

PNF Stretchtechnieken; Wat is het achterliggende mechanisme?

Daisy Cevat

Hogeschool Utrecht

Eindexamenopdracht, afdeling fysiotherapie

Januari 2013

Abstract

PNF stretching techniques are being used in different kind of settings and lately there has been a lot of research considering the effect of the techniques. What still isn't clear about the techniques is the underlying mechanism. It is important to understand the underlying mechanism, as this can influence the implementation of the technique. Neurophysiological mechanisms underlying the effectiveness of PNF stretch techniques have traditionally included autogenic inhibition and reciprocal inhibition, but recent studies have raised doubts about these mechanisms as the underlying mechanism of the techniques. A mechanism that is now proposed as the underlying mechanism is an alteration in stretch perception. The purpose of this review is to determine whether there is enough evidence to state that an alteration of the stretch perception is the underlying mechanism of PNF stretching techniques. The search for articles concerning PNF stretching techniques and the underlying mechanism was performed in the following databases PubMed, CINAHL, The Cochrane Library and Sportdiscus. There were 10 articles included in the study. Two of the articles were reviews, two were RCT's and six were pre-post test trials. The quality of the reviews was, scored with the Cochrane evaluation form for reviews of RCT's, of poor quality and the RCT was, scored with the PEDro scale, of reasonably quality.

Seven of the included articles supports doubts about reciprocal inhibition and autogenic inhibition, one article supports autogenic inhibition as underlying mechanism, three articles postulate that an alteration of the passive properties of the musculotendinous unit is not the underlying mechanism and one article supports an alteration of stretch perception as the underlying mechanism.

Based on this results this study supports the doubts about the traditional mechanisms, autogenic inhibition and reciprocal inhibition, as underlying mechanism of PNF stretch techniques and it seems likely that an alteration of the passive properties of the musculotendinous unit is neither the underlying mechanism of PNF stretch techniques.

On the contrary, it appears to be likely that an alteration of stretch perception is the underlying mechanism, but there is not enough high-quality literature to support this conclusion.

Keywords; PNF stretching, hold-relax, contract-relax, Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and mechanism.

Samenvatting Nederlands

De PNF stretchtechnieken worden in veel verschillende settings toegepast en er is de laatste tijd veel geschreven over het effect die deze technieken hebben. Het is alleen nog niet duidelijk welk achterliggend mechanisme verantwoordelijk is voor deze effecten. Dit is belangrijk om te weten, omdat dit eventueel de toepassing zou kunnen beïnvloeden. Er werd altijd vanuit gegaan dat reciproque inhibitie en autogene inhibitie een grote rol speelden in dit effect, maar de laatste tijd zijn daar, na aanleiding van recentelijke onderzoeken, twijfels over ontstaan. Een mechanisme waarvan nu wordt gedacht dat het verantwoordelijk zou kunnen zijn voor het effect na PNF stretchtechnieken is een verandering van de stretchperceptie. Het doel van dit literatuuronderzoek is om vast te stellen of er genoeg bewijs in de huidige literatuur is om te kunnen stellen dat een veranderde stretchperceptie het onderliggende mechanisme van de PNF stretch technieken is en dat dit dus het mechanisme is die verantwoordelijk is voor de behaalde effecten.

Er is gezocht naar literatuur in PubMed, CINAHL, The Cochrane Library en Sportdiscus naar artikelen die betrekking hadden op PNF stretchtechnieken en het mechanisme hierachter. Uiteindelijk zijn er 10 artikelen geïnccludeerd in de studie. Hiervan zijn er twee reviews, twee RCT's en zes pre-post test trials. De kwaliteit van de reviews, gescoord met het Cochrane beoordelingsformulier voor reviews van RCT's, is slecht en de kwaliteit van de RCT's, gescoord met de PEDro score, is redelijk.

Zeven van de geïnccludeerde artikelen ondersteunen de twijfels over reciproque en autogene inhibitie, één artikel ondersteund juist autogene inhibitie als achterliggend mechanisme, drie artikelen stellen dat passieve veranderingen in de spierpeesovergang niet het achterliggend mechanisme is en één artikel ondersteund een veranderde stretchperceptie als achterliggend mechanisme.

Gekeken naar de resultaten ondersteund dit literatuuronderzoek de twijfels over reciproque inhibitie en autogene inhibitie als achterliggend mechanisme van de PNF stretchtechnieken en lijkt het of een passieve verandering in de spierpeesovergang ook niet het achterliggende mechanisme is.

Wel lijkt het aannemelijk dat een veranderde stretchtolerantie het achterliggende mechanisme is, maar er is nog niet genoeg kwalitatief hoogwaardige literatuur om hier een duidelijke conclusie over te kunnen trekken.

Trefwoorden; PNF stretching, hold-relax, contract-relax, Proprioceptive Neuromuscular Facilitation en mechanism.

Inleiding

De Proprioceptieve Neuromusculaire Facilitatie (PNF) aanpak voor revalidatie is eind jaren 40 ontwikkeld door Dr. Herman Kabat van het Kabat-Kaiser institute in California, Amerika. Het is een techniek die werd gedefinieerd als 'een methode van promoten van de respons van het neuromusculaire mechanisme door stimulatie van proprioceptoren'. De theoretische principes zijn erop gebaseerd dat het lichaam neuromusculaire componenten heeft die zich kunnen aanpassen oftewel plastisch zijn. PNF technieken worden gebruikt om alle aspecten van spiertraining aan te pakken. (Westwater-Wood, Adams en Kerry (2010))

Het PNF-principe wordt in patronen gebruikt voor neurorevalidatie, maar wordt daarnaast ook in allerlei settingen gebruikt als stretchtechniek. Als men puur en alleen kijkt naar het stretchen van spieren vanuit de PNF aanpak zijn er 4 stretchtechnieken te onderscheiden, namelijk; 1. hold-relax (HR) 2. contract relax (CR) 3. antagonist contract relax (ACR) en 4. hold-relax/contract-relax met antagonist contractie (HR-AC of CRAC). (Youdas, Haeflinger, Kreun, Holloway, Kramer en Hollman(2010))

Er is de laatste jaren veel onderzoek gedaan naar het effect van de PNF stretchtechnieken. Puentedura et al (2011) hebben een van die onderzoeken gedaan. Aan het onderzoek namen 30 gezonde proefpersonen deel. Een statische stretch, een HR-stretch en een controlegroep werden met elkaar vergeleken. Het linkerbeen werd als controlebeen genomen en het rechterbeen onderging de ene week de ene stretchtechniek en de andere week de andere. De uitslag van het onderzoek was dat beide stretchtechnieken een significant verschil in Range Of Motion(ROM) voor het stretchen en na het stretchen gaven(HR stretch $p < 0.0005$ en de statische stretch $p = 0.011$), maar dat er geen verschil was tussen beide technieken($p=0.782$).

