

“Het belang van een temporeel verschil in aanspanning van de Vastus Medialis Obliquus en Vastus Lateralis voor de diagnose en therapie van het patello-femoraal pijn syndroom”

Orlo J.H. van der Heijden, maart 2013, studentnummer: 1155930

SAMENVATTING

Vraagstelling: De vraagstelling van dit artikel luidt: wat is het gevolg van een eerdere aanspanning van de musculus Vastus Lateralis (VL) ten opzichte van de musculus Vastus Medialis Obliquus (VMO) voor het ontstaan van patello-femoraal pijn syndroom (PFPS) en welke invloed kan therapie daarop hebben.

Achtergrond: PFPS, ook wel ‘anterior knee pain’ genoemd is een veel voorkomende aandoening van het bewegingsapparaat en een incidentie van 15-33% onder de actieve volwassen bevolking is gerapporteerd. Bij PFPS is er pijn rondom de patella, die optreedt tussen patella en femur bij specifieke belasting van het gewricht, zoals bij belasting van de onderste extremiteiten bij traplopen, hurken, fietsen en langere tijd met gebogen benen zitten.

Doel: Doel van dit artikel is het toelichten van het belang van de rol van temporele veranderingen in de activatie van de VMO en VL in PFPS patiënten.

Methode: De literatuur is gezocht in de *databases* HU, Medline, Pedro, Cochrane en PubMed.

De gebruikte artikelen hebben alle een Pedro score van tenminste 5 punten.

Resultaat: Er zijn een 10-tal artikelen gevonden, die relevant zijn voor de vraagstelling van deze afstudeeropdracht. Er is duidelijke evidentie gevonden voor een relatief latere aanspanning van de VMO ten opzichte van de VL bij PFPS patiënten en de verbetering hiervan door fysiotherapie. Voorts zijn er aanwijzingen dat de mate van vertraging van VMO contractie ten opzichte van de VL bepalend is voor het risico van ontwikkelen van PFPS.

Conclusie: Bij PFPS is een verstoring van de EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL zeer aannemelijk. Meting van EMG onset van de VMO/VL zou kunnen bijdragen aan de diagnose- en de behandeling van PFPS.

SUMMARY

In question: The question of this article is: what is the consequence of an earlier contraction of the musculus Vastus Lateralis (VL) compared to the musculus Vastus Medialis Obliquus (VMO) for the development and therapy of patellofemoral pain syndrome (PFPS).

Background: PFPS, also known as anterior knee pain is a frequently occurring malfunctioning of the knee joint and the incidence among the active adult population has been reported to be in the range of 15- 33%. PFPS involves pain around the patella, which occurs between the patella and the femur when the joint is loaded as in case of ascending- and descending stairs, squatting, biking and sitting with flexed knees for longer times.

Goal: Goal of this article is to illustrate the importance of the role of temporal changes in the activation of the VMO and VL in PFPS patients.

Method: The selected literature was found in the following databases: HU, Medline, Pedro, Cochrane and PubMed. The articles used all have a Pedro score of at least 5 points.

Results: Ten articles have been traced that are relevant for the goal of this study assignment. Clear evidence has been found to support a relatively delayed contraction of the VMO compared to the VL in PFPS patients and the improvement thereof by physiotherapy. Furthermore, it is suggested that the severity of the retardation of the VMO contraction relative to the VL contraction has a predictive value for the emergence of PFPS.

Conclusion: There is ample evidence to support a disturbance of the EMG onset of the VMO in relation to the VL. EMG measurement of the onset of the VMO and VL can contribute to the diagnosis and treatment of PFPS.

INLEIDING

Patello-femoraal pijnsyndroom (PFPS), ook wel 'anterior knee pain' genoemd is een veel voorkomende aandoening van het bewegingsapparaat en een incidentie van 15-33% onder de actieve volwassen bevolking is gerapporteerd, waarbij dit syndroom twee tot drie maal vaker voorkomt bij vrouwen dan bij mannen (Crossley et al, 2001, Guilherme et al, 2013, Murray et al. 2005, Messier et al. 1991, Lichota 2003).

De vraagstelling van dit artikel luidt: wat is het gevolg van een eerdere aanspanning van de musculus Vastus Lateralis (VL) ten opzichte van de musculus Vastus Medialis Obliquus (VMO) voor het ontstaan van PFPS en welke invloed kan therapie daarop hebben.

Aanleiding voor dit specifiek onderwerp is een stage gelopen bij het SMCA (Sport Medisch Centrum Amsterdam), waar de auteur voor het eerst heeft kennis gemaakt met een aantal patiënten, gediagnosticeerd met PFPS.

Al spoedig bleek dit syndroom in de praktijk een stuk complexer (en vaak onduidelijker) te zijn dan 'slechts' een probleem met het zogenaamde niet goed 'sporen' van de patella. Dit was voor auteur een reden om zich verder te verdiepen in dit syndroom en met name in de boven beschreven vraagstelling.

Bij het patello-femoraal pijnsyndroom (PFPS) is er pijn rondom de patella, die optreedt tussen patella en femur bij specifieke belasting van het gewricht, zoals bij belasting van de onderste extremiteiten bij traplopen, hurken, fietsen en langere tijd met gebogen benen zitten (Kannus & Niittymaki, 1994; Reid, 1992; Wieder, 1993). Būdinger (geciteerd door Bronitsky, 1947) beschrijft al in 1906 de klinische symptomen van chondromalacia patella, een vorm van kraakbeenbeschadiging, die slechts in een deel van de PFPS patiënten voorkomt. De verscheidenheid aan oorzaken, defecten en derhalve verschillende subgroepen van patiënten met de diagnose PFPS maakt het moeilijk een lijst van klachten en symptomen voor alle vormen van PFPS te formuleren (Holmes & Glancy, 1998).

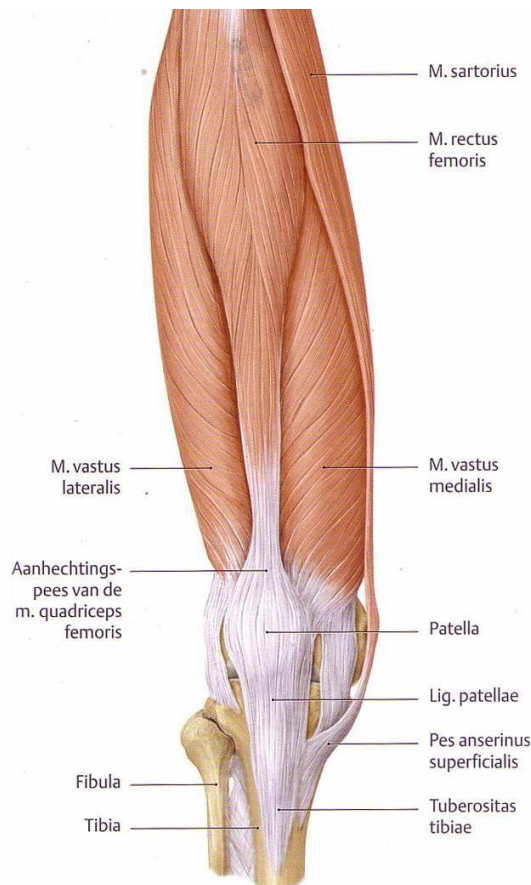
Er zijn geen eenduidige testen voor het vaststellen van PFPS, anders dan het inventariseren van de aard van de pijnklachten, mogelijke oorzaak, beperking in bewegingen etc). De diagnose is er ook vaak een van uitsluiten van andere kniepijn problemen, zoals bijvoorbeeld tendinitis, bursitis, Osgood Schlatter's syndroom, tibia-femorale osteoarthritis, etc. (Cook et al, 2012).

Er zijn een aantal oorzaken aan te wijzen voor PFPS, waaronder een incorrecte positie van onderste extremiteiten (Q hoek), onjuiste sporing van de patella, een onbalans of ontbreken van kracht in de spieren van de onderste extremiteiten, beschadiging van kraakbeen etc. (Cook et al, 2012). Een onjuiste sporing van de patella wordt vaak verantwoordelijk gehouden voor de symptomen gerapporteerd bij PFPS patiënten. Dit is het gevolg van een onbalans in de kracht uitgeoefend door de musculus Quadriceps op de patella bij knie flexie en – extensie, vooral bij belasting van het gewricht. Bij PFPS loopt de patella naar lateraal in de groeve hetgeen zowel leidt tot rek van de bandstructuren aan de mediale zijde van de patella als ook drukverhoging aan de laterale zijde in het gewricht tussen patella en femur (Thomeé et al. 1999).

De musculus Quadriceps bestaat uit 4 delen, waarbij de VL en VMO een grote rol spelen in het goed laten sporen (dynamische stabilisatie) van de patella. De VMO, verlopend aan de mediale zijde van de knie, onder een hoek van 40-55 graden ten opzichte van de transversale as van de femur, is de enige actieve stabilisator van de patella naar mediaal toe. In figuur 1 is de anatomie van deze spieren weergegeven. Insufficiëntie van de VMO zal het lateraliseren van de patella bewerkstelligen. Een veranderd activatie patroon van de VMO en van zijn tegenhanger de VL aan de laterale zijde van het bovenbeen kan ook tot het scheeftrekken van de patella leiden (Kannus & Niittymaki, 1994; Reid 1992).

