenhas et al., 2012; McCullough et al., 2012). Ongeveer 50% van deze sporters noemt daarbij de VKB-reconstructie als primaire reden voor hun lagere sportniveau (Ardern et al., 2011a; Ardern et al., 2012; Brophy et al., 2012; Mascarenhas et al., 2012; McCullough et al., 2012). Bovendien blijkt uit onderzoek dat zich binnen 2 jaar re-rupturen voordoen bij 3-22% van de patiënten en contralaterale VKB-rupturen bij 3-24% van de patiënten (Wright et al., 2007; Swärd et al., 2010; Barber-Westin & Noyes, 2011a; Wright et al., 2011; Paterno et al., 2012). (noot 2) Naast het fysieke herstel blijkt de psychologische respons op de VKB-ruptuur en de revalidatie na de ruptuur (o.a. angst voor recidief), van invloed te zijn op de mate waarin iemand sportactiviteiten hervat (Kvist et al., 2005; Chmielewski et al., 2008; Webster et al., 2008; Langford et al., 2009; Van Wilgen et al., 2010; Ardern et al., 2011b; Ardern et al., 2013; Flanigan et al., 2013).

Drie recente systematische reviews over klinimetrie laten zien dat bij het bepalen van het moment waarop iemand weer gaat sporten nauwelijks gebruikgemaakt wordt van objectieve criteria en dat daarnaast op dat moment de kwaliteit van bewegen niet wordt gemeten (Barber-Westin & Noyes, 2011a, 2011b; Engelen-van Melick et al., 2013). Uit eerdere studies is echter bekend dat, naast de *kwantiteit*, ook de *kwaliteit* van bewegen van invloed is op het optreden van VKB-(re)rupturen (Renstrom et al., 2008). Zo voorspellen dynamische knievalgus en verminderde neuromusculaire controle van de romp bij de landing na een sprong het risico op een VKB-ruptuur bij gezonde vrouwen (Hewett et al., 2005; Zazulak et al., 2007).

Bovendien is gebleken dat deze dynamische knievalgus en een kleine knieflexiehoek bij het landen voorspellende factoren zijn voor een re-ruptuur bij het hervatten van sportactiviteiten na een reconstructie (Paterno et al., 2010). Het is dus *tijdens* de revalidatie al van belang om rekening te houden met deze kwalitatieve factoren.

Bij de revalidatie na een VKB-ruptuur of -reconstructie dient men zich te realiseren dat de VKB niet alleen een mechanische functie heeft. Omdat de VKB voor circa 2,5% bestaat uit mechanoreceptoren heeft deze, via de artrokinematische reflexboog, direct invloed op de neuromusculaire controle van de knie. De knie maakt deel uit van taakafhankelijke geïntegreerde gewrichtsketens, met als doel een activiteit zoals het lopen mogelijk te maken. Door een VKB-ruptuur ontstaat partiële

de-afferentie met effecten op lokaal, spinaal en supra-spinaal (hersenslam en motorische cortex) niveau. Een VKB-ruptuur heeft daarom ook consequenties voor de wijze waarop gewrichtsketens geïntegreerd worden. Dit vraagt reorganisatie van het centraal zenuwstelsel, met veranderde hersenactiviteit en daarmee een veranderde motorische controlestrategie, op grond waarvan deze subtiele nieuwe rolverdeling binnen deze gewrichtsketens mogelijk wordt (Courtney & Rine, 2006; Kapreli et al., 2009). De veranderde motorische controlestrategie kan zich uiten in individueel bepaalde veranderde proprioceptie, posturale controle, spierkracht en bewegings- en spieractivatiepatronen. Als de regie van het neuromusculaire controlesysteem voldoende flexibel is, zal de uitvoering van de activiteit niet aan doeltreffendheid en kwaliteit inboeten. Die flexibiliteit maakt het immers mogelijk dat de patiënt na een VKB-ruptuur onder wisselende omstandigheden op flexibele wijze opnieuw de regie neemt bij de reorganisatie van de gewrichtsketens. Binnen de revalidatie zijn nieuwe ontwikkelingen gaande om juist de flexibiliteit van het neuromotorisch systeem te kwantificeren. Hiervoor zijn de non-lineaire analyses (o.a. 'sample entropy') van kinematische registraties informatief, omdat deze analyses inzicht geven in het probleemoplossend vermogen van het neuromotorisch systeem (Georgoulis et al., 2006; Decker et al., 2011).

Gezien bovenstaande moet een VKB-ruptuur niet alleen beschouwd worden als een perifere musculoskeletale aandoening, maar vooral als een potentiële neuro-fysiologische disfunctie. Het is niet vanzelfsprekend dat een VKB-reconstructie automatisch tot een doeltreffend en kwalitatief hoogwaardig activiteitsniveau leidt, temeer omdat tot op heden nog niet is aangetoond dat er ingroei van nieuwe mechanoreceptoren plaatsvindt in de VKB-graft.

## 1.2 Afbakening van de populatie

Dit evidence statement heeft betrekking op:

- de revalidatie na een primaire hersteloperatie van de VKB;
- met een autologe BPTB- of HS-graft (noot 3), ingeval de operatie is uitgevoerd:
  - bij personen die ouder zijn dan 16 jaar (McConkey et al., 2011);
  - bij sporters en personen die fysiek zwaar werk verrichten (brandweer, politie, defensie).

Het betreft revalidatie na VKB-reconstructie:

- met alle soorten operatietechnieken (Saris et al., 2011);
- met alle soorten fixatiemogelijkheden (Saris et al., 2011);
- in combinatie met ligamenteair letsel (mediaal collaterale ligament (MCL), lateraal collaterale ligament (LCL), achterste kruisband (AKB), posterolaterale

hoek) graad A of B volgens de gradering van de International Knee Documentation Committee (IKDC);

- ook ingeval van meniscectomie (eerder uitgevoerd of gelijktijdig);
- bij patiënten met kraakbeenpathologie graad I of II volgens de gradering van de International Cartilage Repair Society (ICRS).

### IKDC-gradering voor bandletsel

Graad A	AKB (achterste schuifvlade in 70° flexie); MCL (mediale gewrichtsopening, 20° flexie + valgus) of LCL (laterale gewrichtsopening, 20° flexie + varus) 0-2 mm; posterolaterale hoek (exorotatie in 30° en 90° flexie, buikligging) < 5°.
Graad B	AKB, MCL of LCL 3-5 mm; posterolaterale hoek 6-10°.
Graad C	AKB, MCL of LCL 6-10 mm; posterolaterale hoek 11-19°.
Graad D	AKB, MCL of LCL > 10 mm; posterolaterale hoek > 20°.

### ICRS-gradering voor kraakbeenpathologie

Normaal	
Graad I	Oppervlakkige laesies, zachte deukjes of oppervlakkige groeven en scheuren.
Graad II	Laesies die zich uitbreiden tot 50% van de diepte van het kraakbeen.
Graad III	Laesies die zich uitbreiden tot 50% van de diepte van het kraakbeen, maar ook naar de gecalcificeerde laag. Hiertoe behoren ook defecten onder een blaas van het kraakbeen.
Graad IV	Osteochondrale schade. Dit zijn laesies die zich uitbreiden tot net voorbij de subchondrale botplaat of dieper in het trabeculaire bot.

### Exclusie

Dit evidence statement heeft geen betrekking op:

- kinderen en adolescenten (leeftijd < 16 jaar);
- allografts en synthetische grafts;
- ligamenteair letsel graad C of D;
- meniscushechting (gelijktijdig uitgevoerd);
- kraakbeenpathologie graad III of IV;
- revisie van een VKB-graft.

## 2 Diagnostisch proces

Voor het diagnostisch proces wordt verwezen naar de *Richtlijn Voorste kruisbandletsel* van de Nederlandse Orthopaedische Vereniging (Saris et al., 2011).

## 3 Therapeutisch proces

Alvorens met het therapeutisch proces te starten, moet aan een aantal voorwaarden zijn voldaan. Communicatie tussen de fysiotherapeut en de behandelend medisch specialist (gewoonlijk een orthopedisch chirurg of traumachirurg) is te allen tijde van belang. De werkgroep adviseert preoperatief te overleggen over de juiste timing van de operatie en eventueel uit te voeren klinimetrie. Uiteindelijk zal de medisch specialist bepalen of en wanneer een operatie wordt uitgevoerd. Postoperatief zal de fysiotherapeut informatie nodig hebben over de operatie zelf: grafttype, of er een (partiële) meniscectomie of meniscushechting uitgevoerd is, of er sprake is van kraakbeenschade in de verschillende compartimenten (locatie, graad en grootte), of een bone bruise aanwezig is, of er sprake is van ander ligamenteair letsel, eventueel aangevuld met specifieke adviezen ten aanzien van belasting. Als de fysiotherapeut deze informatie niet standaard van de behandelend medisch specialist ontvangt, moet deze bij de specialist worden opgevraagd. Verder adviseert de werkgroep dat de fysiotherapeut deze specialist op de hoogte brengt van de status praesens voorafgaand aan elk postoperatief poliklinisch controlemoment van de patiënt.

### 3.1 Preoperatief proces

#### Voorwaarden voor operatie: indicatiestelling door arts (noot 4)

- Een VKB-reconstructie is geïndiceerd bij aanhoudende functionele instabiliteit van de knie met klachten van giving way<sup>a</sup>. Of zich functionele instabiliteit zal ontwikkelen, is in de acute situatie moeilijk vast te stellen. Het is dan ook aan te bevelen om in deze fase geen reconstructie uit te voeren, teneinde de kans op een operatie bij een asymptomatische patiënt te verkleinen (Ageberg et al., 2008; Saris et al., 2011; Meuffels et al., 2012).
- Artrofibrose moet zoveel mogelijk voorkomen worden. Daarom dient een operatie pas plaats te vinden als de synoviale reactie in de knie is geminimaliseerd, de extensie volledig is (0 graden), de mobiliteit van de patella goed is (links gelijk aan rechts), er sprake is van willekeurige controle over

de musculus (m.) quadriceps en er een normaal looppatroon mogelijk is (Shelbourne & Gray, 1997; McHugh et al., 1998; Millet et al., 2001; De Carlo & McDivitt, 2006; Mauro et al., 2008; Quelard et al., 2010; Saris et al., 2011)

- Een preoperatief (isokinetisch) krachtverschil in de m. quadriceps tussen het aangedane en niet-aangedane been van meer dan 20% leidt tot een significant krachtverschil tot 2 jaar postoperatief. Daarom dient het krachtverlies in het aangedane been ten opzichte van het niet-aangedane been geminimaliseerd te worden tot 20% of minder; op de lange termijn leidt dit tot een betere kniefunctie (De Jong et al., 2007; Eitzen et al., 2009).