O'Hara, Cartwright, Wade, Hough en Shum (2011) hebben ook een onderzoek gedaan waarin ze de statische stretch, de HR-stretch en een controlegroep met elkaar vergeleken. Aan dit onderzoek namen 45 gezonde proefpersonen deel, die random werden verdeeld over de drie groepen. De uitslag van dit onderzoek was dat beide stretchtechnieken een significant verschil in ROM gaven ten opzichte van de controlegroep(alle $p < 0.05$) en dat de HR-stretch een significant verschil gaf ten opzichte van de statische stretch($p < 0.05$).

De bovenstaande artikelen hebben onderzoek gedaan op gezonde proefpersonen van middelbare leeftijd. Chow en Gabriel (2009) hebben daarentegen onderzoek gedaan op de effecten van de actieve, de passieve en de HR-stretch bij mensen met een nieuwe knie in hun revalidatie. Aan het onderzoek namen 100 patiënten deel die ieder random in een van de stretchgroepen werden ingedeeld.

De uitslag van dit onderzoek was dat alle 3 de technieken een significant verschil gaven in ROM voor het stretchen en ROM na het stretchen(alle drie $p < 0.017$), maar de onderzoekers hebben geen significant verschil tussen een van de groepen kunnen vinden($p > 0.017$).

Gonzales-Rave, Sanches-Gomez en Santos-Garcia(2012) hebben onderzoek gedaan naar de effectiviteit van de passieve stretch en de HR-stretch techniek bij gezonde ouderen tussen de 60 en de 70 jaar. Aan het onderzoek namen 54 proefpersonen deel die in een van de twee stretch groepen of een controlegroep werden ingedeeld, de mannen werden gelijk verdeeld over de groepen. De uitslag van dit onderzoek was dat er een significant verschil in ROM was tussen beide de HR-stretch groep en de statische stretch groep (beide voor schouder $p < 0.01$ en voor heup $p < 0.001$), maar niet

tussen de HR-stretch groep en de statische stretch groep (geen p-waarde weergegeven).

Wat men uit de bovenstaande onderzoeken kan opmaken is dus dat er wel degelijk een effect optreedt. De ROM is na het stretchen vergroot, volgens sommige onderzoeken groter dan bij een andere stretchtechniek en volgens anderen net zo groot.

In Youdas et al. (2010) en Sharman, Creswell en Riek (2006) wordt beschreven dat er traditioneel werd uitgegaan van de volgende neuropsychologische mechanismen achter de PNF stretchtechnieken; Autogene inhibitie via het Golgi Tendon Organ (GTO) tension receptor en van reciproque inhibitie door de spier. Het Golgi systeem wordt verantwoordelijk gesteld voor de vergrote ROM net na het rekken. Tijdens de stretch treedt het volgende op; GTO tension receptoren worden in de spierunit van de target spier geactiveerd, wat ten gevolge heeft dat de spier wordt geïnhibeeerd via autogene inhibitie. Nu is er de laatste jaren twijfel over ontstaan of dit systeem wel echt verantwoordelijk is voor de vergrote ROM. Deze twijfels zijn ontstaan doordat het bovenstaande mechanisme alleen optreedt tijdens de spanning in de spier en de activiteit van de GTO tension receptoren zo goed als niet waar te nemen is. Bij reciproque inhibitie komt het erop neer dat een contractie van de antagonist van de target spier wordt gevraagd en dat er door deze aanspanning via zenuwbanen en het ruggenmerg een inhibitie van activiteit van de target spier optreedt. Dit zou dan dus optreden bij de AC en de HR-AC technieken. Twijfels over de verantwoordelijkheid van dit mechanisme zijn ontstaan doordat uit onderzoeken is gebleken dat de activiteit van de spier niet verandert. (Youdas et al. (2010) en Magnusson, Simonsen, Aagaard, Dyhre-Poulsen, McHugh en Kjaer (1996))

Naast deze twee traditioneel beschreven mechanismen werd er nog een ander mechanisme beschreven dat ten grondslag kon liggen aan de effecten die optreden bij de stretchtechnieken, namelijk; passieve veranderingen in de spierpeesovergang. De veranderingen die zouden optreden zijn een verlaagde passieve torque (stretchweerstand) en een verminderde stijfheid van de spierpeesovergang. Over dit mechanisme zijn ook twijfels ontstaan, doordat in de literatuur beschreven wordt dat dit maar een kortdurend effect geeft en dat de PNF stretch zelf een langdurig effect geeft. (Magnusson et al. (1996))

Het mechanisme waarvan nu wordt gedacht dat het wel een het onderliggende mechanisme van de PNF stretchtechnieken zou kunnen zijn is een veranderde stretchperceptie of stretchtolerantie. Halbertsma en Goeken (1994) in Mitchell, Myrer, Hopkins, Hunter, Feland en Hilton (2007) concluderen dat na een 4 weken durend PNF stretchprogramma de stijfheid van de hamstrings hetzelfde is gebleven, maar dat de stretchtolerantie wel is veranderd. Magnusson et al. (1996) hebben dit nog verder uitgebreid door uit het eigen onderzoek te concluderen dat de CR stretch de stretchperceptie acuut verandert.

Het doel van dit literatuuronderzoek is om vast te stellen of er genoeg bewijs is in de huidige literatuur om te kunnen stellen dat een veranderde stretchperceptie het onderliggende mechanisme van de PNF stretch technieken is en dat dit dus het mechanisme is die de verandering in de ROM veroorzaakt.