Vermijden van de activiteit, die leidt tot belasting van het patello-femoraal gewricht is de meest voor de hand liggende oplossing voor vermindering van de klachten.

Fysiotherapie is de meest toegepaste behandeling en de effectiviteit voor behandeling ervan is meermaals aangetoond. De kern van de behandeling van PFPS is vaak gericht op herstel van kracht, flexibiliteit of in balans brengen met andere spiergroepen van de been extensoren (musculus Quadriceps) om op die wijze het niet juist sporen van de patella te corrigeren (Dixit et al. 2007). Het oefenprogramma dient te worden afgestemd op de specifieke conditie van de patiënt.



Figuur 1. Anatomie van de knie en de aanhechting van VMO en VL

Andere toegepaste behandelingen betreffen: - gebruik van anti-inflammatoire/analgetische NSAIDs (non-steroidale anti-inflammatoire farmaca), zonder veel duidelijk succes (Heintjes et al., 2004) – gebruik van een brace (geen consistente gegevens van succes in literatuur te vinden) – zoolcorrectie (orthoses) - mediaal taping van de patella zoals al beschreven door McConnell in 1986. De theorie van McConnell is dat deze manier van taping direct de patella positie/sporing verbetert, de verkorte laterale structuren zou rekken, de VMO activiteit zou verhogen en de pijn zou verminderen. In overzichtsartikelen door Crossley et al (2001) en Overington et al (2006) wordt de waarde van intaping van de patella voor met name de pijnvermindering bij PFPS nogmaals ondersteund, hoewel 'harde' bewijzen voor een functioneel herstel moeilijk te vinden zijn.

Het samenspel van bovengenoemde spieren kan op tal van wijzen worden bestudeerd. Er kan worden gekeken naar de (relatieve) kracht van beide spieren, maar ook naar het samenspel van beide spieren.

Electromyografie (EMG) stelt ons in staat om de activiteit van beide spieren, en vooral hun samenspel in de tijd te volgen en te kwantificeren bij hun belangrijkste taak als stabilisatoren van de patella. Zo kan worden gekeken naar het moment van aanspanning (latentie- of onset tijd van het EMG signaal), de kracht- en de duur van de contractie (respectievelijk, amplitude- en tijdsduur van het EMG signaal)

Na de eerste maal dat er, gebruikmakend van EMG een duidelijke aanwijzing wordt gevonden dat er bij patiënten met knieklachten, die een sterke overeenkomst vertonen met PFPS, een vroegere aanspanning van de VL ten opzichte van de VMO plaatsvindt (Voight & Wieder, 1991), volgen tal van onderzoeken die zich richten op de karakteristieken van deze beide spieren in de PFPS patiënten populatie.

Het temporele aspect van VMO versus VL contractie is het onderwerp van dit artikel. Achtereenvolgens zal worden ingegaan op de evidentie, de effecten van fysiotherapeutische behandeling en de voorspellende waarde voor het risico van ontwikkelen van PFPS bij VMO-VL EMG onset verschillen.

METHODE

Literatuurstudie

Voor deze literatuurstudie is gezocht in volgende databases: HU, Medline, Pedro, Cochrane en PubMed.

De volgende (combinatie van-) zoektermen zijn gebruikt: Anterior knee pain, Chondromalacia patellae, Patellofemoraal dysfunction, Femoropatellar pain syndrome, onset timing, EMG, VMO, latency, PFPS.

Inclusie criteria:

- Aanvankelijk leeftijd PFPS patiënten tussen 20 en 60 jaar (onder 20 jaar en boven 60 jaar vaak verwarrende vergelijkbare symptomen, die niet noodzakelijkerwijs PFPS betreffen). In de praktijk is de ondergrens verlaagd naar 12 jaar, omdat in een aantal studies deze patiënten ook voorkwamen.
- Aanvankelijk literatuur met betrekking tot vraagstelling niet ouder dan 5 jaar. Al snel bleek deze te moeten worden verruimd naar 12 jaar om voldoende relevante literatuur te kunnen selecteren.

Exclusie criteria:

- geschiedenis van PFPS of andere gerelateerde knieklachten in controle (asymptomatische-) personen
- operatieve ingreep in afgelopen periode van een jaar en andere knie-gerelateerde pathologie
- EMG latentietijd gemeten anders dan tot onset EMG signaal. Dit criterium bleek noodzakelijk omdat alleen meting tot onset (en niet tot maximum) van EMG signaal informatie geeft omtrent start contractie van verschillende spiergroepen.

Naast een groot aantal bruikbare artikelen gerelateerd aan het onderwerp (en voor het begrip van het geheel noodzakelijk) worden hieronder alleen de artikelen, die direct betrekking hebben op de onset timing van VMO en VL in PFPS vermeld. Na selectie van een groter aantal publicaties op basis van een Pedro score van tenminste 5/11 resteren de onderstaande 10 wetenschappelijke artikelen waar in deze afstudeeropdracht gebruik van is gemaakt voor de vraagstelling (zie tabel 1).

Tabel 1. Pedro score geselecteerde artikelen ten behoeve van vraagstelling

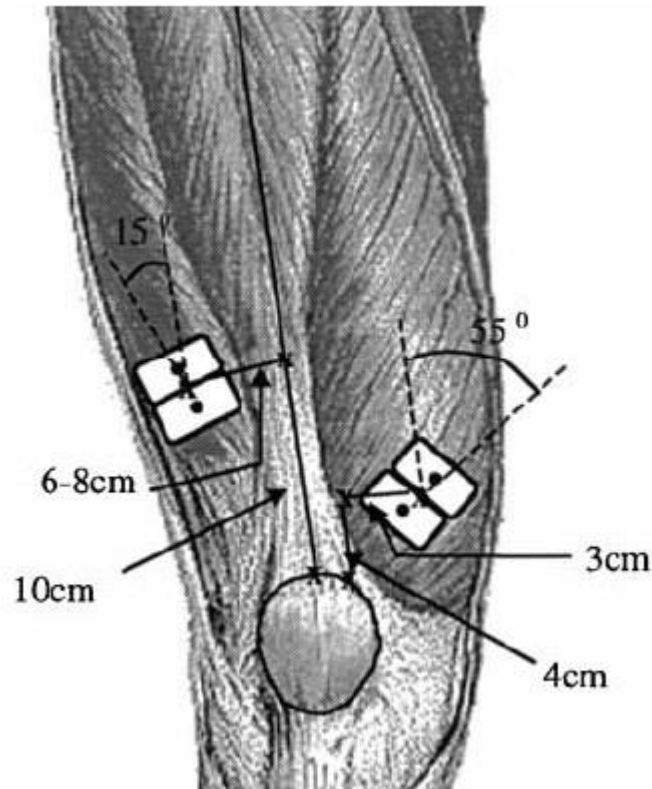
ARTIKEL	PEDROscore
Cowan et al. (2001)	7/11
Cowan et al. (2002a)	7/11
Cowan et al. (2002b)	7/11
Cowan et al. (2002c)	7/11
Cowan et al (2003)	7/11
Brindle et al (2003)	6/11
Crossley et al (2004)	6/11
Boling et al (2006)	5/11
Santos et al (2008)	7/11
Van Tiggelen et al (2009)	5/11

Onderzoek methodes

Het aantal onderzoekspersonen per studie varieert van 10 tot 63 personen. Per artikel wordt er met verschillende groepsettings gewerkt. Er zijn symptomatische(PFPS) groepen en asymptomatische(controle) groepen. Ook zijn er variaties in de interventies die toegepast worden. Er zijn groepen die een 6 weekse fysiotherapeutische interventie gericht op de activatie van de VMO ondergaan hebben (dan wel met- of zonder taping van de patella). Er zijn groepen die een placebo behandeling ondergingen door bijvoorbeeld ultrageluid of een placebo taping. Er wordt ook in een aantal gevallen met een enkele dan wel dubbele blinding gewerkt van de onderzoekspersonen en therapeuten.

De EMG elektrodes zijn in de meeste studies op vergelijkbare manier geplaatst. Over het algemeen worden er 3 elektrode geplaatst, 2 op de spierbuiken van de VMO en VL met een afstand van elkaar van 22mm en 1 grondelektrode op een bottig oppervlakte. De elektrode op de VMO zit 4cm superior en 3 cm mediaal van de superior mediale grens van de patella. De elektrode op de VL 10cm superior

en 6-8cm lateraal van de superieure grens van de patella. De grondelektrode op de tibia 3 cm distaal van de tuberositas tibiae. Dit is schematisch weergegeven in het onderstaande figuur 2.