#### Preoperatieve behandeling

De werkgroep adviseert het volgende:

- De fysiotherapeut geeft informatie over het lopen met krukken, de eerste postoperatieve oefeningen en het revalidatieproces in het algemeen. Dit verhoogt de self-efficacy van de patiënt tijdens de revalidatie, ofwel de mate van vertrouwen dat de patiënt heeft in zijn eigen mogelijkheden om de revalidatie na VKB-reconstructie te laten slagen (Thoméé et al., 2006). Voorlichting leidt er daarnaast toe dat de patiënt een reëel beeld krijgt van de revalidatie. Bovendien leidt voorlichting tot een betere subjectieve en objectieve uitkomst na de revalidatie (Maddison et al., 2006; Thoméé et al., 2007; Thoméé et al., 2008).
- Bij een mobiliteitsbeperking van de aangedane ten opzichte van de niet-aangedane zijde, is het wenselijk passieve mobilisaties van het patellofemorale en/of tibiofemorale gewricht uit te voeren (Shelbourne & Gray, 1997; Millet et al., 2001).
- Bij een krachtverlies ten opzichte van de niet-aangedane zijde is het wenselijk om de quadricepskracht te trainen in open en gesloten keten (De Jong et al., 2007; Eitzen et al., 2009).

#### Preoperatieve klinimetrie (noot 5)

- Stroke-test: vaststellen van hydrops (Sturgill et al., 2009).
- Passieve range of motion (ROM), zowel patellofemorale als tibiofemorale (Millet et al., 2001).
- Visual analog scale (VAS), de IKDC subjectieve vragenlijst en/of de Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) (Saris et al., 2011).
- Krachtmeting van de m. quadriceps en de hamstrings (De Jong et al., 2007; Eitzen et al., 2009).

### 3.2 Postoperatief proces

- Er is beperkt wetenschappelijk bewijs beschikbaar voor de trainingsvormen die het eindresultaat van de revalidatie na VKB-reconstructie beïnvloeden. Op basis van de literatuur kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

<sup>a</sup> Giving way is het ervaren van functionele instabiliteit zonder daadwerkelijk door de knie te zakken.

- Krachtraining dient zowel in gesloten als open keten te worden uitgevoerd om het meest optimale resultaat te behalen (kracht links = kracht rechts). Niveau van bewijs: 1.
- Excentrische training van de m. quadriceps en de gluteaalmusculatuur kan veilig in de vroege fase van de revalidatie ingezet worden. Niveau van bewijs: 2.
- Behalve krachtraining moet ook neuromusculaire training<sup>b</sup> onderdeel uitmaken van de revalidatie. Niveau van bewijs: 2.
- Het revalidatieprotocol in dit evidence statement is gebaseerd op het beschikbare bewijs, klinische studies en de mening van de werkgroepleden (expert opinion en best practice). De postoperatieve revalidatie wordt ingedeeld in fasen, met elk eigen doelstellingen en criteria. Doorstromen naar een volgende fase kan pas plaatsvinden als de doelstellingen van een voorgaande fase zijn behaald en aan de criteria van die fase is voldaan (Shelbourne & Nitz, 1990; Van Grinsven et al., 2010). De interventies per fase zijn gebaseerd op de *International Classification of Functioning, Disability and Health* (WHO, 2001).  
Vanaf het moment van reconstructie treden er histologische veranderingen op in de graft. Tijdens de eerste 3 maanden is de fixatie van de graft het kwetsbaarst. (noot 6)  
Er is geen consensus over het tijdsplan van de verschillende fasen. In zijn algemeenheid adviseert de werkgroep direct na de operatie te starten met fysiotherapie en de revalidatie na VKB-reconstructie 9-12 maanden te laten duren, afhankelijk van de hulpvraag van de patiënt, het behandelingsdoel en het eindniveau dat de patiënt wil bereiken (Muneta et al., 1998; Tyler et al., 1998; Franczuk et al., 2004; Isberg et al., 2006; Christensen et al., 2013). (noot 7)  
Deze termijn is nodig om volledige terugkeer naar de oorspronkelijke (sport)activiteiten en fysiek zwaar werk mogelijk te maken.
- Voorafgaand aan iedere behandelsessie vindt een korte tussentijdse evaluatie plaats van behandelbare grootheden. De fysiotherapeut stemt de behandeling af op het resultaat van deze evaluatie.  
Tussentijdse evaluatie betreft:
  - de stroke-test voor het vaststellen van hydrops (Sturgill et al., 2009);
  - de passieve range of motion (ROM), zowel patel-

lofemoraal als tibiofemoraal (Millet et al., 2001);

- de mate van willekeurige aanspanning van de bovenbeenmusculatuur;
- een ganganalyse.

### 3.3 Behandelprotocol

#### Fase 1

Doel: verminderen hydrops/synovitis, extensie 0°, willekeurige quadricepscontrole en dynamisch looppatroon (Shelbourne & Gray, 1997; Meuffels et al., 2012). Dit doel zal bij een normaal beloop na 6-8 weken bereikt zijn (Millet et al., 2001; Van Grinsven et al., 2010).

#### 1 Functieniveau

##### a. Mobiliteit

- Passieve mobilisaties van de patella, zowel mediaal-lateraal als caudaal-craniaal, indien de patellamobiliteit links en rechts ongelijk is (Noyes et al., 1992). (noot 8).  
Streef naar een goede mobiliteit van de patella (mobiliteit links = mobiliteit rechts) binnen 4-6 weken.
- Geleid actief oefenen en/of passieve mobilisaties van de extensie, indien actief geen volledige extensie behaald kan worden. Bij een extensiebeperking  $\geq 10^\circ$ : 'heel props' (doorhangen), eventueel met extra gewicht op knie (Noyes et al., 1992; De Carlo & McDivitt, 2006).  
Streef naar 0° extensie binnen 2-4 weken (Shelbourne & Nitz, 1990; Noyes et al., 1992; Millet et al., 2001; De Carlo & McDivitt, 2006). (noot 9)
- 'Heel slides' ter verbetering van de flexie-ROM (De Carlo & McDivitt, 2006).  
Streef naar 120-130° flexie binnen 4-6 weken (Shelbourne & Nitz, 1990; Noyes et al., 1992; Millet et al., 2001; De Carlo & McDivitt, 2006). (noot 9)

In geval van warmte, hydrops en/of een toename van pijn als reactie op mobilisaties:

- Evalueer de therapie en stel deze bij door rust in te lassen, door cryotherapie te geven (eventueel met compressie) en/of (in overleg met de behandelend medisch specialist of huisarts) NSAID's (Millet et al., 2001).  
NB. Cryotherapie heeft invloed op pijn, maar niet op hydrops (Raynor et al., 2005; Waterman et al., 2012). (noot 10)

##### b. Kracht (noot 11)

- Motorische reactivering van de m. quadriceps: aanspannen van de m. quadriceps in langzit, oftewel actieve knie-extensie (De Carlo & McDivitt, 2006; Isberg et al., 2006). Maak ter ondersteuning eventueel gebruik van facilitatietechnieken of elektrostimulatie indien actieve aanspanning van de m.

<sup>b</sup> Neuromusculaire training is het verbeteren van de onbewuste motorische reacties die verantwoordelijk zijn voor dynamische gewrichtsstabiliteit. Na een VKB-reconstructie wordt het zenuwstelsel getraind om een snelle en optimale spiercontractie uit te lokken, waardoor de dynamische kniestabiliteit toeneemt, de krachten op de knie afnemen en motorische vaardigheden opnieuw worden aangeleerd (Risberg et al., 2001).



quadriceps onmogelijk is (Wright et al., 2008; Kim et al., 2010). (noot 12)

- Isometrische quadricepsoefeningen ('active straight leg raises', ASLR) (Shaw et al., 2005; De Carlo & McDivitt, 2006) (noot 13), opgebouwd naar concentrische en excentrische oefeningen (noot 14), mits de knie niet reageert met warmte, hydrops en/of toename van pijn (Gerber et al., 2007a; Gerber et al., 2007b; Andersson et al., 2009; Gerber et al., 2009).
- Quadricepstraining in gesloten keten (ROM 0°-60°) met behulp van de 'leg press', met de 'squat' en met de 'step-up' (Shelbourne & Gray, 1997; De Carlo & McDivitt, 2006; Heijne & Werner, 2007; Risberg et al., 2007; Van Grinsven et al., 2010). (noot 15)
- Bij een BPTB-graft: vanaf week 4 quadricepsoefeningen in een open keten met extra weerstand (zoals leg extension) met ROM 90-45° (Heijne & Werner, 2007; Escamilla et al., 2012).  
Bij een HS-graft: vanaf week 4 quadricepsoefeningen in een open keten, maar zonder extra weerstand, met ROM 90-45° (Fukuda et al., 2013).  
Zowel bij een BPTB- als bij een HS-graft is het vanaf week 5 mogelijk om elke week in 10° meer extensie te trainen: in week 5 met ROM 90-30° en in week 6 met ROM 90-20° (De Carlo & McDivitt, 2006; Heijne & Werner, 2007; Wright et al., 2008; Andersson et al., 2009; Glass et al., 2010; Van Grinsven et al., 2010; Escamilla et al., 2012). (noot 15)
- Concentrische en excentrische training van:
  - de gluteaalmusculatuur met abductie in zijligging of abductie in stand (= 'side kick') en 'crab walks';
  - de hamstring met 'goodmorning', heupextensie in buikligging of stand (= 'rear kick') en
  - de kuitmusculatuur met 'standing heel raises' (Risberg et al., 2007).

Zie ook figuur 1.

## 2 Activiteiten- en participatieniveau

### a. Neuromusculair (noot 16)

- Neuromusculaire training op beide benen, bijvoorbeeld op de kantelplank (voor-achterwaarts bewegen) of met gewicht verplaatsen (Risberg & Holm, 2009), geleidelijk uit te breiden met:
  - perturbatietraining<sup>c</sup> op de kantelplank door het aanbrengen van minimale balansverstoringen door aan het bekken of de schouders van de patiënt te duwen en/of te trekken, zonder dat de patiënt kan zien wat de behandelaar doet, zodat anticipatie op de verstoring niet mogelijk is;

<sup>c</sup> Perturbatietraining is trainen ter verbetering van de reflexmatige gewrichtsstabiliteit door een onbewuste reactie uit te lokken op een plotselinge onverwachte kracht of beweging van buiten het lichaam (Chmielewski et al., 2005).

- oefenen op 1 been;
- oefenen op een steeds minder stabiele ondergrond;
- oefenen met gesloten ogen;
- dubbeltaken: motorisch-motorisch (bijvoorbeeld op een oefentol staan en een bal vangen en gooien) of motorisch-cognitief (bijvoorbeeld op een oefentol staan en een rekensom of leestaak uitvoeren).
- Besteed aandacht aan een goede positie van romp, bekken, heup en knie (romplateroflexie, heup- en knieflexie, dynamische knievalgus<sup>d</sup> en *knee-over-toe*principe<sup>e</sup> (Risberg et al., 2007; Van Grinsven et al., 2010; Tsai & Powers, 2012).  
Maak bij het aanleren van de juiste techniek gebruik van *impliciet* leren<sup>f</sup> en niet van *expliciet* leren.