Methode

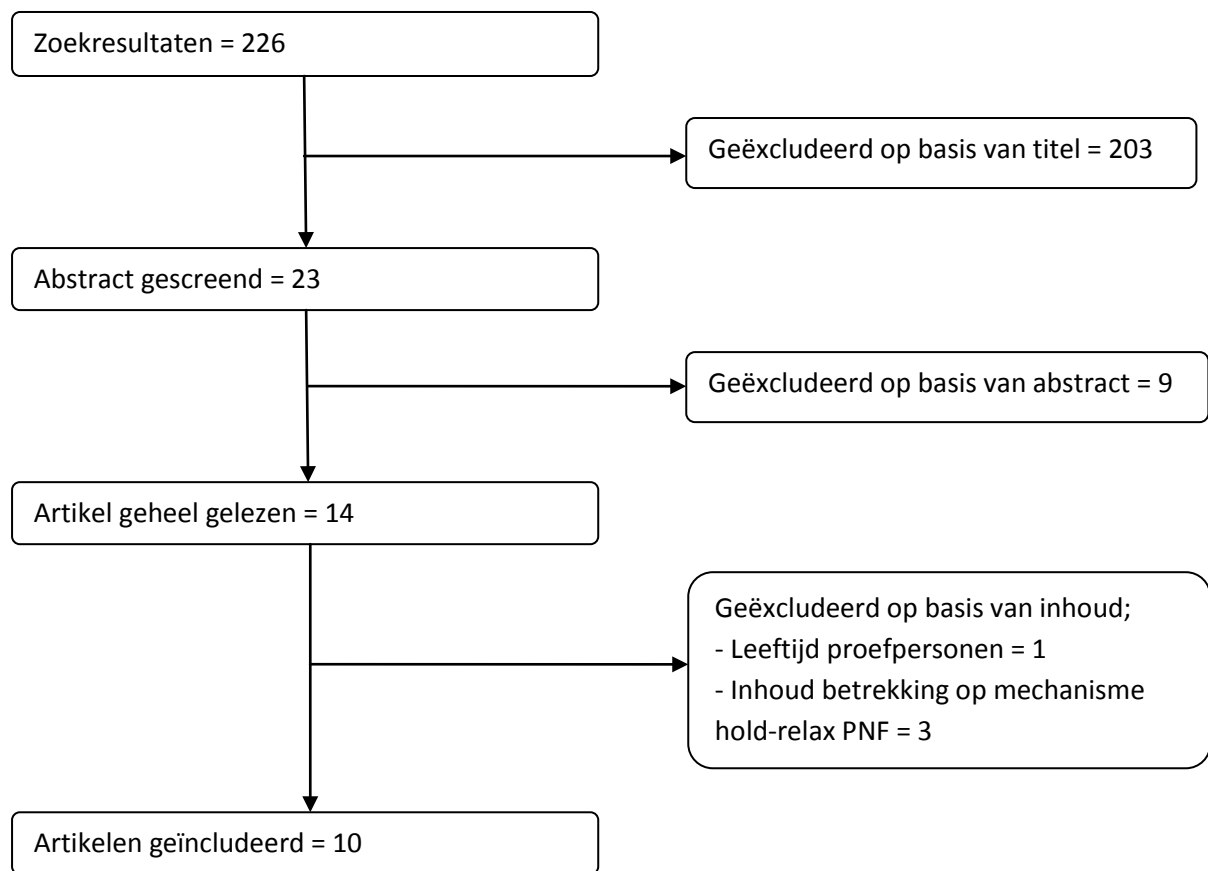
Er is in vier verschillende databases gezocht naar literatuur, namelijk; PubMed, CINAHL, The Cochrane Library en Sportdiscus. In deze databases werd gezocht op de volgende termen; “PNF AND mechanism”, “PNF stretching”, “Proprioceptive Neuromuscular Facilitation”, “Contract-Relax” en “Hold Relax”. Er werd geen limitatie ingesteld op publicatiedatum, de enige limitatie die werd ingesteld was dat het artikel in het Engels of Nederlands geschreven moest zijn. De referentielijsten die gelinkt waren aan de artikelen werden ook doorgezocht, zodat eventueel artikelen die niet werden gevonden binnen de zoektermen toch opgespoord konden worden.

De artikelen werden gezocht door eerst de titel te screenen op relevantie voor het artikel. Als de titel relevant bleek te zijn werd er verder gegaan naar het abstract en werd deze gescreend op zijn relevantie voor het artikel. Als er uit het abstract bleek dat het artikel informatie bevatte over het mechanisme achter de stretchtechnieken vanuit de PNF methode werd het artikel geheel gelezen en beoordeeld op de inclusiecriteria. Voldeed het artikel ook aan de inclusiecriteria, dan werd het artikel toegevoegd aan de studie.

Artikelen werden geïnccludeerd op de volgende inclusiecriteria; In het artikel werd onderzoek gedaan naar de (een van de) stretchtechnieken vanuit het PNF principe, het artikel heeft toepassing op het mechanisme achter de stretchtechnieken, als het om een onderzoek gaat is de leeftijd van de proefpersonen tussen de 20-65 jaar, het minimale niveau van het onderzoek is een pre-post test trial en als het een onderzoek is bestaat de onderzoekspopulatie uit minimaal 10 proefpersonen. Op basis van deze inclusiecriteria bleven er uiteindelijk 10 artikelen over die in het onderzoek geïnccludeerd werden.

Nadat de artikelen geïnccludeerd waren werden ze gescoord op kwaliteit. Voor de RCT's werd dit gedaan met de PEDRO scorelijst, voor de reviews met het Cochrane beoordelingsformulier voor reviews van RCT's en voor de pre-post test trials was er geen scoringslijst.

Na de kwaliteitsbepaling werden de belangrijkste uitkomsten en kenmerken uit de RCT's en de pre-post test trials in een tabel bij elkaar gezet (zie tabel 1). Hierna vond er een analyse van de uitkomsten plaats en werden deze verwerkt in de resultaten.