Figuur 2. Plaatsing EMG elektroden ten behoeve van meting VL en VMO activiteit (Figuur overgenomen uit Cowan et al. 2001)

Naast het meten van de amplitude kan ook het startmoment van de contractie gemeten worden. Het vaststellen van de start van de electromyografisch geregistreerde contractie gebeurt òf - visueel, òf – volgens een algoritme waar de start wordt gedefinieerd als het moment waarop het signaal tenminste 3 tot 5 x de standaard deviatie boven de ruis uitkomt gedurende een minimale tijd, - òf in een vergelijkbaar algoritme waar tenminste een bepaald percentage van de maximale amplitude werd bereikt. De basislijn wordt gemeten voor de oefening of stimulatie. De latentietijd van de VMO en VL wordt hetzij berekend ten opzichte van de start van de stimulus, of ten opzichte van een vast deel van een oefening of wordt onderling vergeleken (verschil in tijd tussen beide momenten van aanspanning). In alle beschreven studies wordt gebruik gemaakt van adequate statistische analyses.

RESULTATEN

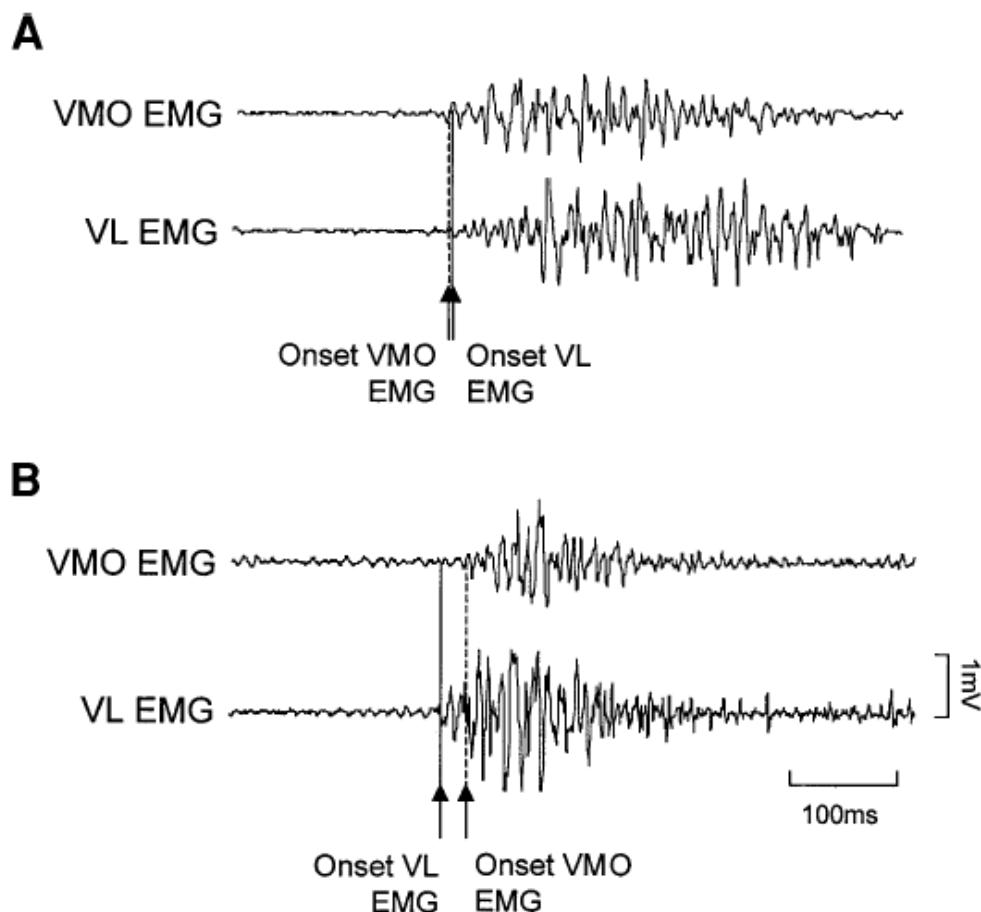
Evidentie VMO-VL EMG onset verschillen bij PFPS patiënten

Voight en Wieder beschrijven in 1991 als eersten een verandering in de timing van de VMO ten opzichte van de VL in patiënten met een extensie dysfunctie en pijn in de anteriore zijde van de knie. Om preciezer te zijn: zij vinden een snellere VL reflex respons in patiënten, terwijl de VMO respons niet is veranderd. In een aantal daar op volgende publicaties, lijkt het niet eenvoudig dit te bevestigen. Zo beschrijven Karst en Willet in 1995 dat zij geen verschil tussen de relatieve timing van de reflex-geïnduceerde EMG activiteit van de VMO en VL waarnemen in PFPS patiënten en gezonde vrijwilligers. Ook Powers et al. (1996) rapporteren dat er geen aanwijsbaar verschil is tussen het start- en eindmoment van de contractie van de VMO ten opzichte van de VL in beide groepen. Witvrouw et al (1996) bevestigen echter de eerdere waarnemingen van Voight en Wieder (1991): een significant ($P < 0.01$) eerdere start van het EMG signaal van de VL vergeleken met de VMO in PFPS patiënten.

Hoewel er recentere studies zijn gepubliceerd (zie verderop in tekst) vindt het onderzoek van Cowan et al (2001) veel navolging en zijn derhalve deze resultaten hieronder weergegeven.

Cowan et al. (2001) hebben in een groep van 33 PFPS patiënten de start van de VL- en de VMO contractie gemeten met EMG, zowel tijdens de concentrische- (opstappen) als excentrische (afstappen) fase van de spiercontracties tijdens een trap-loop test.

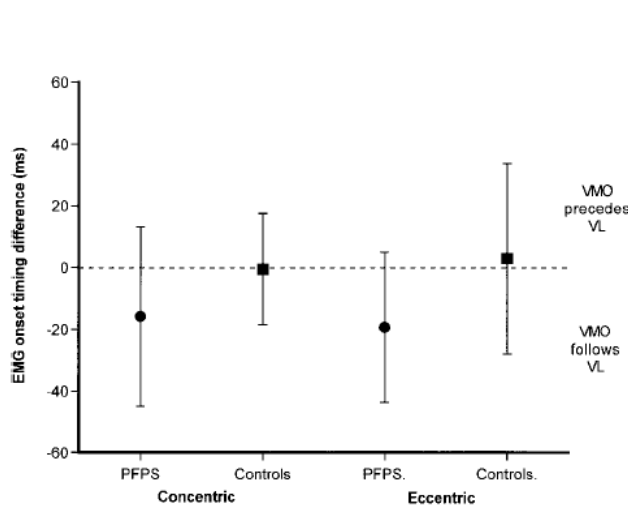
In het onderstaande figuur 3 is een representatieve EMG opname weergegeven.



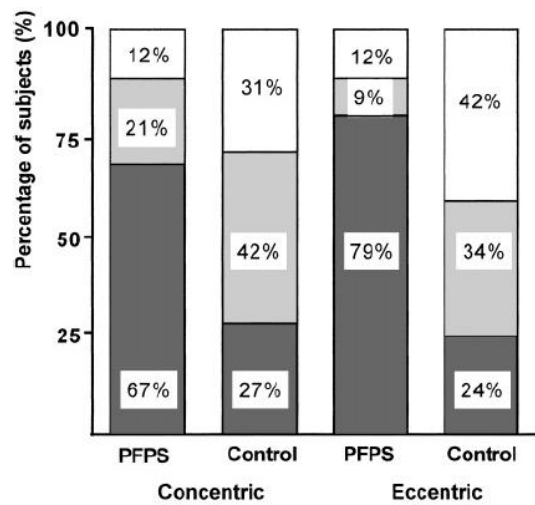
Figuur 3. EMG data van een representatieve controle persoon (A) en een PFPS patiënt (B) in de concentrische fase van de trap-loop test. In de controle persoon is de start van de VMO en VL op vrijwel dezelfde tijd, terwijl bij de PFPS patiënt de start van de VL voor de VMO ligt.

(Figuur overgenomen uit Cowan et al. 2001)

De resultaten van deze studie van Cowan et al (2001) zijn samen te vatten in de volgende twee figuren 4 en 5:



Figuur 4: Gemiddelden (en standaard deviatie) van verschil onset EMG VL – VMO in PFPS versus controle personen in concentrische- en excentrische trap-loop taak.
(Figuur overgenomen uit Cowan et al., 2001)



Figuur 5: Percentage PFPS- en controle personen waarbij de EMG onset van de VMO eerder, gelijk of later plaats vindt dan de onset van de VL. (□) VMO onset > 10 msec voor VL; (▒) VMO onset binnen 10 msec van VL; (■) VL onset > 10 msec voor VMO
(Figuur overgenomen uit Cowan et al. 2001)

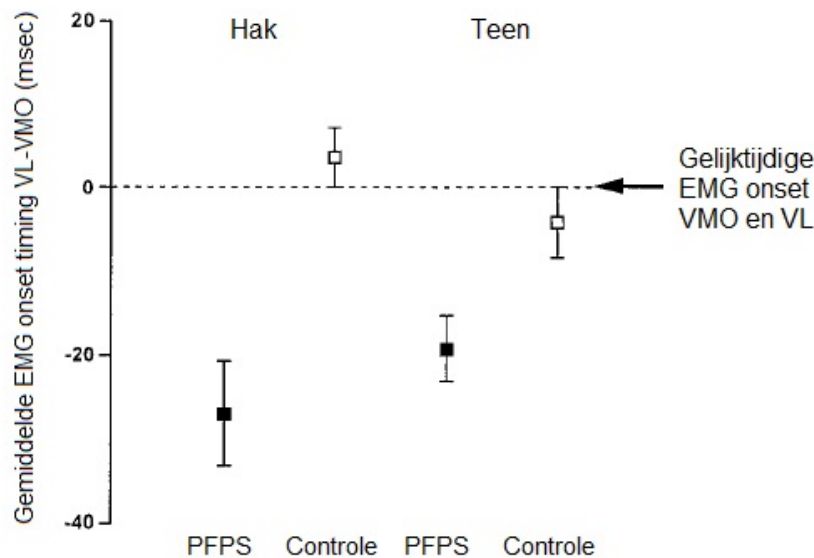
De resultaten in figuur 4 laten zien dat de gemiddelde EMG onset van de VMO en de VL bij de asymptotische controle personen vrijwel gelijk is in beide fasen van de trap-loop test. Bij PFPS patiënten, daarentegen is de EMG onset van de VMO na die van de VL in zowel de concentrische- als de excentrische fasen van de trap-loop test ($P < 0.005$ in beide fasen). De PFPS patiënt resultaten verschillen significant ($P < 0.001$) van de controle groep.