### b. Wandelen en fietsen

- Steun nemen op het geopereerde been, eventueel met gebruikmaking van krukken (Shelbourne & Nitz, 1990; Tyler et al., 1998; De Carlo & McDivitt, 2006). De patiënt moet met krukken blijven lopen zolang het looppatroon zonder krukken nog niet goed is (geen actieve extensie). Oefen het looppatroon in wisselende tempo's en op verschillende ondergronden (De Carlo & McDivitt, 2006).
- Fietsen op een hometrainer als de knieflexie circa 100° is (Shelbourne & Gray, 1997; Risberg et al., 2007), wat in eerste instantie is bedoeld als mobiliserende oefening en als warming-up.

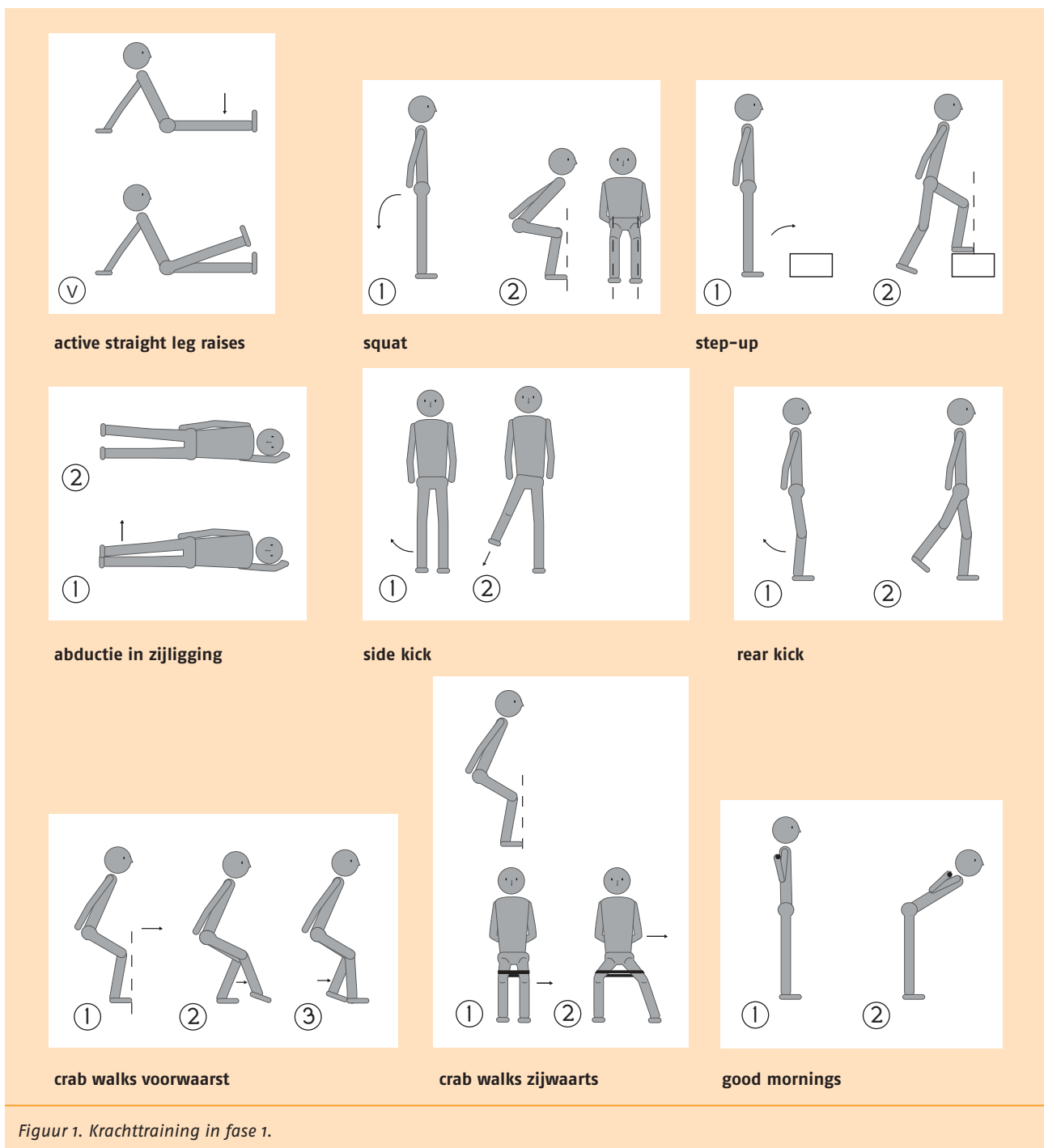
Van een afwijkend beloop is sprake:

- als de wond zich niet sluit of als er infectie optreedt: verwijs de patiënt terug naar de behandelend medisch specialist;
- als er na 6-8 weken nog steeds sprake is van een fors verminderde mobiliteit van de patella: overleg met de behandelend medisch specialist in verband met het risico op het *infrapatellar contracture syndrome* (Paulos et al., 1987, 1994; Heard et al., 2013);

<sup>d</sup> Dynamische knievalgus is een valgusbeweging van de knie in het frontale vlak tijdens sportactiviteiten (afzetten, landen, kappen en draaien) waarbij het midden van de patella aan de mediale zijde van de grote teen eindigt. Dit is een ongewenste beweging tijdens deze activiteiten, omdat het een risicofactor is voor zowel een primaire VKB-ruptuur als een re-ruptuur van de graft (Hewett et al., 2005; Paterno et al., 2010).

<sup>e</sup> Het 'knee-over-toe'principe is een beweging van de knie in het sagittale en frontale vlak waarbij de patella boven de tenen eindigt.

<sup>f</sup> Impliciet leren is leren door observatie. Een expert doet een beweging voor, de patiënt doet deze beweging na en de patiënt corrigeert zichzelf als het niet goed gaat. Bij expliciet leren daarentegen krijgt de patiënt te horen wat hij goed en fout doet (Benjaminse & Otten, 2011).



- als na 6–8 weken de (belaste) extensie minder is dan  $0^\circ$  of de extensie afneemt: overleg met de behandelend medisch specialist vanwege het risico op artrofibrose of cyclops (Shelbourne et al., 1991; Millet et al., 2001);
- als er na 6–8 weken nog geen willekeurige controle is van de m. quadriceps: overleg met de behandelend medisch specialist;
- als de patiënt na 6–8 weken nog steeds een afwijkend looppatroon heeft (niet kunnen extenderen van de knie in de late zwaifase en het midden van de standfase), waarbij er een aanhoudende cocontractie is van de m. quadriceps en de hamstrings: train het looppatroon voordat wordt overgegaan naar fase 2.

#### Criteria om te kunnen starten met fase 2

- Goede wondheling: gesloten wonden, geen infectie.
- Geen pijn in de knie bij belaste oefeningen in fase 1 (VAS) (Noyes et al., 1992).
- Minimale hydrops/synovitis (Noyes et al., 1992; Van Grinsven et al., 2010).
- Normale mobiliteit van de patella (Noyes et al., 1992).
- Volledige extensie ( $0^\circ$ ) en een flexie van minimaal  $120\text{--}130^\circ$  (Noyes et al., 1992; Shelbourne & Gray, 1997; De Carlo & McDivitt, 2006; Van Grinsven et al., 2010).
- Willekeurige aanspanning van de m. quadriceps (Shelbourne & Gray, 1997; De Carlo & McDivitt, 2006; Van Grinsven et al., 2010).
- Actief dynamisch looppatroon zonder krukken (Verkorte Ganganalyselijst Nijmegen).

- Kwalitatief correcte uitvoering van de neuromusculaire oefeningen in fase 1 (zie 2a).
- Rapportage naar de behandelend medisch specialist.

## Fase 2

Doel: klachtenvrij kunnen uitvoeren van sportspecifieke activiteiten en fysiek zwaar werk (Saris et al., 2011).

### 1 Functieniveau

#### a. Mobiliteit

- De volledige ROM behouden, zowel patellofemoraal als tibiofemoraal (Van Grinsven et al., 2010).

#### b. Kracht

- Quadricepsoefeningen in een open keten uitbreiden: van ROM 90–20° in week 6 naar ROM 90–10° in week 7 en naar volledige ROM in week 8 (De Carlo & McDivitt, 2006; Heijne & Werner, 2007; Van Grinsven et al., 2010).
- Quadricepsoefeningen in een gesloten keten uitbreiden: vanaf week 8 naar ROM 0–90°; (Van Grinsven et al., 2010), bijvoorbeeld de 'split squat' en de 'eenbenige squat' (figuur 2) toevoegen. (noot 15)  
Let op: Bij patiënten met een HS-graft mag pas vanaf week 12 extra weerstand worden toegevoegd (Heijne & Werner, 2007; Wright et al., 2008; Andersson et al., 2009; Glass et al., 2010). (noot 15)
- De spierversterkende oefeningen voor gluteaalmusculatuur, hamstrings en kuitmusculatuur intensiveren.
- Van alle spierversterkende oefeningen het aantal herhalingen verminderen en de weerstand verhogen (De Carlo & McDivitt, 2006; Van Grinsven et al., 2010). (noot 11)

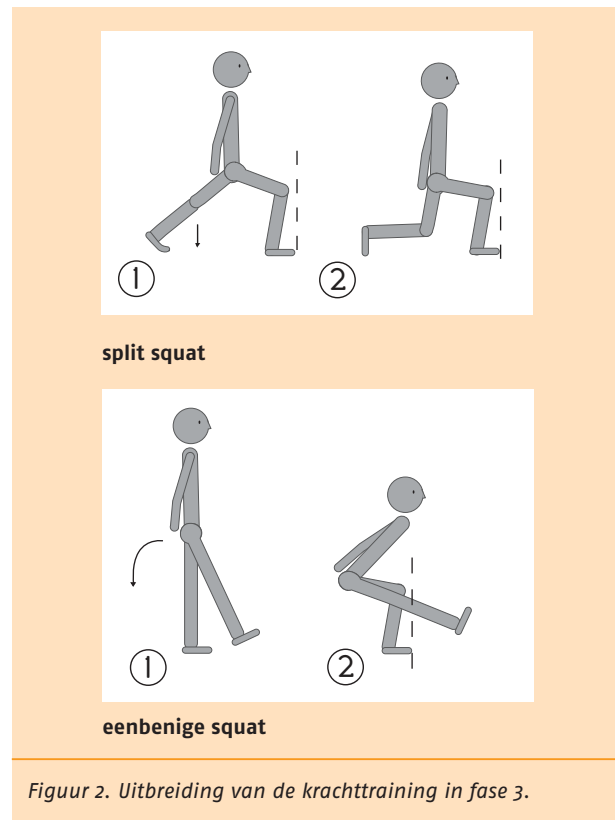
### 2 Activiteiten- en participatieniveau

#### a. Neuromusculair (noot 16)

- De neuromusculaire training en perturbatietraining uitbreiden:
  - van statisch naar dynamisch;
  - van voor-achterwaarts naar zijwaarts;
- De perturbatietraining uitbreiden met veranderingen in voorspelbaarheid, richting, snelheid, kracht en bewegingsuitslag, bijvoorbeeld op een bewegende ondergrond (karretje) en met tweebeinige sprongen (plyometrie), inclusief rotaties (Risberg et al., 2007).
- Aandacht blijven besteden aan een kwalitatief correcte uitvoering van de oefeningen.