Afbeelding1; Flowdiagram voor zoekstrategie

Auteur	Aantal proefpersonen	Interventie	Uitkomstmaat	Resultaat
Osternig et al.(1989)	10 proefpersonen	Statische stretch, CR-stretch en ACR-stretch van de hamstrings.	EMG activiteit van de hamstrings en de quadriceps en ROM van de extensie van de knie.	ACR-stretch gaf 3-6% meer ROM toename dan de andere technieken. De ACR-stretch gaf 8% toename EMG activiteit hamstrings, de CR-stretch 43% toename en de SS 8% afname. 70-94% ROM toename PNF-stretches tijdens de eerste fase van de stretch.
Osternig et al.(1990)	30 sporters (hoge intensiteit sporters, duursporters en controle)	Statische stretch, CR-stretch en ACR-stretch van de hamstrings.	EMG activiteit van de hamstrings en de quadriceps en ROM van de extensie van de knie.	De ROM neemt vooral tijdens de eerste fase van de stretch toe. De ACR techniek had een significant grotere ROM toename en een significant verhoogde activiteit van de hamstrings ten opzichte van de beide andere technieken.
Olivo et al.(2005)	30 proefpersonen	CR-stretch en AC-stretch van de kaakspieren.	EMG activiteit kaakspieren(masseter) en suprahyoidale spieren(temporalis).	Geen significant verschil tussen de technieken. Wel was er een significante toename van de EMG activiteit te zien voor beide spieren na de CR-stretch en voor de AC-stretch voor de masseter, maar niet voor de temporalis.
Mitchell et al.(2007)	18 proefpersonen, met een knie-extensie beperking van minimaal 20 graden	CR-stretch en statische stretch van de hamstrings	ROM knie extensie en kracht nodig om te stretchen, 4 trials.	CR-stretch had een significante hogere stretchtolerantie(126N tegenover 108N) en in de 4 trials nam dit progressief toe, wat de 1 ^e en 4 ^e trial een significant verschil gaf. De CR-stretch gaf 17 graden ROM toename.
Mitchell et al.(2009)	18 proefpersonen, met een knie-extensie beperking van minimaal 20 graden	CR-stretch en een CRAC-stretch van de hamstrings.	EMG activiteit van de hamstrings en de quadriceps en ROM van de extensie van de knie.	EMG activiteit hamstrings na CRAC-techniek hoger, en EMG activiteit na CR-techniek significant hoger. Beide technieken gaven significante ROM toename. Tweede contractie in serie hamstrings-quadriceps-hamstrings gaf een significant sterkere contractie.
Mahieu et al.	62	PNF-stretch protocol op basis van HR-AC stretch plantairflexoren en een controlegroep.	Dorsaalflexie ROM, PRT plantairflexoren en stijfheid achillespees.	De dorsaalflexie ROM is in de stretchgroep significant verbeterd, de PRT zakte wel iets, maar niet significant en er was ook geen significant verschil in stijfheid.
Carter et al.(2010)	24 vrouwen	PNF-stretchprotocol van de hamstrings	EMG activiteit van de semitendinosus en de biceps	De EMG activiteit van de semitendinosus veranderde niet na de stretch, de activiteit van de biceps femoris

			femoris tijdens een onverwachte snelle stretch.	verlaagde na de stretch.
Youdas et al.(2010)	35, met een knie-extensie ROM van minder dan 160 graden.	HR-stretch en HR-AC stretch van de hamstrings.	EMG activiteit van de hamstrings en ROM van de knie extensie.	ROM knie extensie bij beide significant beter, bij de HR-AC stretch zelfs significant beter ten opzichte van de HR-stretch. Ook een significante stijging EMG waarde bij de HR-AC stretch.

Tabel 1. Overzicht geïnccludeerde onderzoeken.

Resultaten

Er zijn uiteindelijk 10 artikelen in de studie geïnccludeerd. Hiervan zijn er twee RCT's, zes pre-post test trials en twee reviews. De twee RCT's (Youdas et al.(2010) en Mahieu, de Wilde, Boon en Witvrouw(2009)) en behaalden een score van 5 op de PEDro scorelijst, de kwaliteit hiervan is redelijk. De twee reviews (Sharman, Cresswell en Riek (2006) en Hindle, Whitcomb, Briggs en Hong(2012)) behaalden een slechte score op het Cochrane beoordelingsformulier voor reviews van RCT's.

RCT's

Mahieu et al.(2009) hebben een onderzoek gedaan waarbij er werd onderzocht of een PNF-stretchingsprogramma van 6-weeken een effect heeft op de passive resistive torque (PRT) van de plantairflexoren en op de achillespees stijfheid.

Het volgende onderzoek is uitgevoerd; 62 gezonde proefpersonen werden random verdeeld over een PNF-stretch groep en een controlegroep. Voor het begin van het programma werden de dorsaalflexie ROM, de PRT en de achillespees stijfheid gemeten. Het programma zelf bestond uit het vijf keer herhalen van een CR-AC stretch per dag. De CR-AC stretch bestond uit 15 seconden statisch stretchen, zes seconden de plantairflexoren aanspannen en daarna 15 seconden de dorsaalflexoren dynamisch bewegen.

Aan het eind van de zes weken werden de ROM, PRT en achillespees stijfheid nog een keer gemeten. De onderzoekers vonden de volgende resultaten; gekeken naar ROM behaalde de stretchgroep een significant grotere ROM dan de controlegroep($p=0,002$). Gekeken naar de PRT werd er geen significant verschil gevonden ($p=0,946$). Gekeken naar achillespees stijfheid werd er ook geen significant verschil gevonden($p=0,920$).

De conclusie die de onderzoekers op basis van de resultaten trokken was dat een PNF protocol van 6-weeken een succesvol programma is om de dorsaalflexie ROM te verbeteren, maar dat dit effect niet veroorzaakt wordt door een verlaagde PRT van de plantairflexoren of door een afname van de achillespeesstijfheid. Het komt erop neer dat er geen meetbare structuurveranderingen in de spierpees unit plaats vinden. De onderzoekers suggereren nog wel dat een verhoogde stretchtolerantie een rol zou kunnen spelen.

Youdas et al.(2010) hebben een onderzoek gedaan waarbij twee hypothesen onderzocht werden, namelijk; er is een significant verschil pretest ten opzichte van posttest in knie-extensie ROM voor beide technieken, maar een groter verschil voor de HR-AC techniek en de piekwaardes van de EMG activiteit van de hamstrings zijn posttest verlaagd ten opzichte van pretest.

Het volgende onderzoek is uitgevoerd om deze hypothesen te testen; 35 proefpersonen met verkorte hamstrings (gedefinieerd als een knie-extensie ROM van minder dan 160 graden in 90 graden heupflexie), op het ene been werd de HR-techniek en op het andere been de HR-AC techniek uitgevoerd.

De HR-techniek bestond uit; strekken tot eindpunt – ROM meten – 10 seconden hamstrings aanspannen tegen manuele weerstand – ontspannen en strekken tot nieuw eindpunt – ROM opnieuw meten. De HR-AC techniek bestond uit hetzelfde protocol als de HR-techniek, alleen werd hierbij na het 10 seconden aanspannen van de hamstrings 10 seconden de quadriceps aangespannen en daarna pas gemeten.