In figuur 5 zijn de resultaten op een andere wijze weergegeven: het percentage personen waarbij de EMG onset van de VL voorafging, samenviel of plaats vindt na de EMG onset van de VMO. in zowel PFPS patiënten als controle personen. Bij de meeste PFPS patiënten was de onset van de VL meer dan 10 msec vroeger dan die van de VMO. In slechts een klein deel van de PFPS patiënten (12%) vindt de VMO onset plaats voor die van de VL. Bij de asymptotische controle personen zijn volgordes van VMO en VL onset verschillen gelijk verdeeld. Statistische analyse van de resultaten (Chi-square test) wijst uit dat in beide fasen van de trap-loop test de EMG onset van de VL met hogere waarschijnlijkheid ($P < 0.05$) plaats vindt voor de EMG onset van de VMO in PFPS patiënten dan in controle personen.

In een vergelijkbare, onafhankelijke studie laat deze groep van Cowan et al. (2002b) nogmaals zien dat deze verschillen tussen PFPS patiënten en asymptotische personen reproduceerbaar zijn. In PFPS patiënten vinden zij dat de EMG onset van de VL vooraf gaat aan de onset van de VMO: gemiddeld 16.6 msec voor de concentrische fase ($P < 0.05$) en gemiddeld 19.7 msec in de excentrische fase ($P < 0.01$). In de controle groep gaat de EMG onset van de VMO zelfs gemiddeld 15.9 msec vooraf aan de onset van de VL ($P < 0.01$) in de concentrische fase en vinden de contracties tegelijk plaats in de excentrische fase. De verschillen tussen PFPS en controle groep zijn significant ($P < 0.05$).

In nog een andere studie van dezelfde groep (Cowan et al, 2002c) wordt wederom bevestigd dat in asymptotische personen de contractie van de VMO en VL tegelijkertijd plaatsvindt bij de in deze studie uitgevoerde stand oefening: staan op tenen gevolgd door staan op hiel. Bij PFPS patiënten, die dezelfde taak uitvoeren vind de EMG onset van de VL plaats voor die van de VMO: VL EMF onset 27 ± 6 msec (gemiddelde $\pm$ SEM) bij hak-, en 19 ± 4 msec bij teen oefening ($P < 0.005$ in beide gevallen). De verschillen van de PFPS en de controle groep waren significant ($P < 0.005$).

De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 6 hier beneden.



Figuur 6 Gemiddelde verschil ($\pm$ SEM) van de EMG onset van de VMO vergeleken met de VL in PFPS en controle personen.
(Figuur overgenomen uit Cowan et al. 2002c)

In twee andere studies in PFPS patiënten rapporteren Cowan et al (2002c, 2003) een 17-27 msec vroegere EMG onset van de VL ten opzichte van de VMO. De resultaten hiervan worden behandeld in de volgende sectie (Effecten van fysiotherapeutische behandeling op verschil VMO-VL EMG onset).

Brindle (2003) vindt in een groep van 16 PFPS patiënten geen significant verschil ten opzichte van asymptomatische controle personen in de VMO/VL EMG onset tijden. In de concentrische fase van de traploop test zijn de verschillen tussen VL en VMO bij PFPS en controle personen respectievelijk -18 msec en -14 msec. In de excentrische fase rapporteert hij een niet significante verlenging bij PFPS patiënten vergeleken met controle personen, respectievelijk 60 msec en 28 msec.

In een studie door Crossley et al. (2004) wordt weliswaar beweerd dat er gemiddeld een eerdere EMG onset was van de PFPS patiënten ten opzichte van de controle personen, maar ontbreken de ondersteunende gegevens. Wel laten zij zien dat in een groep van 48 PFPS patiënten de helft hiervan een eerdere EMG onset van de VL ten opzichte van de VMO laten zien in de concentrische- en excentrische fase van de traploop test van respectievelijk 37 en 38 msec, terwijl dit verschil in de rest van de groep respectievelijk -4msec en 0 msec bedraagt. De gemiddelde verschillen van de concentrische- en excentrische fasen kunnen derhalve berekend worden als respectievelijk 17 msec en 20 msec. In de controlegroep van asymptomatische personen (n=18) was dit verschil respectievelijk 2 msec en 0 msec.

Boling et al (2006) beschrijven ook een eerdere EMG onset van de VL ten opzichte van de VMO in PFPS patiënten in een traploop test. Zij vinden een verschil VL-VMO onset van 22 msec en 51 msec in, respectievelijk de concentrische- en excentrische fase. In de asymptomatische controle groep vindt gemiddeld de EMG onset van de VL zelfs plaats na de VMO. De verschillen (VL-VMO onset) in de concentrische- en excentrische fase zijn, respectievelijk -62 msec en -57 msec. De verschillen tussen de PFPS en controle groep zijn significant ($P=0.001$). Deze studie wordt ook in de volgende sectie behandeld.

In een andere recente studie wordt door Santos et al. (2008) een verschil in het temporeel patroon van PFPS patiënten beschreven. Zij vinden een 10 msec eerdere EMG onset van de Vastus Lateralis Longus, maar niet de Vastus Lateralis Obliquus ten opzichte van de VMO ($P=0.04$). Dit verschil is significant groter dan in de controle groep met een gemiddeld verschil van 4 msec ($P=0.002$). Zoals uitvoerig behandeld in de laatste sectie (Voorspellende waarde VMO-VL EMG onset verschillen voor risico PFPS) rapporteren van Tiggelen et al. (2009) ook een significant verschil ($P=0.001$) tussen de VL-VMO EMG onset in PFPS patiënten (18 msec) en asymptomatische personen (-2 msec).

De in deze sectie beschreven resultaten zijn samengevat in de onderstaande tabel 2.

Tabel 2. Evidentie VMO-VL EMG onset verschillen bij PFPS patiënten

Artikel van	personen		VMO & VL onset geïnduceerd door		PFPS	Asymptoma- tisch	Onset VL voor VMO in PFPS	Significantie PFPS versus asympto- matisch
	PFPS	Asymp- tomatisch	oefening	fase	VL-VMO (msec)	VL-VMO (msec)		
Cowan et al. (2001)	33	33	Trap lopen	concentrisch excentrisch	16 19	1 -3	ja	P<0.001
Cowan et al. (2002a)	65	0	Trap lopen	concentrisch excentrisch	16 21	-	ja	-
Cowan et al. (2002b)	10	12	Trap lopen	concentrisch excentrisch	17 20	-16 0	ja	P<0.05
Cowan et al. (2002c)	37	37	Staan op teen & staan op hiel	hiel teen	27 19	3 4	ja	P<0.005
Cowan et al. (2003)	40	0	Staan op teen & staan op hiel	hiel teen	27 22	-	ja	-
Brindle et al. (2003)	16	12	Trap lopen	concentrisch excentrisch	-18 60	-14 28	nee	NS
Crossley et al. (2004)	48	18	Trap lopen	concentrisch excentrisch	17 19	2 0	Ja?	significantie niet gerapporteerd
Boling et al. (2006)	14	14	Trap lopen	concentrisch excentrisch	22 51	-62 -57	ja	P< 0.05
Santos et al. (2008)	10	10	knie extensie	extensie	10	4	ja	P=0.0023 *
Van Tiggelen et al. (2009)	26	63	Staan op hiel	hiel	18	-2	ja	P= 0.001

Overzicht studies beschreven in resultaat sectie

*: alleen vastus lateralis longus

VL-VMO gedefinieerd als >0 als VL onset plaats vindt voor VM onset. Range van verschil in latentietijd tussen VL en VMO 10-60 msec.

Onset EMG gedefinieerd als 3 x SD boven achtergrond, m.u.v. Brindle et al (2003): 5x SD.