#### b. Wandelen en fietsen

- Buitenshuis fietsen aan het begin van fase 2 (Van Grinsven et al., 2010).
- Cyclisch belaste trainingsvormen toevoegen aan het revalidatieprogramma, zoals crosstrainer, stepapparaat en/of roeimachine.



Figuur 2. Uitbreiding van de krachttraining in fase 3.

- Met joggen starten week 10 tot 12 postoperatief, maar alleen als het joggen symmetrisch wordt uitgevoerd en de knie niet reactief is (Shelbourne & Nitz, 1990; De Carlo & McDivitt, 2006).
- De conditionele training verzwaren (met name aerob).

#### c. Sportspecifieke training

- Agilitytraining<sup>g</sup> onder begeleiding opstarten (Risberg et al., 2007).
- Aandacht blijven besteden aan een kwalitatief correcte uitvoering van de oefeningen.

NB. De patiënt kan het werk in toenemende mate hervatten in overleg met de bedrijfsarts en/of werkgever.

#### Criteria om te kunnen starten met fase 3

- Kwalitatief correcte uitvoering van de neuromusculaire en agilitytraining in fase 2.
- *Limb Symmetry Index* (LSI)<sup>h</sup> > 80% voor quadriceps- en hamstringkracht (Van Grinsven et al., 2010).
- LSI > 80% voor een hoptestbatterij (Van Grinsven et al., 2010), bij voorkeur voor de hoptesten van Gustavsson (Gustavsson, et al., 2006).

<sup>g</sup> Agility is de mogelijkheid om tijdens sportactiviteiten gecontroleerd, snel en effectief van richting te veranderen en een juiste positie van het lichaam te handhaven.

<sup>h</sup> De *Limb Symmetry Index* is de score van het geopereerde been gedeeld door de score van het niet-geopereerde been keer 100%. Deze index geeft in percentages aan hoe goed het geopereerde been hersteld is ten opzichte van het niet-geopereerde been.

- Afnemen van de IKDC en/of KOOS.
- Rapportage naar de behandelend medisch specialist.

### Fase 3

Doel: volledige terugkeer naar sportactiviteiten en fysiek zwaar werk (participatieniveau).

## 1 Functieniveau

### a. Mobiliteit

- De volledige ROM behouden, zowel patellofemorale als tibiofemorale (Van Grinsven et al., 2010).

### b. Kracht

- (Sport)specifieke spierversterkende oefeningen intensiveren (Noyes et al., 1992; Risberg et al., 2007; Van Grinsven et al., 2010). (noot 11)

## 2. Activiteitsniveau en participatieniveau

### a. Neuromusculair (noot 16)

- De neuromusculaire training en perturbatietraining uitbreiden:
  - naar eenbenige sprongen;
  - met nadruk op sportspecifieke bewegingen (Risberg et al., 2007; Van Grinsven et al., 2010).
- Aandacht blijven besteden aan een kwalitatief correcte uitvoering van de oefeningen.

### b. Wandelen en fietsen

- Joggen en/of fietsen uitbreiden in duur en intensiteit. Bouw de sportspecifieke belasting op wat betreft de energiesystemen (anaeroob alactisch, anaeroob lactisch en/of aeroob) en ondergrond (bijvoorbeeld sporthal, voetbalveld, weg, bos).

### c. Sportspecifieke training

- De agilitytraining uitbreiden en intensiveren (Risberg et al., 2007).
- Trainen bij de eigen sportclub laten hervatten.

## Criteria voor ontslag en terugkeer naar sport (noot 17):

- Geen pijn in de knie bij sportactiviteiten.
- Geen giving way en/of angst tijdens sportactiviteiten.
- Correct looppatroon volgens Verkorte Ganganalyse-lijst Nijmegen, een symmetrisch hardlooppatroon (Millet et al., 2001) plus correcte uitvoering van sportspecifieke bewegingen.
- LSI > 90% voor quadriceps- en hamstringkracht (voor het uitsluiten van 'quadriceps dominance'<sup>i</sup> en 'leg dominance'<sup>j</sup> (Myer et al., 2004; Van Grinsven et al., 2010).
- LSI > 90% voor een hoptestbatterij (Van Grinsven et al., 2010), met voorkeur voor de hoptesten van Gustavsson (Gustavsson et al., 2006) uitgebreid met de single-leg hop and hold test<sup>k</sup> (voor het uitsluiten

van quadriceps dominance en leg dominance) (Myer et al., 2004).

- Drop jump<sup>l</sup> met observatie of videoanalyse van de kwaliteit van bewegen, waarbij ten minste gelet wordt op het wel of niet optreden van latero-flexie van de romp en dynamische knievalgus (om 'ligament dominance'<sup>m</sup> uit te sluiten) en voldoende knieflexie bij het landen na een sprong (Myer et al., 2004; Ekegren et al., 2009; Engelen-van Melick et al., 2013).
- Afnemen van de IKDC en/of KOOS.
- Rapportage naar de behandelend medisch specialist.

- 
- i Quadriceps dominance is de disbalans tussen de recruteringspatronen van de m. quadriceps en de hamstrings in hetzelfde been, waarbij de m. quadriceps in verhouding teveel actief is tijdens sportactiviteiten (zoals landen); er is te weinig cocontractie van de hamstrings. Dit zorgt voor een kleine knieflexiehoek wat een risicofactor is voor re-rupturen (Myer et al., 2004; Hewett et al., 2007; Paterno et al., 2010).*
  - j Leg dominance is de disbalans tussen de beide benen als het gaat om kracht, kinematica of functionele bewegingen (kan uitgedrukt worden in de LSI) (Myer et al., 2004; Hewett et al., 2007)*
  - k De single-leg hop and hold test is een eenbenige sprongtest, waarbij 90% van de afstand die wordt gesprongen bij de 'single-leg hop for distance' wordt gemarkeerd. De patiënt dient deze afstand te overbruggen en te landen in 90 graden knieflexie. De patiënt heeft 3 pogingen om deze test uit te voeren (Myer et al., 2004). Is dit niet mogelijk, dan is het onverstandig om de patiënt al te laten deelnemen aan sportactiviteiten (zie quadriceps dominance)*
  - l De drop jump is een tweebeenvige sprong vanaf een hoogte van 31 centimeter. De patiënt springt van het platform af en voert onmiddellijk erna een maximale verticale sprong uit. Armzwaai is toegestaan bij deze sprong (Ekegren et al., 2009). Deze sprong wordt gebruikt om de dynamische knievalgus te evalueren bij de eerste landing; de patiënt is echter niet op de hoogte van dit doel.*
  - m Ligament dominance is het verschijnsel dat voordat de beenspieren kunnen aanspannen, er al 'stress' op de ligamenten ontstaat tijdens sportactiviteiten, omdat deze de grondreactiekrachten absorberen. Hierdoor ontstaat de dynamische knievalgus (Myer et al., 2004; Hewett et al., 2007).*

### Totstandkoming

De aanleiding voor het schrijven van dit statement was een antwoord te geven op verschillende vraagstellingen voortkomend uit problemen in de dagelijkse praktijk en de verschillende handelingen. Dit statement is gerealiseerd met subsidie van het KNGF.

### Auteurs

N. Engelen-van Melick, MSc, fysiotherapeut, bewegingswetenschapper, Sport Medisch Centrum Papendal, Arnhem.  
 W. Hullegie, PhD, fysiotherapeut, FysioGym Twente, Enschede; lector Musculoskeletale Revalidatie Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.  
 F. Brooijmans, MSc, fysiotherapeut, manueel therapeut, B&SIS Fysiotherapie, Eindhoven.  
 E.J.M. Hendriks, PhD, fysiotherapeut, klinisch epidemioloog en gezondheidswetenschapper, universitair hoofddocent vakgroep Epidemiologie, CEBP, Universiteit Maastricht; eerstelijnspraktijk fysiotherapie Maasstaete, Druten.  
 C. Neeter, PhD, fysiotherapeut, Fysiotherapie Manuele Therapie Van Breestraat, Amsterdam.  
 T.G. van Tienen, PhD, orthopedisch chirurg, ViaSana Mill en Radboud Universitair Medisch Centrum Nijmegen.  
 R.E.H. van Cingel, PhD, sportfysiotherapeut, manueel therapeut, directeur Sport Medisch Centrum Papendal, Arnhem; lector Musculoskeletale Revalidatie, Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

### Klankbordgroep

[terugkoppeling en feedback]

Voor de totstandkoming van dit statement danken wij de klankbordgroepleden (in alfabetische volgorde):

M. Antvelink, sportfysiotherapeut, master manuele therapie, Antvelink Sportfysiotherapie, Deventer.  
 P.A. van Beek, MSc, sportarts, Sport Medisch Centrum Papendal, Arnhem.  
 M. Eskes, fysiotherapeut, manueel therapeut, Medisch Training Centrum (MTC) Amersfoort en Mediferia – polikliniek voor Bewegingsklachten, Amersfoort; coördinator Opleiding Master Sportfysiotherapie SOMT, Amersfoort.  
 R.P.A. Janssen, MSc, orthopedisch chirurg, Maatschap Orthopedie Groot Eindhoven.  
 A.F. Lenssen, PhD, onderzoekskoördinator afdeling Fysiotherapie Maastricht Universitair Medisch Centrum+ en senior docent fysiotherapie, Zuyd Hogeschool, Heerlen/Sittard/Maastricht.  
 Th.P.H. van Thiel, MSc, traumachirurg, Streektziekenhuis Koningin Beatrix, Winterswijk.

### Stuurgroep

K. Heijblom, senior beleidsmedewerker Kwaliteit van de Vakuitoefening, Koninklijk Nederlands Genootschap voor Fysiotherapie (KNGF), Amersfoort.  
 M.W.G. Nijhuis-van der Sanden, PhD, hoogleraar Paramedische Wetenschappen, IQ Healthcare, Radboud University Nijmegen Medical Center, Nijmegen.

Naamsvermelding als referent betekent niet dat iedere referent het Evidence Statement inhoudelijk op elk detail onderschrijft.

© 2014 Koninklijk Nederlands Genootschap voor Fysiotherapie

## Noten

### Noot 1 Ontwikkeling van het statement

Dit evidence statement is opgebouwd conform een verkorte versie van de 'Methode voor ontwikkeling, implementatie en bijstelling van KNGF-richtlijnen', van Van der Wees et al. (2007). De aanbevelingen zijn opgesteld op basis van wetenschappelijke evidentie, waar nodig aangevuld met best-practice. Voor het beoordelen van de kwaliteit van de studies is gebruikgemaakt van de PEDro-richtlijnen (RCT's) en de Cochranelijsten (prospectieve cohortstudies). Gezocht is naar relevante literatuur vanaf 1990 tot en met juli 2013 in de databases van PubMed en de Cochrane Library. De literatuursearch is ook weergegeven als figuur.