EMG signalen van de hamstrings werden bij beide voor een periode van 10 seconden vlak voor en vlak na de stretch gemeten.

De onderzoekers vonden de volgende resultaten; de knie-extensie ROM was voor de HR stretch met gemiddeld 11.4 graden toegenomen ten opzichte van voor de stretch en bij de HR-AC stretch met gemiddeld 15.5 graden. Dit is voor beide een significant verschil ($p=0,001$). Tussen beide stretchtechnieken zit een gemiddeld verschil van 3.9 graden in het voordeel van de HR-AC techniek, deze toename is ook significant groter ($p=0,007$). De EMG activiteit is statistisch significant toegenomen ($p=0,013$) in piekwaardes van de hamstring in de rustperiode na de HR-AC stretch. De conclusie van de onderzoekers op basis van deze resultaten is dat er in hun onderzoek wel een significant verschil in effect tussen de HR en de HR-AC techniek is gevonden, maar dat er niet wordt aangenomen dat er ook echt een verschil is. Deze aanname baseren ze op het 95% betrouwbaarheid interval die op 7 graden is gesteld. In beide groepen verschilt het aantal proefpersonen die deze waarde overschrijdt niet significant van elkaar ($p = 0.07$). Naast deze conclusie is er geen bewijs gevonden dat de neuropsychologische modellen van reciproque inhibitie en Golgi activatie verantwoordelijk zijn voor de ROM toename, er is namelijk juist een EMG activiteit toename geconstateerd in plaats van een EMG activiteit afname van de hamstrings.

Pre-post test trials

Osternig, Robertsen, Troxel en Hansen (1987) hebben een onderzoek gedaan waarbij ze het effect onderzochten van drie veelgebruikte PNF stretchtechnieken op hamstringactiviteit en knie extensie ROM. Het volgende onderzoek is hierbij uitgevoerd; 10 proefpersonen ondergingen drie verschillende stretchtechnieken, namelijk de stretch relax (SR), de contract relax (CR) en de agonist-contract relax (ACR) technieken. De SR-stretch bestond uit een enkele statische stretch van 80 seconden, de CR-stretch bestond uit drie herhaling van vijf seconden hamstring contractie gevolgd door een relaxatie van de hamstring en een manuele stretch, de ACR-stretch bestond uit twee herhalingen van vijf seconden aanspannen van de quadriceps met vijf seconden relaxatie tussendoor. De SR-stretch werd een keer uitgevoerd, de CR en ACR stretches werden vijf keer uitgevoerd. Tijdens de verschillende fasen van de stretches werd de EMG activiteit van de hamstring en de quadriceps gemeten en de knie extensie ROM gemeten.

De onderzoekers vonden de volgende resultaten; tijdens de ACR-stretch nam de EMG activiteit van de hamstring met 8% toe, tijdens de CR-stretch nam de EMG activiteit met 43% toe en tijdens de SR-stretch nam de EMG activiteit met 11% af. De ACR-stretch produceerde 3-6% meer toename in ROM dan de CR en de SR stretches. Daarnaast vond 70-94% van de ROM toename tijdens de CR en de ACR stretches plaats in het eerste gedeelte van de uitvoering, voor de SR-stretch was dit gelijker verdeeld (60-40). De ROM toename tijdens de CR en ACR stretches kon niet gekoppeld worden aan de toename van EMG activiteit van de hamstring tijdens de technieken. De afname in EMG activiteit van de hamstring tijdens de SR-stretch kon wel gekoppeld worden aan de toename van de ROM tijdens de stretch.

De conclusie die de onderzoekers hieraan verbinden is dat de CR en de ACR stretchtechnieken de spier niet laten ontspannen, maar juist onder spanning brengen en dat de SR stretchtechniek wel een ontspanning ten gevolg kan hebben. Ze adviseren dan ook om de SR stretchtechniek uit te voeren, al geeft deze een kleinere ROM toename, omdat dit de veiligere techniek lijkt ten aanzien van blessurepreventie.

Osternig, Robertsen, Troxel en Hansen (1990) hebben een onderzoek gedaan waarbij ze het effect van een statische stretch en twee veel gebruikte PNF stretchtechnieken op de activiteit van de hamstring en de ROM van de knie extensie in een atletische populatie onderzoeken. Het volgende

onderzoek is hierbij uitgevoerd; 30 proefpersonen, waarvan 10 duuratleten (lange afstand renners), 10 hoge intensiteit atleten (sprinters en volleybalspelers) en 10 controle proefpersonen die niet competitief atletiek beoefenden, ondergingen drie stretchtechnieken. Een 80 seconden statische stretch van de hamstrings, een CR-stretch bestaande uit vijf seconden aanspannen van de hamstring en vijf seconden stretchen twee keer achter elkaar uitgevoerd en een ACR -stretch bestaande uit vijf seconden aanspannen van de quadriceps gevolgd door 5 seconden relaxatie twee keer achter elkaar uitgevoerd. Tijdens de trials werden de ROM van de knie extensie en de EMG activiteit van de hamstrings gemeten in twee fasen.

De onderzoekers vonden de volgende resultaten; 64% (CR), 81%(SR) en 84%(ACR) van de totale ROM toename per techniek vonden plaats in de eerste fase van de trials. De ACR-stretch produceerde een significant grotere hamstringactiviteit (89-109%, $p < 0.05$) dan de andere technieken voor de duuratleten en controlegroep. Ondanks dit produceerde de ACR-stretch ook een significant grotere ROM toename van de knie extensie (9-13%, $p < 0.05$) ten opzichte van de statische en de CR stretches. Er was geen direct verband te vinden tussen de EMG activiteit en de toename in ROM. De verschillende groepen sporters met elkaar vergeleken zaten de ROM toenames van de hoge intensiteit atleten en de controle proefpersonen dicht bij elkaar, terwijl de duursporters significant minder ($p < 0.05$) toename in ROM hadden.

De conclusie die de onderzoekers trekken uit de resultaten is dat de meeste ROM toename al bij een enkele stretch optreedt en dat de toevoeging van een tweede stretch gering is. Daarnaast stellen de auteurs dat een toename in de ROM van het gewricht niet sterk samenhangt met een afname van activiteit van de spier, maar dat er waarschijnlijk andere factoren zijn die belangrijk zijn in het behalen van een toename in de ROM van een gewricht. Als laatste geven de auteurs nog aan dat de gevonden activatie in plaats van de verwachtte inhibitie van de spieren een stabiliserende werking over het gewricht kan hebben tijdens het stretchen en dat de activatie dus een functionele rol kan spelen tijdens het stretchen.