Effecten van fysiotherapeutische behandeling op verschil VMO-VL EMG onset

Cowan et al (2002a, 2003) hebben in een tweetal studies de effecten van fysiotherapie op de EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL beschreven. De methode van EMG meten is hetzelfde als die beschreven door Cowan et al.(2001). De latentietijden worden gemeten vanaf een vast punt in de oefening. In een studie (Cowan et al. 2002a) worden als taken de concentrische- en excentrische traplooptest aangeboden. De PFPS patiënten zijn random verdeeld in twee groepen: 35 patiënten ondergingen een fysiotherapeutische behandeling, de overige 30 patiënten kregen een placebo behandeling. Proefpersonen staan 1,8 meter van de trap (tree hoogte 20cm) af. Ze moeten met een snelheid van 96 stappen per minuut over de trap lopen (gemeten met een metronoom). Ze mogen 5 keer oefenen voordat er 5 keer achter elkaar gemeten wordt. De meting wordt gedaan tijdens de standfase de trap op (concentrisch) en af (excentrisch) lopend.

In een latere studie (Cowan et al. 2003) wordt een afwisselend staan op hiel en teen gebruikt als taak. Deze studie wordt uitgevoerd met 40 PFPS patiënten, die wederom zijn verdeeld in twee groepen: fysiotherapie (n=22) en placebo behandeling (n=18). De proefpersoon moet met loshangende armen ongesteund staan met 20 cm ruimte tussen de voeten. Bij een lichtsignaal moeten ze zo snel mogelijk naar gelang van de kleur naar de tenen (musculus Triceps Surae aanspannen) of naar de hak (musculus Tibialis Anterior aanspannen) gaan. De meting wordt 10 maal voor de hiel- en teenstand uitgevoerd.

De interventies (placebo dan wel fysiotherapeutisch) zijn de volgende:

De PFPS patiënten trinden een maal per week onder begeleiding van een fysiotherapeut.

Het protocol voor de fysiotherapeutische interventie ziet er als volgt uit:

Er wordt altijd therapeutische McConnell patella taping toegepast en progressieve functionele hertraining van de VMO, gebruik makend van een EMG biofeedback.

In de eerste twee weken zijn de oefeningen:

- Isometrische VMO contracties in zit, met een knie flexie van 90°.
- Squads tot 40° knie flexie, gecombineerd met een isometrische contractie van de gluteale musculatuur.

Van week 3 tot en met 6:

Als de patiënt vijf maal een trede van 20 cm hoogte af kan stappen zonder pijn, wordt er begonnen met de volgende oefeningen. Deze bestaan uit het afstappen van een trede met een isometrische heup abductie in stand, om actief de VMO te hertrainen. Daarnaast wordt de gluteale musculatuur versterkt door middel van hierop gerichte oefeningen en worden weke delen gerekt waar nodig. Het protocol voor de placebo (niet therapeutische) interventie ziet er als volgt uit:

- Placebo taping (vertikaal getaped zonder rek van tape en onderliggende structuren)
- Niet werkzaam ultrageluid
- Aanbrengen van een niet therapeutische gel (ultrageluid gel of handcrème)

De gegevens verkregen door Cowan et al (2002a) zijn weergegeven in figuur 7.

De resultaten van beide studies zijn hieronder in getallen weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Effect placebo- of fysiotherapie op VL-VMO EMG onset verschil in PFPS patiënten

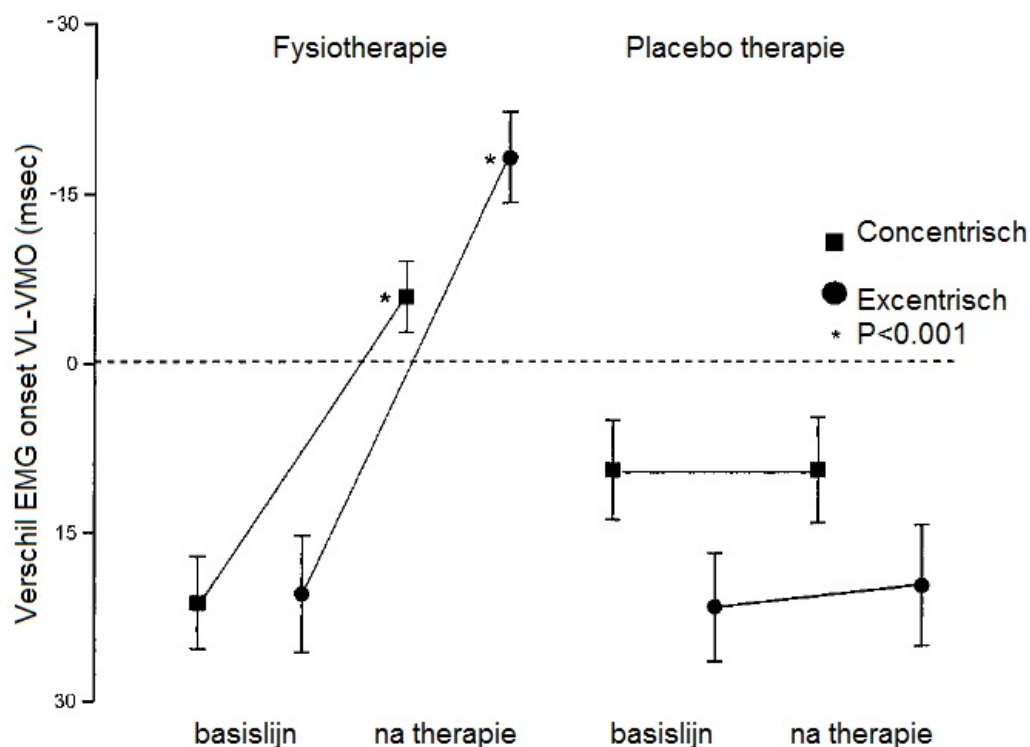
Studie	Oefening fase	VL-VMO PFPS groep placebo therapie		VL-VMO PFPS groep fysiotherapie	
		basislijn	Na 6 weken therapie	basislijn	Na 6 weken therapie
Cowan 2002a n=65	concentrisch	10 ± 4 ^a	10 ± 5 ^a	21 ± 4 ^a	- 6 ± 3 ^c
	excentrisch	22 ± 5 ^a	20 ± 5 ^a	21 ± 5 ^a	- 18 ± 4 ^{a,c}
Cowan 2003 n=40	hiel	17 ± 5 ^a	26 ± 9 ^b	27 ± 5 ^a	2 ± 7 ^d
	teen	18 ± 6 ^a	11 ± 5 ^b	22 ± 4 ^a	- 2 ± 7 ^d

VL-VMO gedefinieerd als >0 als VL onset plaats vindt voor VMO onset

onset VL anders dan VMO a: P<0.001, b: P<0.05; therapie versus basislijn c: P<0.001, d: P<0.005

De basislijn waarden van de VL-VMO onset verschillen niet significant van elkaar. In de placebo therapie groep wordt geen verandering gevonden van de EMG onset verschillen tussen de VL en de VMO. Zowel voor als na de placebo therapie vindt de EMG onset van de VL significant ($P < 0.05$) eerder plaats dan de onset van de VMO. In de groep patiënten, die een fysiotherapeutische behandeling ondergingen is een duidelijke verandering te zien: de contractie van de VMO vindt veel eerder plaats en de EMG onset verschilt niet meer van de onset van de VL. Dit uit zich in een significante verandering ($P < 0.001$) in de VL-VMO verschillen in zowel de concentrische- als excentrische taak.

De resultaten van de Cowan et al. (2003) studie zijn vrijwel hetzelfde als de hierboven beschreven studie. Zoals beschreven in tabel 3, zijn de uitgangswaarden voor alle patiënten gelijk: een significant eerdere EMG onset van de VL ten opzichte van de VMO. Alleen een fysiotherapeutische interventie brengt hier een significante ($P < 0.005$) verandering in. In de Fysiotherapie groep vindt VMO en VL onset gelijk plaats.



Figuur 7 Gemiddelde verschil ($\pm$ SEM) van de EMG onset van de VMO vergeleken met de VL in PFPS patiënten voor en na placebo- of fysiotherapeutische behandeling (Figuur overgenomen uit Cowan et al. 2002a)

In een latere studie door Boling et al. (2006) wordt een andere studie opzet gekozen: zowel PFPS patiënten ($n=14$) als asymptomatische controle personen ($n=14$) ondergaan een fysiotherapeutisch trainingsprogramma. De wijze van EMG metingen zijn hetzelfde als die beschreven door Cowan et al (2001). Het EMG signaal wordt opgenomen tijdens op- en aflopen van een trap, zoals beschreven door Cowan et al (2002a). Het 6 weken durende fysiotherapie programma kan op de volgende wijze worden samengevat: alle deelnemende personen trainen een maal per week onder begeleiding van een fysiotherapeut en twee maal per week thuis zonder begeleiding gedurende een periode van 6 weken.

De fysiotherapeutische behandeling is er op gericht om de oefeningen, na uitleg, op een pijnvrije manier uit te voeren. Als de oefeningen niet zonder pijn uitgevoerd kunnen worden, dan moeten de patiënten de oefeningen van de week ervoor herhalen. Bij een volgende behandeling van de fysiotherapeut wordt er weer gekeken naar de uitvoering van nieuwe oefeningen.