### Noot 2 Re-rupturen

#### Niveau van bewijs

Niveau 3. Oorzaken van een re-ruptuur kunnen zijn (Ménétrety et al., 2008; Frank et al., 2012; Morgan et al., 2012):

- Nieuw trauma (non-contact of contact). In 70% van de gevallen is het nieuwe trauma de oorzaak van een revisie.
- Persistierende rotatoire instabiliteit ondanks de reconstructie.
- Extra (eerder diagnostisch gemiste) rotatoire instabiliteit, bijvoorbeeld in de posterolaterale hoek.
- Technische fouten, zoals verkeerd geplaatste tunnels.

### Noot 3 Afbakening leeftijdscategorie

#### Niveau van bewijs

Niveau 4. Bij meisjes ouder dan 15 jaar en bij jongens ouder dan 16 jaar kan de 'volwassen' manier van VKB-reconstructie aangehouden worden, omdat in de meeste gevallen de groeischijven gesloten zullen zijn. Bij niet-gesloten groeischijven wordt gekozen voor een conservatieve aanpak (McConkey et al., 2011).

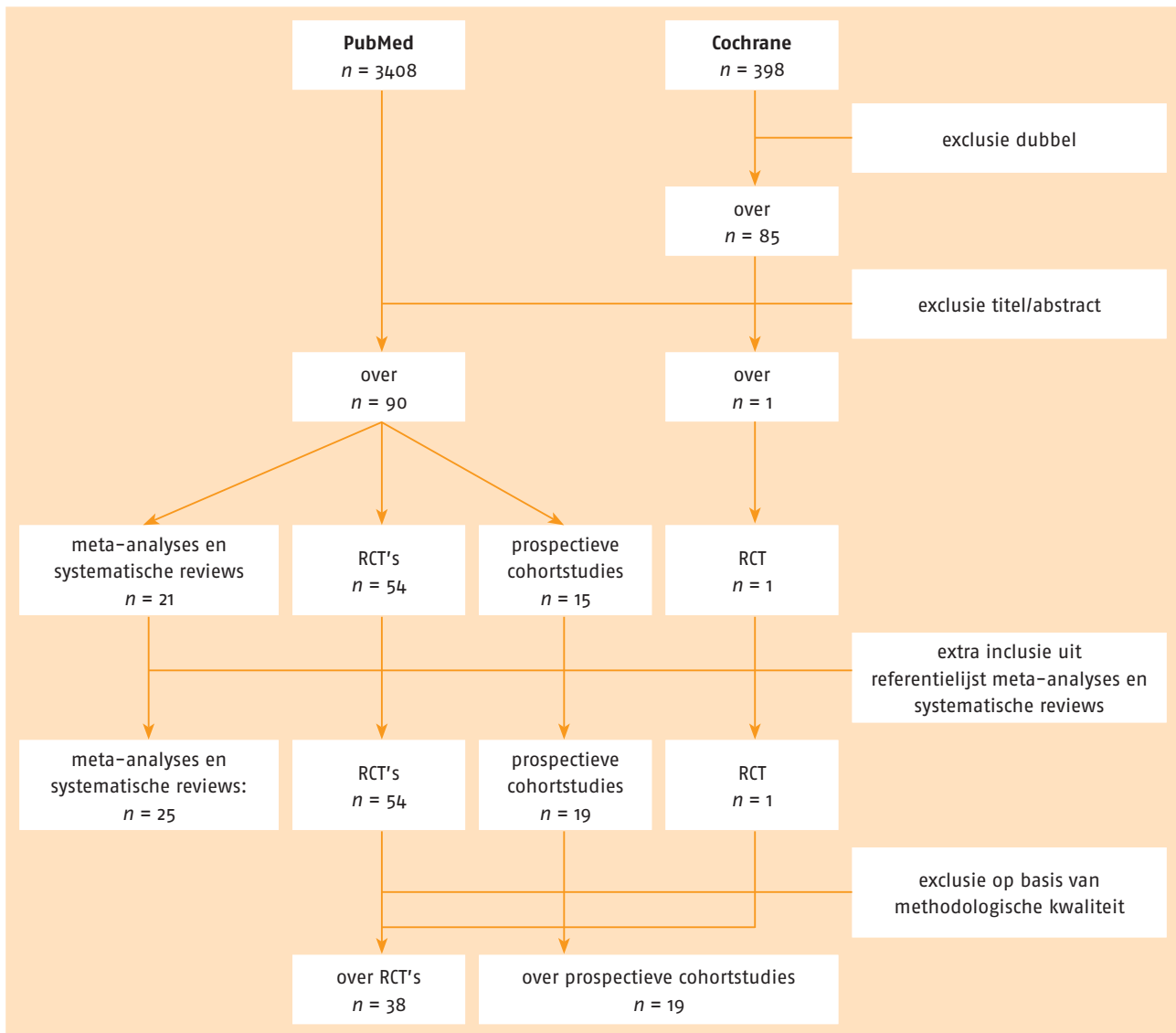
Voor de revalidatie na VKB-reconstructie bij kinderen en de uitkomsten ervan is de evidentie beperkt (Frosch et al., 2010; Moksnes et al., 2012).

### Noot 4 Indicatie voor operatie

#### Niveau van bewijs

Niveau 3. Alhoewel in dit statement geen nadruk ligt op het preoperatieve proces, is een aantal aanbevelingen op zijn plaats.

- Doorgaans vindt een VKB-reconstructie niet binnen 5 weken na het trauma plaats, wat de kans op complicaties als artrofibrose en het infrapatellair contractuursyndroom verkleint (Shelbourne et al., 1991; Millet et al., 2001; Saris et al., 2011).
- Op het moment van operatie dient de knie rustig te zijn (Shelbourne & Gray, 1997; Millet et al., 2001; De Carlo & McDivitt, 2006; Saris et al., 2011). De minimale synoviale reactie en volledige extensie (0 graden) zijn noodzakelijk om de kans op artrofibrose te verkleinen (Saris et al., 2011). Bovendien zal een preoperatieve extensiebeperking de kans op een postoperatieve extensiebeperking vergroten (McHugh et al., 1998; Mauro et al., 2008; Quelard et al., 2010).
- De quadricepskracht van het aangedane been dient maximaal 20% te verschillen van die van de niet-aangedane zijde. Door Eitzen et al. (2009) is namelijk aangetoond dat patiënten die preoperatief een krachtverlies in de m. quadriceps hebben van 20% of meer, tot 2 jaar



Figuur noot 1. De literatuursearch.

na de reconstructie een significant krachtverschil behouden. Ook De Jong et al. (2007) toonden aan dat patiënten die preoperatief een groter krachtverlies in de m. quadriceps hebben, 6 en 9 maanden postoperatief slechter scoren op functionele testen. De werkgroep beveelt dan ook aan de quadricepskracht preoperatief te meten en zo nodig te verbeteren om een verlengde revalidatie te voorkomen.

- De preoperatieve self-efficacy voorspelt de subjectieve en objectieve kniefunctie 1 jaar postoperatief (Thomeé et al., 2008).

#### Noot 5 Klinimetrie preoperatief

##### Niveau van bewijs

**Niveau 3.** Preoperatief kan het zinvol zijn om een subjectieve en objectieve indruk te krijgen van de kniefunctie. In het kader van kwaliteitsregistratie beveelt de werkgroep de volgende testbatterij aan (uit te voeren door behandelend medisch specialist of fysiotherapeut):

- stroke-test om hydrops te bepalen (Sturgill et al., 2009);
- passieve range of motion (PROM) (Millet et al., 2001);
- Visual analog scale (VAS), de subjectieve vragenlijst van de International Knee Documentation Committee (IKDC) en/of de Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) (Saris et al., 2011);
- krachtmeting van de m. quadriceps en de hamstrings (De Jong et al., 2007; Eitzen et al., 2009).

Zowel het meten van de hydrops, de PROM als de kracht zijn, in overleg met de behandelend medisch specialist, van belang voor de timing van de operatie. (noot 2)

De krachtmeting kan op verschillende manieren uitgevoerd worden:

- een isokinetische concentrische meting van de m. quadriceps en de hamstrings op ten minste 2 verschillende hoeksnelheden plus een duurttest (Eitzen et al., 2009; Engelen-van Melick et al., 2013);
- een concentrische krachtmeting van de m. quadriceps en de hamstrings met leg press, leg extension en leg curl (Neeter et al., 2006);

- een isometrische krachtmeting van de m. quadriceps en hamstrings ('make-test') en eventueel een excentrische meting ('brake-test') van de hamstrings met een hand-held dynamometer (Whiteley et al., 2012).

#### Noot 6 Remodellering

##### Niveau van bewijs

**Niveau 3.** Uit dierstudies blijkt dat een VKB-graft in circa 6 maanden tijd de processen van avasculaire necrose, revascularisatie, remodellering en proliferatie van collageen vezels ondergaat (De Carlo & McDivitt, 2006; Scheffler et al., 2008; Janssen & Scheffler, 2013). In vergelijking met dieren vindt er bij mensen minder necrose van de graft plaats. De necrose zal nooit meer dan 30% van de graft omvatten (Ménétrety et al., 2008). Bij mensen lijkt het totale remodelleringsproces zowel bij bone-patellar tendon-bone (BPTB) grafts als hamstring (HS) grafts langer te duren en lijkt de remodellering nog niet voltooid na 12 maanden (Ménétrety et al., 2008; Claes et al., 2011; Janssen et al., 2011; Ntoulia et al., 2011; Pauzenberger et al., 2013). Door een gebrek aan *in-vivo* studies is het onduidelijk welke biologische veranderingen de plastic precies ondergaat en hoeveel tijd deze veranderingen in beslag nemen (Claes et al., 2011).

De fasen van remodellering zijn globaal als volgt in te delen (Scheffler et al., 2008; Claes et al., 2011; Janssen et al., 2011; Ntoulia et al., 2011; Janssen & Scheffler, 2013):

- Vroege fase: tot 4 weken postoperatief. Avasculaire necrose in het centrum van de graft en nog geen revascularisatie. In deze fase is de fixatie van de graft in de tunnels de zwakke plek (Noyes et al., 1984; Hamner et al., 1999; Handl et al., 2007; Janssen & Scheffler, 2013).
- Proliferatiefase: 4-12 weken postoperatief. Start van de proliferatie en revascularisatie. De mechanische trekkracht van de graft is waarschijnlijk 6-8 weken postoperatief het zwakst (Ménétrety et al., 2008; Scheffler et al., 2008).