Carter, Kinzey , Chitwood en Cole(2000) hebben een onderzoek gedaan waarbij er werd onderzocht of de PNF stretch de activiteit van de hamstring tijdens een snelle verlenging beïnvloed.

Het volgende onderzoek is uitgevoerd om dit te onderzoeken; 35 gezonde proefpersonen werden verdeeld over een PNF stretch groep en een controlegroep. EMG materiaal werd geplaatst op de m. biceps femoris en de m. semitendinosus, hierna werden de proefpersonen vastgemaakt aan een apparaat die drie onverwachte stretches toediende. Daarna kregen de patiënten in de controlegroep vijf minuten rust, waarna de drie onverwachte stretches opnieuw toegediend werden. De PNF-groep onderging in die vijf minuten een kort PNF stretch protocol bestaand uit een 30 seconden statische stretch gevolgd door een aanspanning van de hamstrings voor 7 seconden. Dit werd drie keer achter elkaar herhaald zonder rust. Na dit protocol werden de drie onverwachte stretches weer opnieuw toegediend. Het hele onderzoek werd de EMG activiteit van de biceps femoris en de semitendinosus gemeten.

De onderzoekers vonden de volgende resultaten; De PNF stretch had geen invloed op de EMG activiteit van de semitendinosus ($p = 0.35$), maar na de PNF stretch was er een verlaging in EMG activiteit te zien van de biceps femoris als respons op de onverwachte stretch en deze verlaging was significant($p = 0.04$).

De conclusie die de onderzoekers trekken uit de gevonden resultaten is dat de PNF-stretch op de hamstring een verlaging van de activiteit van de biceps femoris teweeg brengt tijdens een snelle stretch en dat dit waarschijnlijk te wijten is aan een desensitisatie van de spiervezels op basis van

autogene inhibitie door de Golgi Tendon Organs (GTO's). Ze raden dan ook af om de hamstring te stretchen voor een activiteit waar een onverwachte stretch op de hamstring komt te staan, omdat dit de kans op een blessure zou kunnen vergroten.

Olivo en Magee(2005) hebben een onderzoek gedaan waarbij werd onderzocht of de CR-stretch en de AC-stretch voor relaxatie van de kaakspieren zorgen. Het volgende onderzoek is hierbij uitgevoerd; 30 proefpersonen, zonder problemen aan het gebit, ondergingen links en rechts beide technieken. De CR techniek bestond uit 10 seconden maximaal aanspannen van de kaakspieren door op een stuk rubber te bijten en de AC techniek bestond uit 10 seconden aanspannen van de suprahyoidale spieren op 30%. Voor toepassing van de techniek werd de EMG activiteit gemeten en meteen na toepassing van de techniek ook. Tussen toepassing van de technieken zat een rustperiode, waarin werd gewacht tot de EMG activiteit weer terug was op het niveau van de baseline meting in het begin.

De onderzoekers vonden de volgende resultaten; Er werd geen significant verschil tussen het testen van links en rechts gevonden ($p > 0.05$), vandaar dat er door de onderzoekers werd besloten de waardes van beide zijdes samen te voegen. Analyse van deze resultaten liet zien dat er geen significant verschil in EMG activiteit was tussen beide technieken ($p = 0.241$) en tussen beide spieren ($p = 0.921$). Wel was er een significante toename van de EMG activiteit te zien voor beide spieren na de CR techniek (masseter $p = 0.003$, temporalis $p = 0.009$) en voor de AC techniek voor de masseter, maar niet voor de temporalis (masseter $p = 0.002$, temporalis $p = 0.213$).

Naar aanleiding van deze resultaten stellen de onderzoekers dat in het onderzoek is gebleken dat de AC-stretch en de CR-stretch geen spierontspanning veroorzaken en dat deze technieken voor deze toepassing dan ook niet worden ondersteund. De neurofysiologische mechanismen die werden verondersteld de ontspanning te veroorzaken (reciproque inhibitie en autogene inhibitie) worden door dit onderzoek niet ondersteund. De onderzoekers geven verder aan dat het kan zijn dat deze mechanismen wel hebben plaatsgevonden, maar dat ze zijn gemaskeerd door andere complexe neurofysiologische mechanismen.

Mitchell, Myrer, Hopkins, Hunter, Feland en Hilton (2009) hebben een onderzoek gedaan waarbij werd onderzocht of de eerder beschreven neurofysiologische mechanismen van reciproque inhibitie en autogene inhibitie verantwoordelijk zijn voor de het succes van de PNF-stretch met betrekking tot ROM toename. Daarnaast werd ook het bestaan van successieve inductie, oftewel het faciliteren van de agonist na contractie van de antagonist, ter ondersteuning van de reciproque inhibitie onderzocht. Het volgende onderzoek is hierbij uitgevoerd; 18 proefpersonen (waarvan 16 man) met verkorte hamstrings, gedefinieerd als meer dan 20 graden beperking naar knie-extensie in 90 graden heupflexie, ondergingen een CR-stretch en een CRAC-stretch. De CR-stretch bestond uit zes seconden aanspannen van de hamstring gevolgd door 10 seconden passief stretchen, dit werd vier keer herhaald met 20 seconden pauze tussendoor. De CRAC-stretch bestond uit vijf seconden aanspannen van de quadriceps, gevolgd door zes seconden aanspannen van de hamstring en weer 10 seconden aanspannen van de quadriceps. Dit werd vier keer herhaald met 20 seconden pauze tussendoor. EMG activiteit van de quadriceps en de hamstrings en ROM van de knie extensie werden voor tijdens en na de stretches gemeten.

De onderzoekers vonden de volgende resultaten; reciproque inhibitie werd bij geen van beide technieken waargenomen, de EMG activiteit van de hamstrings was tijdens het aanspannen van de quadriceps zelfs hoger dan ervoor. Successieve inductie werd wel waargenomen tijdens de CRAC-stretch, dit houdt in dat elke tweede contractie in de serie quadriceps-hamstrings-quadriceps sterker

was dan de eerste contractie, dit was zelfs significant zo ($p = 0.03$). Autogene inhibitie werd niet waargenomen, vlak na de CR-stretch was er namelijk een significant hogere EMG activiteit waar te nemen ($p = 0.016$). De gemiddelde ROM toename was voor de CR-stretch 17.3 graden en voor de CRAC-stretch 10.7 graden.