De oefeningen zijn gericht op het sterker maken van

- de musculus Quadriceps. Deze oefeningen bestaan onder andere uit
 - single leg raises
 - weerstandsoefeningen met een theraband in stand, waarbij er op het aangedane been gestaan wordt
 - single leg mini squads tot 30° knie flexie stand op een balansplank
- de musculus Gluteus Medius. Deze oefeningen bestaan onder andere uit
 - lateraal een trede afstappen
 - weerstand geven bij het lateraal afstappen van een trede met een theraband
 - zijwaartse uitvalspassen

Daarnaast worden er oefeningen uitgevoerd ter verbetering van de aansturing van de spieren in de onderste extremiteiten. Deze oefeningen bestaan onder andere uit

- rekken van te korte weke delen, zoals de hamstrings of quadriceps
- evenwichtsoefeningen op een balansplank
- uitvalspassen met een sprong of uitvalspassen op de balansplank maken

De resultaten van deze studie zijn in onderstaande tabel 4 weergegeven. Opmerkelijk is het hierboven in de eerste sectie reeds vermelde groot verschil tussen de basislijn VMO onset timing ten opzichte van die van de VL in PFPS patiënten vergeleken met controle personen. In PFPS patiënten vindt de EMG onset van de VL plaats voor de VMO ($P=0.001$). In de asymptomatische groep wordt geen verschil in EMG onset tussen VMO en VL gevonden. Het fysiotherapieprogramma laat geen significant verschil zien van de VMO/VL EMG in de controlegroep. In de PFPS patiënten, daarentegen vindt een significante verandering plaats in het temporele karakter: na training is de EMG onset van de VMO vóór die van de VL ($P=0.001$).

Tabel 4 Effect fysiotherapie op VL-VMO EMG onset verschil in PFPS patiënten en controle personen

Studie	Oefening fase	VL-VMO asymptomatisch		VL-VMO PFPS	
		basislijn	Na 6 weken fysiotherapie	basislijn	Na 6 weken fysiotherapie
Boling (2006)	concentrisch	-62 ± 69	-35 ± 23	22 ± 29^a	$-41 \pm 50^{a, b}$
	excentrisch	-57 ± 55	-41 ± 39	51 ± 82^a	$-37 \pm 45^{a, b}$

Waarden zijn gemiddelden $\pm$ SD ($n=14$). a: $P=0.001$ VL anders dan VMO; b: $P=0.001$ vergeleken met basislijn

In alle hier beschreven studies gaat de verbetering van de VMO/VL verschillen gepaard met een vermindering van de klachten.

Voorspellende waarde VMO-VL EMG onset verschillen voor risico PFPS

Van Tiggelen et al. (2009) hebben in een prospectieve studie gekeken naar het verschil en verandering van de VMO- ten opzichte van de VL latentie tijd in relatie tot het ontwikkelen van PFPS. Er wordt voor- en na een 6 weekse militaire training (BMT, "basic military training") een EMG meting gedaan aan de VL en VMO. De wijze van EMG meten gebeurt op dezelfde wijze als beschreven door Cowan et al. (2001).

De functionele taak, tijdens welke het EMG wordt gemeten is vrijwel hetzelfde als bij Cowan et al. (2002c, 2003). De persoon staat zonder enige steunen met de armen langs de zij en de voeten 20 cm uit elkaar. De proefpersoon wordt geïnstrueerd direct na een geluidssignaal zo snel mogelijk de voet naar de hak te rollen door de musculus tibialis anterior aan te spannen. De metingen worden door middel van een geluidssignaal random om de 3-7 sec herhaald tot een totaal van 10 metingen, waarvan het gemiddelde wordt genomen.

Gedurende de BMT zijn er per dag 12-15 uur activiteiten. Die activiteiten bestaan uit: rennen, wandeltochten ("hiken") met een rugzak van 20-30kg, zogenaamde drill oefeningen, schieten, militaire tactische oefeningen en theorie lessen. De laatste activiteit is een 2,5 daagse 60 km trektocht met een rugzak. Alle proefpersonen waren zeer gemotiveerd voor de training en de omstandigheden waren voor allen gelijk.

De statistische analyse van het effect van klachten (PFPS versus geen PFPS), tijd (voor en na BMT), en mogelijk interactie effect is geanalyseerd met een twee-weg variantie analyse met herhaalde meting opzet. De Pearson χ^2 statistische toets is gebruikt om het aantal personen met een vertraagde EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL te vergelijken.

Geen van de 92 deelnemende personen vertonen bij aanvang PFPS klachten. Van de 92 proefpersonen worden later 13 personen uitgesloten van de studie omdat zij niet PFPS gerelateerde klachten in de onderste extremiteiten ontwikkelden (o.a. tendinitis, stress fractuur).

Bij 26 (32%) van de overgebleven (79) personen worden PFPS klachten geconstateerd als gevolg van de doorlopen BMT. Deze personen vormen de prospectieve PFPS groep voor het 6-weekse trainingsprogramma. Op deze wijze is het mogelijk het effect van de gemiddelde VMO-VL onset verschillen in de verschillende groepen (wel/geen PFPS), voor en na de BMT te bestuderen.

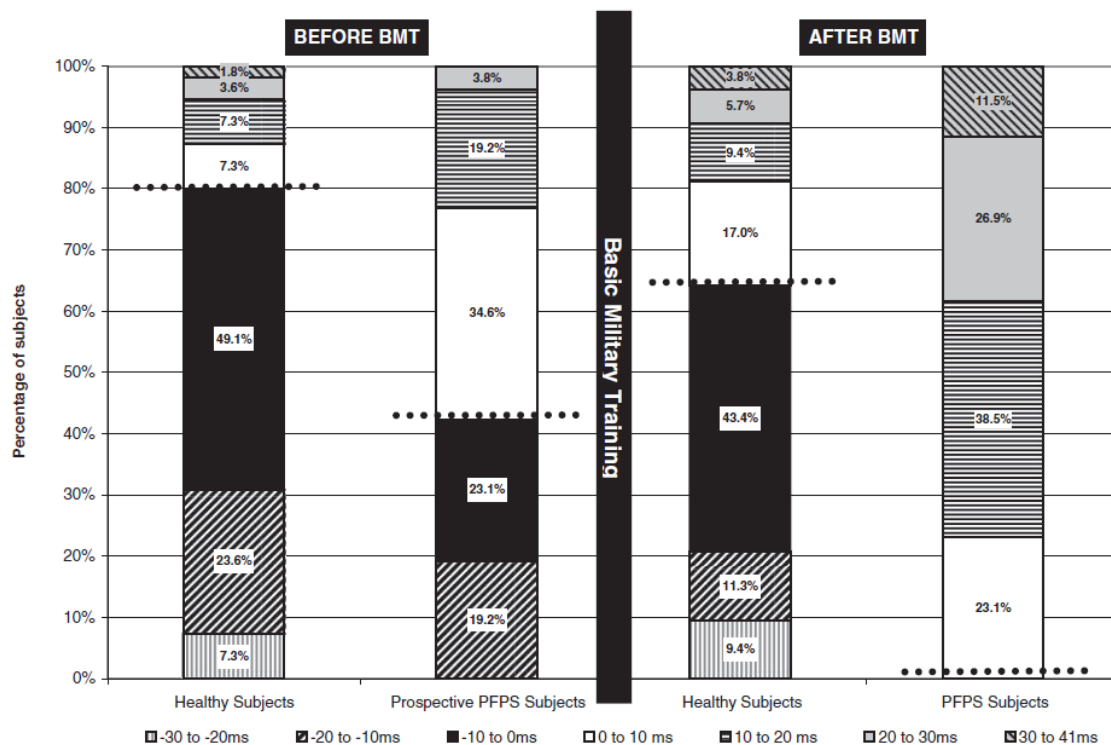
De auteurs rapporteren dat juist de personen, die PFPS ontwikkelen al bij aanvang een vertraagde EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL vertonen. De resultaten van deze studie zijn in onderstaande tabel 5 en figuren 8 en 9 weergegeven.