- Ligamentatiefase: vanaf 12 weken postoperatief. Vier maanden postoperatief is er sprake van biologische fixatie. De vascularisatie is voltooid na 6–12 maanden. In deze periode vindt ook reorganisatie plaats van de collageen vezels en gaat de graft steeds meer lijken op een intacte VKB (Ménétrety et al., 2008; Scheffler et al., 2008; Janssen & Scheffler, 2013). Het is niet duidelijk wanneer deze fase precies eindigt, maar er zijn jaren na de reconstructie nog steeds veranderingen in de graft gaande.

Het herstel van de graft kan alleen de verschillende fasen doorlopen als er voldoende mechanische belasting van de nieuwe VKB plaatsvindt. Het is echter nog onduidelijk welke mate van belasting adequaat is voor een optimaal herstel in de verschillende fasen en welke activiteiten in de revalidatie hierbij horen (Ménétrety et al., 2008; Scheffler et al., 2008; Janssen et al., 2011; Janssen & Scheffler, 2013; Pauzenberger et al., 2013).

#### Noot 7 Duur revalidatie en aantal behandelingen

##### Niveau van bewijs

**Niveau 4.** De duur van de revalidatie wordt mede bepaald door het verloop van de revalidatie en eventueel optredende complicaties. Bovendien speelt de hulpvraag van de patiënt op participatieniveau een belangrijke rol. De versnelde revalidatie (accelerated rehabilitation) wordt steeds minder toegepast en er wordt steeds vaker toegewerkt naar een langere revalidatieperiode, omdat blijkt dat de re-rupturen en de contralaterale rupturen het meest voorkomen in de eerste 2 jaar na de reconstructie. Wat tevens meespeelt, is het feit dat patiënten op steeds jongere leeftijd een VKB-reconstructie krijgen en het risico op een re-ruptuur absoluut zo klein mogelijk moet worden gehouden.

#### Noot 8 Patellamobilisaties

##### Niveau van bewijs

**Niveau 4.** Wanneer de patellamobiliteit (craniaal-caudaal en mediaal-lateraal) van de aangedane zijde beperkt is ten opzichte van de niet-aangedane zijde, is het vroeg starten met patellamobilisaties belangrijk om te voorkomen dat er op langere termijn problemen optreden in de mobiliteit (Noyes et al., 1992).

#### Noot 9 Geleide actieve en/of passieve mobilisaties extensie en flexie

##### Niveau van bewijs

**Niveau 4.** Streef ernaar dat 2–4 weken postoperatief een volledige (0 graden) en belaste extensie en 120–130° flexie is bereikt. Als een knie reageert op mobilisaties met warmte, hydrops en/of een toename van pijn, dient deze therapie te worden geëvalueerd en eventueel aangepast. Las rust in, geef cryotherapie en/of neem contact op met de behandelend medisch specialist of huisarts voor NSAID's (Millett et al., 2001).

#### Noot 10 Cryotherapie

##### Niveau van bewijs

**Niveau 2.** Over cryotherapie in de fysiotherapeutische fase van de revalidatie zijn erg weinig studies van goede kwaliteit beschikbaar. Een meta-analyse laat zien dat cryotherapie een significante invloed heeft op pijn, maar niet op de passieve ROM of op hydrops. Cryotherapie wordt alleen toegepast in de eerste fase van de revalidatie (Raynor et al., 2005). Mogelijk leidt cryotherapie in combinatie met compressie tot een grotere afname van de pijn dan cryotherapie alleen (Waterman et al., 2012).

#### Noot 11 Dosering trainingsprikkel

##### Niveau van bewijs

**Niveau 4.** Het aantal series en herhalingen voor de verschillende fasen van de revalidatie is niet vastgelegd, omdat er geen literatuur bekend is die dit beschrijft (Augustsson, 2012). De dosering van de trainingsprikkel is afhankelijk van het trainingsdoel.

#### Noot 12 Elektrostimulatie

##### Niveau van bewijs

**Niveau 1.** Elektrostimulatie kan een toegevoegde waarde hebben op sneller herstel van hydrops en pijn en een minder snelle afname van quadricepskracht. Op lange termijn (6–12 maanden) zijn er echter geen verschillen tussen patiënten die wel of geen elektrostimulatie hebben gehad. Het is aangetoond dat elektrostimulatie gecombineerd met oefenen effectiever is dan elektrostimulatie alleen (Paterno-Sluga et al., 1999; Fitzgerald et al., 2003; Wright et al., 2008; Kim et al., 2010; Feil et al., 2011; Imoto 2011; Ediz et al., 2012).

##### Niveau van bewijs

**Niveau 4.** De werkgroep is van mening dat elektrostimulatie een zinvolle aanvulling kan zijn in het proces van motorische reactivering van met name de m. quadriceps in de eerste weken na de operatie.

#### Noot 13 Isometrische quadricepsoefeningen

##### Niveau van bewijs

**Niveau 2.** Isometrische oefeningen voor de m. quadriceps ('active

straight leg raises'; ASLR) zijn al vanaf het begin van de revalidatie veilig. Ze hebben voornamelijk invloed op de neuromusculaire controle, maar zorgen op lange termijn niet voor meer krachttoename (Shelbourne & Nitz, 1990; Shaw et al., 2005; Isberg et al., 2006).

#### Noot 14 Excentrisch trainen

##### Niveau van bewijs

**Niveau 2.** Excentrische training van de m. quadriceps en gluteaal-musculatuur kan veilig al in de vroege fase van de revalidatie ingezet worden (Gerber et al., 2007a, 2007b; Andersson et al., 2009; Gerber et al., 2009). Ook het oefenen van een normaal looppatroon bevat een excentrische component (Novachech 1995; Novachech, 1998). Excentrische training geeft een grotere toename in spiervolume en een grotere toename in kracht dan concentrische training (Gerber et al., 2007a, 2007b; Gerber et al., 2009; Lobb et al., 2012). Ook de hamstring strings zullen excentrisch getraind moeten worden.

#### Noot 15 Open versus gesloten keten krachtoefeningen

##### Niveau van bewijs

**Niveau 1.** Uit verschillende RCT's blijkt dat al vroeg (vanaf week 2) gestart kan worden met gesloten-ketenoefeningen. Deze oefeningen verminderen de pijn, verhogen de kracht en verbeteren de subjectieve functie van de knie (Bynum et al., 1995; Mikkelsen et al., 2000; Morrissey et al., 2002; Perry et al., 2005).

Bij een bone-patellar tendon-bone (BPTB) graft kunnen vanaf de vierde week zonder risico open-ketenoefeningen in een beperkte ROM aan de training worden toegevoegd. Bij een hamstring (HS) graft kan alleen zonder risico in een open keten worden geoefend in een beperkte ROM (90–45°) en bovendien zonder extra weerstand; extra weerstand kan pas na 12 weken zonder risico worden toegevoegd (Heijne & Werner, 2007; Fukuda et al., 2013). Te vroeg uitvoeren van open-ketenoefeningen geeft risico op elongatie van de graft (Escamilla et al., 2012).

Knie-extensie kan het beste zowel in gesloten als in open keten worden geoefend (Wright et al., 2008; Andersson et al., 2009; Glass et al., 2010; Lobb et al., 2012). Knieflexie kan vanaf de vroege fase zonder risico al in open keten worden geoefend bij beide grafttypen (Mesfar & Shirazi-Adl, 2008). Ook open-ketenoefeningen voor de heup (gluteaal-musculatuur) kunnen al zonder risico in de vroege fase worden uitgevoerd.

#### Noot 16 Neuromusculaire training

##### Niveau van bewijs

**Niveau 2.** De VKB heeft niet alleen een mechanische functie, maar bestaat voor circa 2,5% uit mechanoreceptoren, waardoor de VKB via een reflexboog invloed heeft op de neuromusculaire controle van de knie. Mechanoreceptoren geven informatie over de positieveranderingen van het gewricht, maar waarschijnlijk is hun primaire rol het signaleren van de eindstand van het gewricht in combinatie met het faciliteren van beschermende reflexen (Zimny 1986; Williams et al., 2001; Melnyk et al., 2007). Zodra er een VKB-ruptuur optreedt, is dit mechanisme verstoord. Ook na reconstructie is er geen nieuwe ingroei van mechanoreceptoren.

• Het is belangrijk om in de vroege fase te starten met neuromusculaire training. Neuromusculaire training kan bestaan uit balansoefeningen, agilitytraining en plyometrie. Naast krachttraining is ook neuromusculaire training van belang voor de opbouw van kracht, coördinatie en proprioceptie (Liu-Ambrose et al., 2003; Cooper et al., 2005; Risberg et al., 2007; Risberg & Holm, 2009; Kruse et al., 2012; Baltaci et al., 2013; Gokeler et al., 2013).

• Besteed aandacht aan de kwaliteit van bewegen, zoals beheersing van de dynamische knievalgus en romplateroflexie en voldoende heup- en knieflexie, omdat bekend is dat dit predisponerende factoren zijn voor een re-ruptuur of een contralaterale ruptuur (Hewett et al., 2005; Zazulak et al., 2007; Paterno et al., 2010; Engelen-van Melick et al., 2013). Maak tijdens de training gebruik van impliciet leren, zodat ook bij vermoeidheid of stress de correcte bewegingspatronen uitgevoerd worden (Benjaminse & Otten, 2011). De tijd tussen initieel grond-contact en het ruptureren van de VKB bedraagt 17–70 milliseconden, terwijl de tijd tussen ligamentair letsel en de start van de artrokinematische reflex 30–80 milliseconden bedraagt en een willekeurige spiercontractie pas optreedt na 120–180 milliseconden. De mate van preactivatie zou dus in belangrijke mate bescherming kunnen bieden tegen een re-ruptuur. Perturbatietraining blijkt een goed middel om deze reflexmatige gewrichtsstabilisatie te beïnvloeden (Williams et al., 2001).

#### Noot 17 Criteria voor hervatting van sportactiviteiten

##### Niveau van bewijs

**Niveau 4.** Op basis van de huidige literatuur is het onduidelijk welke testen afgenomen moeten worden om iemand veilig (zonder kans op een re-ruptuur of contralaterale ruptuur) terug te laten keren naar sport. Uit verschillende systematische reviews blijkt dat de meeste onderzoeken beperkt gebruikmaken van objectieve criteria voor het meten van de kwantiteit van bewegen (Barber-Westin & Noyes, 2011a,

2001b; Narducci et al., 2011). Bovendien is er geen enkel onderzoek dat de kwaliteit van bewegen vastlegt (Engelen-van Melick et al., 2013). De Limb Symmetrie Index (LSI) kan gebruikt worden om te bepalen of de patiënt voldoende scoort (minimaal 90%) ten opzicht van het niet-aangedane been. Aangeraden wordt om bij pivoterende contactsporten strengere criteria te hanteren dan bij niet-pivoterende sporten. Voor pivoterende sporten geldt een LSI van 100% voor quadriceps- en hamstringkracht en een LSI van minimaal 90% op de hoptesten. Voor niet-pivoterende sporten zou een LSI van minimaal 90% voor de krachttesten voldoende kunnen zijn (Thomeé et al., 2011). De werkgroep raadt de testbatterij aan, zoals beschreven in fase 3.