De conclusie die de auteurs hieruit trekken is dat er geen reciproque inhibitie plaatsvindt tijdens de CRAC stretch, maar dat er juist een cocontractie van de hamstring plaatsvindt ter stabilisatie van de heup tijdens de stretch. Verder is er tijdens de CRAC techniek successieve inductie waargenomen wat het gebruik van de PNF techniek 'reversal of antagonists' ondersteund, omdat het de contractie van de spier faciliteert. Dat de traditionele neuropsychologische mechanismen, de reciproque en autogene inhibitie, verantwoordelijk zijn voor de ROM toename door de PNF stretchtechnieken wordt in twijfel getrokken door de onderzoekers op basis van hun onderzoek.

Mitchell et al.(2007) hebben een onderzoek gedaan waarbij werd onderzocht of de verandering van de stretchtolerantie verantwoordelijk kan zijn voor de ROM toename van de CR-stretch. Het volgende onderzoek is hierbij uitgevoerd; 18 proefpersonen met een beperking van minimaal 20 graden knie extensie (met de heup in 90 graden) ondergingen twee verschillende stretches op twee verschillende dagen, de slow stretch en de CR-stretch. De slow stretch bestond uit 1 trial van 40 seconden passief stretchen. De CR-stretch bestond uit vier trials van zes seconden aanspannen en 10 seconden passief rekken, tussen elke trial zat 20 seconden rust. Het punt waarop de stretch vastgehouden werd was gedefinieerd als 'een 4 op een schaal van 10 aan ongemak door de patiënt aangegeven'. Met een dynamometer werd de kracht die tijdens de stretch werd toegepast gemeten en de knie extensie ROM werd ook gemeten.

De onderzoekers vonden de volgende resultaten; De CR-stretch had een significant hogere ($p = 0.00086$) stretchtolerantie (126N) dan de slow stretch (108N). Daarnaast nam de stretchtolerantie over de vier trials progressief toe, dit gaf een significant verschil ($p = 0.035$) in krachtapplicatie tussen de eerste en de vierde trial, wat inhoudt dat de hoeveelheid kracht die bij elke trial werd toegediend om tot eenzelfde stretchgevoel te komen per trial progressief toenam. De CR-stretch gaf een toename in ROM van gemiddeld 17 graden.

De conclusie die de onderzoekers hieruit trekken is dat hun onderzoek het bewijs dat de verandering van de stretchtolerantie een grote bijdrage heeft in de ROM toename tijdens de CR-stretch ondersteund. Deze bijdrage gebeurt waarschijnlijk via het verhogen van de pijngrens. Daarnaast raden de auteurs aan om minimaal 4 herhalingen van de stretch achter elkaar uit te voeren om gebruik te kunnen maken van de progressieve toename van stretchtolerantie.

Reviews

Sharman et al.(2006) hebben een literatuuronderzoek gedaan waarbij er onderzoek werd gedaan naar verschillende onderwerpen betreffende de PNF stretches. De twee hoofdpunten die onderzocht werden waren het achterliggende mechanisme en de aanbevelingen die worden gedaan in de literatuur voor uitvoering van de stretch.

Het volgende is door de onderzoekers gevonden betreffende het achterliggende mechanisme; lang werd gedacht dat autogene inhibitie voor een groot deel verantwoordelijk was voor de toename in ROM na de PNF stretch, dit onder invloed van de Golgi Tendon Organs (GTO's). De literatuur die de auteurs hebben bestudeerd trekt dit in twijfel, omdat er alleen tijdens de contractie een activiteit van de GTO's werd waargenomen en de activiteit na de contractie erg laag of zelfs afwezig was. De auteurs stellen dat het lijkt of autogene inhibitie niet verantwoordelijk is voor de ROM toename na de PNF-stretch.

Naast autogene inhibitie werd ook reciproque inhibitie als een mogelijk mechanisme genoemd in de literatuur. In de bestudeerde literatuur door de onderzoekers kwam naar voren dat er geen afname van de activiteit is en dat er ten opzichte van een statische stretch geen verschil of juist een toename van de EMG activiteit zichtbaar is. De onderzoekers stellen op basis hiervan dat er geen overtuigend bewijs is dat reciproque inhibitie wel verantwoordelijk is voor de ROM toename.

Een ander mechanisme wat ook nog wel eens wordt beschreven is veranderingen in de visco-elastische component van de spier. In de artikelen die de onderzoekers hebben bestudeerd kwam naar voren dat de passieve torque en de stijfheid van de spier toenemen, maar dat deze verandering maar tot een uur na het stretchen aanwezig zijn. Er is volgens de onderzoekers dan ook geen bewijs dat veranderingen in de visco-elastische component van de spier verantwoordelijk zijn voor langdurige toename in de ROM.

De drie bovenstaande mechanismen zijn naar de gevonden resultaten gekeken niet verantwoordelijk voor de toename in ROM en vandaar dat er dan ook aan een ander mechanismen door de onderzoekers wordt voorgesteld, namelijk een verandering in de stretchperceptie of stretchtolerantie van de spier. Dit kan misschien plaatsvinden door een onderbreking in pijntransmissie, verder onderzoek is vereist.

Hindle et al.(2012) hebben een literatuuronderzoek gedaan waarvan het doel was, het onderzoeken van de mogelijke mechanismen, theorieën en fysiologische veranderingen die optreden na toepassing van de proprioceptieve neuromusculaire facilitatie technieken. In hun onderzoek worden vier mogelijke mechanismen geïdentificeerd, namelijk; autogene inhibitie, reciproque inhibitie, stress relaxatie en de gate control theorie. Bij elk van de theorieën speelt er een reflex van de GTO's mee en met elk van de theorieën kan de ROM toename die optreedt bij de PNF technieken eventueel verklaard worden.

De onderzoekers hebben gevonden dat autogene inhibitie een grote rol speelt bij het inhiberen van spiervezels, maar dat de duur en zelfs de activatie van de GTO's die hierbij nodig is, twijfelachtig is. Studies laten zien dat het inhiberende signaal die de GTO's afgeven na contractie erg laag of zelfs afwezig is. De onderzoekers vinden dit niet raar, omdat er bij spieractivatie normaal ook een beweging optreedt en de inhibitie zou dan juist averechts werken. Meer onderzoek zal gedaan moeten worden om dit mechanisme uit te kunnen sluiten.