Tabel 5 EMG onset VMO ten opzichte van VL voor en na BMT

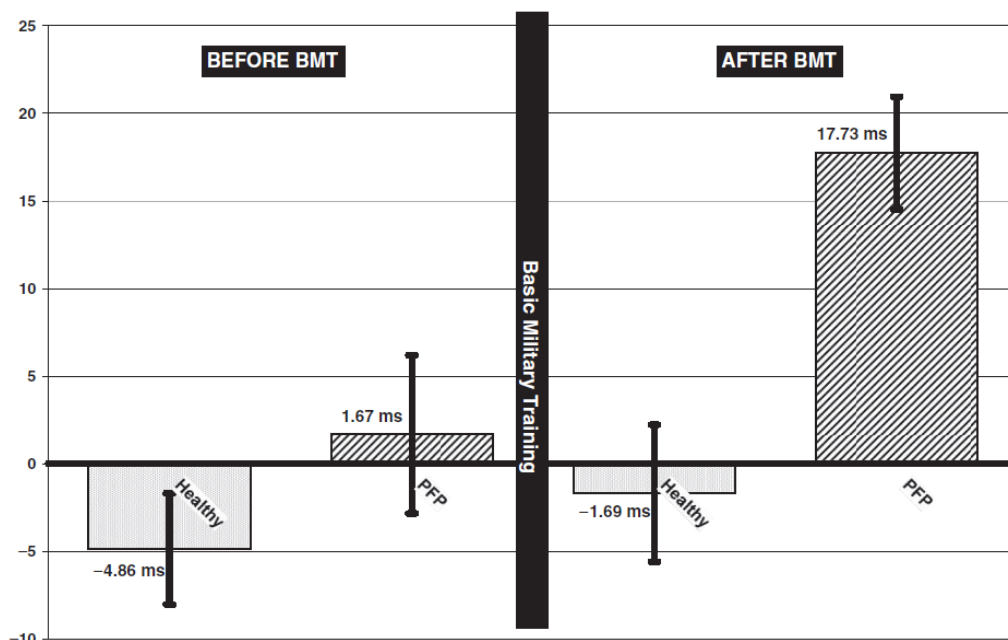
groep	# personen	voor BMT # personen (%) VMO sneller dan VL	na BMT # personen (%) VMO sneller dan VL	voor BMT verschil EMG onset VL-VMO in msec (gemiddelde $\pm$ SD)	na BMT verschil EMG onset VL-VMO in msec (gemiddelde $\pm$ SD)
Geen PFPS	53	42 (80%)	34 (64%)	-4,9 $\pm$ 1.6	-1.7 $\pm$ 1.8
Wel PFPS	26	11 (42%) ^a	0 (0%) ^b	1.7 $\pm$ 2.3 ^c	17.7 $\pm$ 2.5 ^d

EMG onset VMO ten opzichte van VL in personen met (prospectief) PFPS versus geen PFPS voor en na BMT

Significant verschil PFPS versus geen PFPS a: $P < 0.001$; b: $P < 0.0001$; c: $P = 0.023$; d: $P < 0.001$



Figuur 8. Percentage personen, waarbij de VMO onset voorafging aan de VL onset in zowel gezonde als PFPS personen voor en na het militaire trainingsprogramma (BMT). De blokken zijn gegroepeerd per 10 msec verschil tussen de VMO en VL. Het percentage personen met een vertraagde onset van de VMO ten opzichte van de VL is weergegeven boven de stippe lijn.
(Figuur overgenomen uit van Tiggelen et al. 2009)



Figuur 9. Gemiddeld verschil tussen de VMO en VL latentietijd (in msec) met 95% betrouwbaarheidsinterval voor de asymptotische controle personen en de PFPS patiënten voor en na het militaire trainingsprogramma.
(Figuur overgenomen uit van Tiggelen et al. 2009)

Al voor de BMT wordt bij de prospectieve PFPS personen een significant ($P=0.023$) vertraagde EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL waargenomen. Bij de symptoom-vrije personen werd zowel voor- als na de BMT geen dergelijk significant verschil gezien. Het VMO/VL onset verschil wordt in de PFPS groep na BMT zelfs nog significant groter ($P<0.001$ versus aanvangswaarde).

Hetzelfde beeld wordt waargenomen als de gegevens worden geanalyseerd op basis van aantal personen dat een vertraagde EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL laten zien.

Voor het BMT heeft 80% van de personen, die geen PFPS klachten krijgen een snellere VMO- dan VL latentietijd tegen 42% van de prospectieve PFPS personen ($P<0.001$). Na de training heeft 64% van de groep die geen PFP klachten krijgt nog een snellere VMO- dan VL latentietijd en geen van de groep die PFP klachten heeft ($P<0.0001$).

Op basis van deze gegevens construeren van Tiggelen et al (2009) een waarschijnlijkheidstabel (tabel 6), waarin het relatieve risico om PFPS te ontwikkelen wordt voorspeld op basis van de mate van vertraging in de EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL. Zo betekent, bijvoorbeeld, dat een vertraging van de VMO ten opzichte van de VL van 10 milliseconden een 1.3 maal grotere kans geeft (30 % toename) op het ontwikkelen van PFPS dan als er geen vertraging is.

Tabel 6: Relatieve risico (RR) om PFPS te ontwikkelen

EMG onset VMO trager dan VL (msec)	RR	95% betrouwbaarheids Interval RR
5	1.15	1.03 – 1.28
10	1.30	1.17 – 1.44
15	1.46	1.32 – 1.61
20	1.62	1.47 – 1.78
25	1.78	1.62 – 1.95
30	1.93	1.76 – 2.11
35	2.07	1.89 – 2.26

(ontleend aan van Tiggelen et al. 2009). RR: relatieve risico

Van Tiggelen et al. (2009) concluderen dat een vertraagde EMG onset van de VMO ten opzichte van de VL een van de risico factoren is, die bijdraagt aan het ontwikkelen van PFPS.

DISCUSSIE

Er is in dit artikel aandacht besteed aan drie aspecten van de temporele aspecten van de aanspanning van de VMO versus de VL:

1. eerdere aanspanning VL dan VMO in PFPS patiënten
2. effect fysiotherapie op timing aanspanning VMO ten opzichte van VL in PFPS patiënten
3. voorspellende waarde VMO-VL onset verschillen voor risico ontwikkelen PFPS

Er zijn voldoende sterke aanwijzingen om aannemelijk te maken dat bij PFPS patiënten een relatief te late aanspanning van de VMO (ten opzichte van de VL) optreedt. Vrijwel alle hier behandelde studies (geselecteerd op relevantie voor onset EMG en PFPS) ondersteunen dit verschil. In de meeste studies wordt een gelijktijdige onset van VL en VMO beschreven in asymptomatische personen. Een merkwaaardige uitzondering hierop vormt de studie van Boling et al (2006), waarin een eerdere onset van de VMO dan de VL wordt beschreven, echter zonder de significantie hiervan te vermelden. Hoewel de studie van Crossley et al (2004) niet direct gericht is op het aantonen van verschillen tussen de EMG onset van de VMO en de VL, kunnen de gegevens, ondanks het ontbreken van een deugdelijke statistische analyse van de hele PFPS patiënten groep, wel als ondersteunend worden gezien.

In een recent review artikel (meta-analyse van de literatuur) concluderen Chester et al. (2008) dat patiënten met pijn in de voorzijde van de knie weliswaar een trend laten zien voor een vertraagde latentietijd van de VMO ten opzichte van de VL, maar dat de heterogeniteit van de gegevens geen duidelijke conclusie mogelijk maakt. De auteurs zijn (terecht) voorzichtig in hun conclusies, maar trachten veel (vaak ook oudere) studies in een meta-analyse mee te nemen. Zo worden onder andere studies gebaseerd op reflexgeïnduceerde VL/VMO response tijden (4 studies) gecombineerd met een taakgeïnduceerde EMG metingen (11 studies).

In een ander recent review artikel door Wong (2009) zijn 12 studies vergeleken en komt de auteur tot de conclusie dat de helft van de studies de latere VMO latentie ondersteunt. Opgemerkt dient te worden dat de conclusie gekleurd wordt door het feit dat sommige studies in dit review geen betrekking hadden op PFPS (maar op osteoarthritis) en dat soms een andere parameter dan onset tot contractie werd gemeten. Het zijn juist deze laatstgenoemde studies, die geen effect op VMO/VL ratio rapporteren.

Indirecte ondersteuning van het belang van het verschil in EMG onset timing voor PFPS komt uit de onderzoeken naar het effect van fysiotherapeutische behandeling. Bij PFPS patiënten met een relatief late VMO aanspanning (ten opzichte van VL) wordt na een fysiotherapeutisch oefenprogramma een gelijktijdige aanspanning van VMO en VL bereikt (gemeten met EMG), hetgeen is gekoppeld aan een vermindering van de klachten. Deze evidentie is op twee manieren verkregen: $\Rightarrow$ fysiotherapie, maar niet placebo(niet effectieve) therapie brengt een VL-VMO normalisatie te weeg $\Rightarrow$ fysiotherapie resulteert in een verschuiving van de VMO-VL onset in PFPS patiënten maar niet in asymptomatische personen. De resultaten beschreven door Cowan (2002a) laten een merkwaaardig verschil zien in de basis waarde van de VL-VMO EMG onset voor PFPS patiënten in de placebogroep en therapie groep (10msec en 21 msec, respectievelijk). Hoewel dit verschil niet significant is heeft het wel mogelijk een effect op de uitkomst van de studie: een effect van placebo therapie is moeilijker aan te tonen.

In de studie van Boling (2006), ook gericht op het effect van fysiotherapie op de VL/VMO EMG onset, is naast de opmerkelijk vroege VMO contractie in controle personen, ook een effect van fysiotherapie te zien in de gemiddelde waarden van VL-VMO onset in tegengestelde richting als het effect in PFPS patiënten. Deze effecten zijn overigens niet significant. Er wordt geen melding gemaakt van een eventuele historie van eerdere fysiotherapie in PFPS patiënten. Dit zou de studieresultaten kunnen beïnvloeden (zowel in positieve- als negatieve zin).

In de studie van van Tiggelen et al. (2009) wordt op unieke wijze inzicht gegeven in het belang van reeds bestaande verschillen tussen de onset van de VMO ten opzichte van de VL in dan nog symptomovrije personen, die na een periode van intensieve fysieke training PFPS ontwikkelen. Door zowel voor – als na een fysiek trainingsprogramma de EMG karakteristieken te meten en na afloop terug te kijken in de EMG gegevens op basis van de diagnostische gegevens kan er een uitspraak worden gedaan omtrent risicofactoren op basis van de VMO-VL onset verschillen.