## Literatuur

- Ageberg E, Thomeé R, Neeter C, Silbernagel KG, Roos EM. Muscle strength and functional performance in patients with anterior cruciate ligament injury treated with training and surgical reconstruction or training only: a two to five-year followup. *Arthritis Rheum.* 2008;59(12):1773-9.
- Andersson D, Samuelsson K, Karlsson J. Treatment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to surgical technique and rehabilitation: an assessment of randomized controlled trials. *Arthroscopy.* 2009;25(6):653-85.
- Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Return-to-sport outcomes at 2 to 7 years after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med.* 2012;40(1):41-8.
- Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE. Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med.* 2013;41(7):1549-58.
- Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med.* 2011a;45(7):596-606.
- Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *Am J Sports Med.* 2011b;39(3):538-43.
- Augustsson J. Documentation of strength training for research purposes after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012.
- Baltaci G, Harput G, Haksever B, Ulusoy B, Ozer H. Comparison between Nintendo Wii Fit and conventional rehabilitation on functional performance outcomes after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: prospective, randomized, controlled, double-blind clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(4):880-7.
- Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2011a;27(12):1697-705.
- Barber-Westin SD, Noyes FR. Objective criteria for return to athletics after anterior cruciate ligament reconstruction and subsequent reinjury rates: a systematic review. *Phys Sportsmed.* 2011b;39(3):100-10.
- Benjaminse A, Otten E. ACL injury prevention, more effective with a different way of motor learning? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(4):622-7.
- Broijmans F. Evidence Based Statement knie: acute letsels; diagnostiek en aanbevelingen voor behandeling.
- Brophy RH, Schmitz L, Wright RW, Dunn WR, Parker RD, Andrish JT, et al. Return to play and future ACL injury risk after ACL reconstruction in soccer athletes from the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) group. *Am J Sports Med.* 2012;40(11):2517-22.
- Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH. Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. *Am J Sports Med.* 1995;23(4):401-6.
- Chmielewski TL, Hurd WJ, Rudolph KS, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Perturbation training improves knee kinematics and reduces muscle co-contraction after complete unilateral anterior cruciate ligament rupture. *Phys Ther.* 2005;85(8):750-4.
- Chmielewski TL, Jones D, Day T, Tillman SM, Lentz TA, George SZ. The association of pain and fear of movement/reinjury with function during anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008;38(12):746-53.
- Christensen JC, Goldfine LR, West HS. The effects of early aggressive rehabilitation on outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring tendon: a randomized clinical trial. *J Sport Rehabil.* 2013.
- Claes S, Verdonk P, Forsyth R, Bellemans J. The 'ligamentization' process in anterior cruciate ligament reconstruction: what happens to the human graft? A systematic review of the literature. *Am J Sports Med.* 2011;39(11):2476-83.
- Cooper RL, Taylor NF, Feller JA. A randomised controlled trial of proprioceptive and balance training after surgical reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Res Sports Med.* 2005;13(3):217-30.
- Courtney CA, Rine RM. Central somatosensory changes associated with improved dynamic balance in subjects with ACL deficiency. *Gait Posture.* 2006;24(2):190-5.
- De Carlo MS, McDivitt R. Rehabilitation of patients following autogenic bone-patellar tendon-bone ACL reconstruction: a 20-year perspective. *N Am J Sports Phys Ther.* 2006;1(3):108-23.
- Decker LM, Moraiti C, Stergiou N, Georgoulis AD. New insights into anterior cruciate ligament deficiency and reconstruction through the assessment of knee kinematic variability in terms of nonlinear dynamics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(10):1620-33.
- Ediz L, Ceylan MF, Turktas U, Yanmis I, Hiz O. A randomized controlled trial of electrostimulation effects on effusion, swelling and pain recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot study. *Clin Rehabil.* 2012;26(5):413-22.
- Eitzen I, Holm I, Risberg MA. Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med.* 2009;43(5):371-6.
- Ekegren CL, Miller WC, Celebrini RG, Eng JJ, Macintyre DL. Reliability and validity of observational risk screening in evaluating dynamic knee valgus. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(9):665-74.
- Engelen-van Melick N, Cingel REH van, Tijssen MPW, Nijhuis-van der Sanden MWG. Assessment of functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of measurement procedures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(4):869-79.
- Escamilla RF, Macleod TD, Wilk KE, Paulos L, Andrews JR. Anterior cruciate ligament strain and tensile forces for weight-bearing and non-weight-bearing exercises: a guide to exercise selection. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(3):208-20.
- Feil S, Newell J, Minogue C, Paessler HH. The effectiveness of supplementing a standard rehabilitation program with superimposed neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, single-blind study. *Am J Sports Med.* 2011;39(6):1238-47.
- Fitzgerald GK, Piva SR, Irrgang JJ. A modified neuromuscular electrical stimulation protocol for quadriceps strength training following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(9):294-501.
- Flanigan DC, Everhart JS, Pedroza A, Smith T, Kaeding CC. Fear of reinjury (kinesiophobia) and persistent knee symptoms are common factors for lack of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2013;29(8):1322-9.
- Franczuk B, Fibiger W, Kukielka R, Jasik-Tyrkalska B, Trabka R. Early rehabilitation after arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Orthop Traumatol Rehabil.* 2004;6(4):416-22.
- Frank RM, McGill KC, Bush-Joseph CA, Bach BR Jr, Verma NN, Slabaugh MA. An institution-specific analysis of ACL reconstruction failure. *J Knee Surg.* 2012;25(2):143-9.
- Frosch KH, Stengel D, Brodhun T, Stietencron I, Holsten D, Jung C, et al. Outcomes and risks of operative treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. *Arthroscopy.* 2010;26(11):1539-50.
- Fukuda TY, Fingerhut D, Coimbra Moreira V, Ferreira Camarina PM, Folco Scodeller N, Duarte A, et al. Open kinetic chain exercises in a restricted range of motion after anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized controlled clinical trial. *Am J Sports Med.* 2013;41(4):788-94.
- Georgoulis AD, Moraiti C, Ristanis S, Stergiou N. A novel approach to measure variability in the ACL deficient knee during walking: the use of approximate entropy in orthopaedics. *J Clin Monit Comput.* 2006;20(1):11-8.
- Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaSatyo PC. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2007a;89(3):559-70.
- Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaSatyo PC. Safety, feasibility, and efficacy of negative work exercise via eccentric muscle activity following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007b;37(10):10-8.
- Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaSatyo PC. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: a 1-year follow-up study of a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2009;89(1):51-9.
- Glass R, Waddell J, Hoogenboom B. The effects of open versus closed kinetic chain exercises on patients with ACL deficient or reconstructed knees: a systematic review. *N Am J Sports Phys Ther.* 2010;5(2):74-84.
- Gokeler A, Bisschop M, Benjaminse A, Myer GD, Eppinga P, Otten E. Quadriceps function following ACL reconstruction and rehabilitation: implications for optimization of current practices. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013.
- Grinsven S van, Cingel REH van, Holla CJM, Loon CJ van. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(8):1128-44.



- Gustavsson A, Neeter C, Thomeé P, Silbernagel KG, Augustsson J, Thomeé 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;14(8):778–88.
- Hamner DL, Brown CH Jr, Steiner ME, Hecker AT, Hayes WC. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81(4):549–57.
- Handl M, Drzík M, Cerulli G, Povýsil C, Chlpík J, Varga F, et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: dynamic strain evaluation of the graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(3):233–41.
- Heard WMR, Chahal J, Bach BR. Recognizing and managing complications in ACL reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2013;21(2):106–12.
- Heijne A, Werner S. Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(4):402–14.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492–501.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Slaughterbeck JR. Dynamic neuromuscular analysis training for preventing anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Instr Course Lect.* 2007;56:397–406.
- Imoto AM, Pecin S, Melo Almeida GJ, Saconato H, Atallah AN. Effectiveness of electrical stimulation on rehabilitation after ligament and meniscal injuries: a systematic review. *Sao Paulo Med J.* 2011;129(6):414–23.
- Ireland ML. The female ACL: why is it more prone to injury? *Orthop Clin North Am.* 2002;33(4):637–51.
- Isberg J, Faxén E, Brandsson S, Eriksson BI, Kärrholm J, Karlsson J. Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(11):1108–15.
- Janssen RPA, Scheffler SU. Intra-articular remodeling of hamstring tendons after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013.
- Janssen RPA, Wijk J van der, Fiedler A, Schmidt T, Sala HAGM, Schefler SU. Remodelling of human hamstring autografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(8):1299–306.
- Jong SN de, Cappel DR van, Haeff MJ van, Saris DB. Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions. *Arthroscopy.* 2007;23(1):21–8.
- Kapreli A, Athanasopoulos S, Gliatis J, Papatheanasiou M, Peeters R, Strimpakos N, et al. ACL deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *Am J Sports Med.* 2009;37(12):2419–26.
- Kim KM, Croy T, Hertel J, Saliba S. Effects of neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction on quadriceps strength, function, and patient-oriented outcomes: a systematic review. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(7):383–91.
- Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Mechanisms for noncontact ACL injuries. Knee joint kinematics in 10 injury situations from female handball and basketball. *Am J Sports Med.* 2010;38(11):2218–25.
- Krosshaug T, Nakamae A, Boden B, Engebretsen L, Smith G, Slaughterback JR, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med.* 2007;35(3):359–67.
- Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. A Systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(19):1737–48.
- Kvist J, Ek A, Sporrstedt K, Good L. Fear of re-injury: a hindrance for returning to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(5):393–7.
- Laboute E, Savalli L, Puig P, Trouve P, Sabot G, Monnier G, et al. Analysis of return to competition and repeat rupture for 298 anterior cruciate ligament reconstructions with patellar or hamstring tendon autograft in sportspeople. *Ann Phys Rehabil Med.* 2010;53(10):598–614.
- Langford JL, Webster KE, Feller JA. A prospective longitudinal study to assess psychological changes following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Br J Sports Med.* 2009;43(5):377–81.
- Liu-Ambrose T, Taunton JE, MacIntyre D, McConkey P, Khan KM. The effects of proprioceptive or strength training on the neuromuscular function of the ACL reconstructed knee: a randomized clinical trial. *Scand J Med Sci Sports.* 2003;13(2):115–23.
- Lobb R, Tumilty S, Claydon LS. A review of systematic reviews on anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport.* 2012;13(4):270–8.
- Maddison R, Prapavessis H, Clatworthy M. Modeling and rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Ann Behav Med.* 2006;31(1):89–98.
- Mascarenhas R, Tranovich MJ, Kropf EJ, Fu FH, Harner CD. Bone-patellar tendon-bone autograft versus hamstring autograft anterior cruciate ligament reconstruction in the young athlete: a retrospective matched analysis with 2–10 year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(8):1520–7.
- Mauro CS, Irrgang JJ, Williams BA, Harner CD. Loss of extension following anterior cruciate ligament reconstruction: analysis of incidence and etiology using IKDC criteria. *Arthroscopy.* 2008;24(2):146–53.
- McConkey MO, Bonasia DE, Amendola A. Pediatric anterior cruciate ligament reconstruction. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2011;4(2):37–44.
- McCullough KA, Phelps KD, Spindler KP, Matava MJ, Dunn WR, Parker RD, et al. Return to high school- and college-level football after anterior cruciate ligament reconstruction: a Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) cohort study. *Am J Sports Med.* 2012;40(11):2523–9.
- McHugh MP, Tyler TF, Gleim GW, Nicholas SJ. Preoperative indicators of motion loss and weakness following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(6):407–11.
- Melnyk M, Faist M, Gother M, Claes L, Friemert B. Changes in stretch reflex excitability are related to giving way symptoms in patients with ACL rupture. *J Neurophysiol.* 2007;97(1):474–80.
- Ménétrej J, Duthon VB, Laumonier T, Fritschy D. 'Biological failure' of the anterior cruciate ligament graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(3):224–31.
- Mesfar W, Shirazi-Adl A. Knee joint biomechanics in open-kinetic-chain flexion exercises. *Clin Biomech.* 2008;23(4):477–82.
- Meuffels DE, Poldervaart MT, Dierckx R, Fievez AWF, Patt TW, Hart C van der, et al. Guideline on anterior cruciate ligament injury. A multidisciplinary review by the Dutch Orthopaedic Association. *Acta Orthop.* 2012;83(4):379–86.
- 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. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8(6):337–42.
- Millet PJ, Wickiewicz TL, Warren RF. Motion loss after ligament injuries to the knee. Part II: prevention and treatment. *Am J Sports Med.* 2001;29(6):822–8.
- Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. The current evidence for treatment of ACL injuries in children is low. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(12):1112–9.
- Morgan JA, Dahm D, Levy B, Stuart MJ, MARS study group. Femoral tunnel malposition in ACL revision reconstruction. *J Knee Surg.* 2012;25(5):361–8.
- Morrissey MC, Drechsler WI, Morrissey D, Knight PR, Armstrong PW, McAuliffe TB. Effects of distally fixated versus nondistally fixated leg extensor resistance training on knee pain in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther.* 2002;82(1):35–43.
- Moses B, Orchard J, Orchard J. Systematic review: annual incidence of ACL injury and surgery in various populations. *Res Sports Med.* 2012;20(3–4):157–79.
- Muneta T, Sekiya I, Ogiuchi T, Yagishita K, Yamamoto H, Shinomiya K. Effects of aggressive early rehabilitation on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction with multi-strand semitendinosus tendon. *Int Orthop.* 1998;22(6):352–6.
- Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. *J Athl Train.* 2004;39(4):352–64.
- Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, Hewett TE. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2013;41(1):203–15.
- Narducci E, Waltz A, Gorski K, Leppla L, Donaldson M. The clinical utility of functional performance tests within one-year post-ACL reconstruction: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther.* 2011;6(4):333–42.
- Neeter C, Gustavsson A, Thomeé P, Augustsson J, Thomeé 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;14(6):571–80.
- Novacheck TF. Walking, running, and sprinting: a three-dimensional analysis of kinematics and kinetics. *Instr Course Lect.* 1995;44:497–506.
- Novacheck TF. The biomechanics of running. *Gait Posture.* 1998;7(1):77–95.
- Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(3):344–52.
- Noyes FR, Mangine RE, Barber SD. The early treatment of motion complications after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res.* 1992(277):217–28.
- Ntoulia A, Papadopoulou F, Ristanis S, Argyropoulou M, Georgoulis AD. Revascularization process of the bone-patellar tendon-bone autograft evaluated by contrast-enhanced magnetic resonance imaging 6 and 12 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2011;39(7):1478–86.
- Organization WH. International Classification of Disability, Functioning and Health. Geneva: WHO; 2001.
- Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of contralateral and ipsilateral anterior cruciate ligament (ACL) injury after primary ACL reconstruction and return to sport. *Clin J Sport Med.* 2012;22(2):116–21.

- Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010;38(10):1968-78.
- Paternostro-Sluga T, Fialka C, Alacamlioglu Y, Saradeth T, Fialka-Moser V. Neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 1999(368):166-75.
- Paulos LE, Rosenberg TD, Drawbert J, Manning J, Abbott P. Infrapatellar contracture syndrome. An unrecognized cause of knee stiffness with patella entrapment and patella infera. *Am J Sports Med.* 1987;15(4):331-41.
- Paulos LE, Wnorowski DC, Greenwald AE. Infrapatellar contracture syndrome. Diagnosis, treatment, and long-term followup. *Am J Sports Med.* 1994;22(4):440-9.
- Pauzenberger L, Syré S, Schurz M. 'Ligamentization' in hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of the literature and a glimpse into the future. *Arthroscopy.* 2013.
- Perry MC, Morrissey MC, King JB, Morrissey D, Earnshaw P. Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(5):357-69.
- Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy.* 2007;23(12):1320-5.
- Quatman CE, Hewett TE. The anterior cruciate ligament injury controversy: is 'valgus collapse' a sex-specific mechanism? *Br J Sports Med.* 2009;43(5):328-35.
- Quelard B, Sonnery-Cottet B, Zayni R, Ogassawara R, Prost T, Chambat P. Preoperative factors correlating with prolonged range of motion deficit after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2010;38(10):2034-9.
- Raynor MC, Pietrobn R, Guller U, Higgins LD. Cryotherapy after ACL reconstruction: a meta-analysis. *J Knee Surg.* 2005;18(2):123-9.
- Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynonn B, Fukubayashi T, Garrett W, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an international olympic committee current concepts statement. *Br J Sports Med.* 2008;42(6):394-412.
- Risberg MA, Holm I, Myklebust G, Engebretsen L. Neuromuscular training versus strength training during first 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2007;87(6):737-50.
- Risberg MA, Holm I. The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial with 2 years follow-up. *Am J Sports Med.* 2009;37(10):1958-66.
- Risberg MA, Mørk M, Krogstad Jenssen H, Holm I. Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(11):620-31.
- Saris DBF, Diercks RL, Meuffels DE, Fievez AWF, Patt TW, Hart CP van der, et al. Richtlijn voorste kruisbandletsel Nederlandse Orthopaedische Vereniging. 2011. Available from: [http://www.kwaliteitskoepel.nl/assets/structured-files/2011/voorste\\_kruisband.pdf](http://www.kwaliteitskoepel.nl/assets/structured-files/2011/voorste_kruisband.pdf).
- Scheffler SU, Unterhauser FN, Weiler A. Graft remodeling and ligamentization after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(9):834-42.
- Shah VM, Andrews JR, Fleisig GS, McMichael CS, Lemak LJ. Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction in National Football League athletes. *Am J Sports Med.* 2010;38(11):2233-9.
- Shaw T, Williams MT, Chipchase LS. Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomized controlled trial. *Australian J Phys.* 2005;51(1):9-17.
- Shelbourne KD, Gray T. Anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft followed by accelerated rehabilitation. A two- to nine-year followup. *Am J Sports Med.* 1997;25(6):786-95.
- Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1990;18(3):292-9.
- Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A, DeCarlo M. Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction. The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. *Am J Sports Med.* 1991;19(4):332-6.
- Shultz SJ, Schmitz RJ, Nguyen AD. Research retreat IV: ACL injuries - the gender bias: April 3-5, 2008, Greensboro, NC. *J Athl Train.* 2008;43(5):530-1.
- Sturgill LP, Snyder-Mackler L, Manal TJ, Axe MJ. Interrater reliability of a clinical scale to assess knee joint effusion. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(12):845-9.
- Swärd P, Kostogiannis I, Roos H. Risk factors for a contralateral anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(3):277-91.
- Swedish ACL register: annual report 2011. Available from: <http://www.artroclinic.se/info/rapport2011en.pdf>.
- Thomeé P, Währborg P, Börjesson M, Thomeé R, Eriksson BI, Karlsson J. A new instrument for measuring self-efficacy in patients with an anterior cruciate ligament injury. *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16(3):181-7.
- Thomeé P, Währborg P, Börjesson M, Thomeé R, Eriksson BI, Karlsson J. Determinants of self-efficacy in the rehabilitation of patients with anterior cruciate ligament injury. *J Rehabil Med.* 2007;39(6):486-92.
- Thomeé P, Währborg P, Börjesson M, Thomeé R, Eriksson BI, Karlsson J. Self-efficacy of knee function as a pre-operative predictor of outcome 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(2):118-27.
- Thomeé R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(11):1798-805.
- Tsai LC, Powers CM. Increased hip and knee flexion during landing decreases tibiofemoral compressive forces in women who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2012;41(2):423-9.
- Tyler TF, McHugh MP, Gleim GW, Nicholas SJ. The effect of immediate weightbearing after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res.* 1998(357):141-8.
- Waterman B, Walker JJ, Swaims C, Shortt M, Todd MS, Machen SM, et al. The efficacy of combined cryotherapy and compression compared with cryotherapy alone following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Knee Surg.* 2012;25(2):155-60.
- Webster KE, Feller JA, Lambros C. Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Phys Ther Sport.* 2008;9(1):9-15.
- Wees PJ van der, Hendriks HJM, Helderdoorn M, Custers JW, Bie RA de. Methode voor ontwikkeling, implementatie en bijstelling van KNGF-richtlijnen. Methode versie 2.5. Amersfoort / Maastricht, the Netherlands, KNGF: 2007.
- Whiteley R, Jacobsen P, Prior S, Skazalski C, Otten R, Johnson A. Correlation of isokinetic and novel hand-held dynamometry measures of knee flexion and extension strength testing. *J Sci Med Sport.* 2012;15(5):444-50.
- Wilgen CP van, Beetsma AJ, Hamelinck JLC. De Tampa scale for kinesiophobia: een meetinstrument voor evaluatie en bewegingsangst bij patiënten met een VKB reconstructie. Sport en Geneeskunde. 2010;43(4):6-13.
- Williams GN, Chmielweski T, Rudolph KS, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(10):546-66.
- Wright RW, Dunn WR, Amendola A, Andrish JT, Bergfeld J, Kaeding CC, et al. Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective MOON cohort study. *Am J Sports Med.* 2007;35(7):1131-4.
- Wright RW, Magnussen RA, Dunn WR, Spindler KP. Ipsilateral graft and contralateral ACL rupture at five years or more following ACL reconstruction. A systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(12):1159-65.
- Wright RW, Preston E, Fleming BC, Amendola A, Andrish JT, Bergfeld JA, et al. A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation. Part II: Open versus closed kinetic chain exercises, neuromuscular electrical stimulation, accelerated rehabilitation, and miscellaneous topics. *J Knee Surg.* 2008;21(3):225-34.
- Yoo JH, Lim BO, Ha M, Lee SW, Oh SJ, Lee YS, et al. A meta-analysis on the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(8):824-30.
- Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk. A prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med.* 2007;35(7):1123-30.
- Zimny ML. Mechanoreceptors in the human ACL. *Anat Rec.* 1986;214:204-9.