CONCLUSIES

Het is erg moeilijk om verschillende studies met elkaar te vergelijken om verschillende redenen:

- er wordt vaak niet dezelfde parameters gemeten
- de EMG metingen worden op verschillende wijzen verwerkt
- de activatie van de spieren wordt op verschillende wijze geïnduceerd
- de PFPS patiënten populatie is vaak heterogeen
- diagnose van PFPS patiënten niet altijd eenduidig, vaak indirect door uitsluiting andere pathologieën

Desondanks is er toch sterke evidentie voor een relatief langere latentietijd van de VMO ten opzichte van de VL bij een groot deel van de PFPS patiënten

Het belang van dit temporeel verschil wordt verder onderstreept door de waargenomen effecten van fysiotherapie bij PFPS patiënten. De VMO contractie vindt na therapie gelijk plaats met de contractie van de VL.

In een studie zijn duidelijke aanwijzingen gevonden dat de mate waarin de VMO onset vertraagd is ten opzichte van de onset van de VL bepalend is voor het risico om PFPS te ontwikkelen na zware fysieke belasting. Deze opmerkelijke resultaten dienen nog in verdere studies bevestigd te worden.

Het zou nuttig zijn in toekomstig onderzoek meer aandacht te besteden aan de relatie tussen de VMO-VL onset verschillen en - enerzijds de gerapporteerde (pijn)klachten en - anderzijds de therapeutische interventies. Met andere woorden, meer inzicht in de vraag of de VMO-VL onset verschillen oorzaak of gevolg zijn van PFPS.

Voorts zou er meer aandacht besteed kunnen worden aan de diagnostische methodieken van PFPS en met name het voorkomen van verschillende vormen ervan.

Een standaardisatie van taken en EMG methodieken met betrekking tot contractie-onset metingen zou de kwaliteit en interpreteerbaarheid van onderzoeksgegevens ten goede kunnen komen.

Een betere karakterisering van de verschillende subpopulaties van PFPS patiënten zou kunnen bijdragen aan meer duidelijkheid omtrent etiologie en een meer doelgerichte fysiotherapie.

REFERENTIES

- Boling, M.C., Bolgla, L.A., Mattacola, C.G., Uhl, T.L. & Hosey, R.G. (2006) Outcomes of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 87, 1428-1435.
- Brindle, T. J., Mattacola, C., & McCrory, J. (2003). Electromyographic changes in the gluteus medius during stair ascent and descent in subjects with anterior knee pain. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 11, 244–251.
- Bronitsky, J. (1947) Chondromalacia Patellae. *Journal of Bone Joint Surgery Am.* 29, 931-945
- Chester, R., Smith, T.O., Sweeting, D., Dixon, J., Wood, S. & Song, F. (2008) The relative timing of VMO and VL in the aetiology of anterior knee pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders* 9, 64-78
- Cook, C., Mabry, L., Reiman, M.P. & Hegedus, E.J. (2012) Best tests/clinical findings for screening and diagnosis of patellofemoral pain syndrome: a systematic review *Physiotherapy* 98, 93–100
- Cowan, S.M., Bennell, K.L., Hodges, P.W., Crossley, K.M. & McConnell, J. (2001) Delayed Onset of Electromyographic Activity of Vastus Medialis Obliquus Relative to Vastus Lateralis in Subjects With Patellofemoral Pain Syndrome. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 82, 183-9.
- Cowan, S.M., Bennell, K.L., Crossley, K.M., Hodges, P.W. & McConnell, J. (2002a) Physical therapy alters recruitment of the vasti in patellofemoral pain syndrome. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 34, 1879-1885.
- Cowan, S.M., Bennell, K.L., & Hodges, P.W. (2002b) Therapeutic Patellar Taping Changes the Timing of Vasti Muscle Activation in People With patellofemoral Pain Syndrome. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 12, 339–347
- Cowan, S. M., Hodges, P. W., Bennell, K. L., & Crossley, K. M. (2002c). Altered vastii recruitment when people with patellofemoral pain syndrome complete a postural task. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83, 989–995
- Cowan, S.M., Bennell, K.L., Hodges, P.W., Crossley, K.M. & McConnell, J. (2003) Simultaneous feedforward recruitment of the vasti in untrained postural tasks can be restored by physical therapy. *Journal of Orthopaedic Research* 21, 553 -558.
- Crossley, K., Bennell, K., Green, S. & McConnell, J. (2001) A Systematic Review of Physical Interventions for Patellofemoral Pain Syndrome. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 11, 103–110
- Crossley, K.M., Cowan, S. M., Bennell, K. L., & McConnell, J. (2004). Knee flexion during stair ambulation is altered in individuals with patellofemoral pain. *Journal of Orthopaedic Research*, 22, 267–274.
- Dixit, S., Difiori, J.P., Burton, M. & Mines, B. (2007) Management of Patellofemoral Pain Syndrome. *American Family Physician*, 75, 194-202
- Guilherme S. Nunes, G.S., Stapait, E.L., Kirsten, M.H., de Noronha, M. & Santos, G.M. (2013) Clinical test for diagnosis of patellofemoral pain syndrome: Systematic review with meta-analysis. *Physical Therapy in Sport* 14, 54-59
- Heintjes, E., Berger, M.Y., Biersma-Zeinstra, S.M., Bernsen, R.M., Verhaar, J.A. & Koes, B.W. (2004) Pharmacotherapy for patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Systematic Review* 3, CD003470.
- Holmes S.W. & Clancy W.G. (1998) Clinical classification of patellofemoral pain and dysfunction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 28, 299-306

- Kannus, P. & S. Niittymäki, S. (1994) Which factors predict outcome in the nonoperative treatment of patellofemoral pain syndrome? A prospective follow-up study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26, 289–296.
- Karst, G.M. & Willett, G.M. (1995) Onset Timing of Electromyographic activity in the Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis Muscles in Subjects With and Without Patellofemoral Pain Syndrome. *Physical Therapy* 75, 813–823.
- Lichota, D.K. (2003) Anterior knee pain: symptom or syndrome? *Current Women Health Report* 3, 81–66.
- McConnell, J. (1986) The management of chondromalacia patellae: a long term solution. *Australian Journal of Physiotherapy* 32, 215–223.
- Messier, S.P., Davis, S.E., Curl, W.W., Lowery, R.B. & Pack, R.J. (1991) Etiologic factors associated with patellofemoral pain in Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23, 1008–1015.
- Murray, I.R., Murray, A.S. MacKenzie, K. & Coleman, S. (2005) How evidence based is the management of two common sport injuries in a sports clinic? *British Journal of Sports Medicine* 39, 912–916.
- Overington, M., Goddard, D. & Hing, W. (2006) A critical appraisal and literature critique on the effect of patellar taping – is patellar taping effective in the treatment of patellofemoral pain syndrome? *New Zealand Journal of Physiotherapy* 34, 66–80.
- Powers, C. M., Landel, R., & Perry, J. (1996). Timing and intensity of vastus muscle activity during functional activities in subjects with and without patellofemoral pain. *Physical Therapy*, 76, 946–955
- Reid, D. (1992) Anterior knee pain and the patellofemoral pain syndrome, in: D. Reid (Ed.), *Sports Injury Assessment and Rehabilitation* (pp345–398). Churchill, Livingstone, New York.
- Santos, E. P., Bessa, S. N. F., Lins, C. A. A., Marinho, A. M. F., Silva, K. M. P., & Brasileiro, J. S. (2008). Electromyographic activity of vastus medialis Obliquus and vastus lateralis muscles during functional activities in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 12, 304–310.
- Thomeé, R., Augusztsson, J. & Karlsson, J. (1999) Patellofemoral pain syndrome: a review of current issues. *Sports Medicine* 28, 245–262
- Van Tiggelen, D, Cowan, S, Coorevits, P, Duvigneaud, N, Witvrouw, E. (2009) Delayed Vastus Medialis Obliquus to Vastus Lateralis Onset Timing Contributes to the Development of Patellofemoral Pain in Previously Healthy Men: *The American Journal of Sports Medicine* 37, 1099–1105
- Voight, M. & Wieder, D. (1991) Comparative reflex response times of vastus medialis obliquus and vastus lateralis in normal subjects and subjects with extensor mechanism dysfunction. *American Journal Sports Medicine* 19, 131–137
- Wieder, D.L. (1993) Patellofemoral tracking syndrome. *Rehab Management* 6 99–102.
- Lichota, D.K. (2003) Anterior knee pain: symptom or syndrome? *Current Women's Health Reports* 3, 81–86.
- Witvrouw, E., Sneyers, C., Lysens, R., Victor, J. & Bellemans, J. (1996) Reflex response times of Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis in normal subjects and in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 24, 160–165
- Wong, Y.M. (2009) Recording the vastii muscle onset timing as a diagnostic parameter for patellofemoral pain syndrome: Fact or fad? *Physical Therapy in Sport* 10, 71–74