Verder is er in het onderzoek naar voren gekomen dat reciproque inhibitie in de antagonist wel degelijk optreedt, maar hoe lang de reflex aanblijft was niet te vinden. Om vast te kunnen stellen of reciproque inhibitie verantwoordelijk is voor het effect van PNF moet hier meer onderzoek naar gedaan worden.

Het derde mechanisme wat is onderzocht is de stress relaxatie. Dit is een mechanisme wat optreedt als de spierpees unit(MTU) onder een constante stretch staat. De kracht die de MTU genereert om de stretch tegen te gaan verminderd, waardoor de capaciteit van de MTU om de stretch te weerstaan verminderd en de MTU langzaam in lengte toeneemt. Aan de lengtetoeename zit een limiet, hoe langer de MTU wordt, hoe stijfer de spier en hoe hoger de passieve torque wordt. Als de lengtetoeename net begint toe te nemen is er een periode waarin de stijfheid en de passieve torque juist lager zijn, dit is een beschermingsmechanisme van de spier tegen scheuren. De onderzoekers hebben in de literatuur gevonden dat vooral de verandering in de passieve torque verantwoordelijk is voor de lengtetoeename, maar dat deze verandering maar kortdurend is, namelijk tussen de 80 seconden tot een uur. De onderzoekers stellen dan ook dat het lijkt alsof dit mechanisme ook niet verantwoordelijk is voor de ROM toename bij PNF stretchen, maar aanvullend onderzoek is vereist.

Het laatste mechanisme wat is onderzocht is de gate control theorie. Dit mechanisme vindt plaats als er twee stimuli tegelijkertijd hun receptoren activeren (bijvoorbeeld pijn en druk), de drukreceptoren zitten vast aan gemyeliniseerde zenuwvezels en de pijnreceptoren aan ongemyeliniseerde zenuwvezels. Beide zenuwvezels lopen naar hetzelfde interneuron, maar het signaal dat via de gemyeliniseerde zenuwvezels loopt komt eerder aan, waardoor er een inhibitie van het pijnsignaal plaatsvindt in de achterhoorn van het ruggenmerg, waar het interneuron ligt. De onderzoekers vinden dit mechanisme een twijfelachtige uitleg voor de ROM toename door de PNF techniek. Toegepast op de CR-stretch en CRAC-stretch claimt deze theorie namelijk dat de GTO's worden geactiveerd ter bescherming van de spier. Dit treedt op door de contractie, die signalen geven die de GTO inhibitie ten gevolg hebben. Zoals aangegeven is de rol die de GTO speelt klein of helemaal niet aanwezig en dan zou dit mechanisme dus ook niet verantwoordelijk zijn voor de ROM toename. Verder onderzoek is wel vereist.

Discussie

Zoals beschreven in de inleiding werd er traditioneel uitgegaan van twee mechanismen die ten grondslag liggen aan de ROM toename door PNF stretchtechnieken, de autogene inhibitie en de reciproque inhibitie, maar zijn er recentelijk twijfels ontstaan of deze mechanismen wel verantwoordelijk zijn voor de gevonden ROM toename.

Betreffende deze twee mechanismen is het volgende gevonden in de bestudeerde literatuur; Osternig et al.(1987) en Osternig et al.(1990) hebben een verhoogde EMG activiteit gevonden na verschillende PNF stretchtechnieken in hun onderzoek en stellen hierbij dat de ROM toename in het gewricht niet sterk samenhangt met een afname in activiteit van de spier, maar dat waarschijnlijk andere factoren hiervoor verantwoordelijk zijn. Wat Osternig et al.(1990) verder nog aangeven is dat de gevonden verhoogde activiteit een functionele rol kan spelen als stabilisatie over het gewricht. Olivo et al.(2005) vonden ook een verhoogde EMG activiteit van hun target spier na twee PNF stretchtechnieken en stellen hierbij dat de neurofysiologische mechanismen die werden verondersteld de ontspanning te veroorzaken (autogene inhibitie en reciproque inhibitie) door hun onderzoek niet ondersteund worden. Verder geven de auteurs aan dat deze mechanismen wel plaats kunnen hebben gevonden, maar gemaskeerd kunnen zijn door ander complexe neurofysiologische mechanismen. Mitchell et al. (2009) ondersteunen de voorgaande onderzoeken met hun onderzoek. Deze auteurs hebben namelijk ook geen reciproque inhibitie of autogene inhibitie kunnen waarnemen, maar juist een verhoogde EMG activiteit van hun target spier. Net als Osternig et al.(1990) stellen de auteurs ook dat tijdens de CRAC-stretchnde verhoogde activiteit een stabiliserende werking over de heup kan hebben. Youdas et al.(2010) hebben ook als resultaat uit hun onderzoek juist een verhoogde EMG activiteit gevonden en stellen deze auteurs dat er op basis van deze resultaten in hun onderzoek geen bewijs is gevonden voor de aanwezigheid van reciproque inhibitie of autogene inhibitie, omdat er dan juist een verlaagde EMG activiteit waargenomen had moeten worden.

Carter et al.(2000) hebben in hun onderzoek gevonden dat de activiteit van de target spier als reactie op een snelle, onverwachte stretch lager is na PNF stretchen dan daarvoor. De onderzoekers wijten dit resultaat aan een desensitisatie van de spiervezels op basis van autogene inhibitie, de auteurs van dit artikel zijn dan ook de enigen die de autogene inhibitie ondersteunen.

Vijf van de 10 bestudeerde onderzoeken geven aan dat de twijfels die zijn ontstaan met betrekking tot de autogene inhibitie en de reciproque inhibitie gegrond zijn, één artikel ondersteund deze twijfels niet, hierin is namelijk wel bewijs gevonden voor autogene inhibitie na de PNF stretchtechnieken .

Gekeken naar bovenstaande resultaten kan men tot de conclusie komen dat er geen bewijs is dat een of beide van de mechanismen verantwoordelijk is voor de ROM toename na PNF stretchen. Sharman et al.(2006) en Hindle et al.(2012) hebben een literatuuronderzoek gedaan naar het mechanisme achter PNF. Beide reviews zijn van slechte kwaliteit beoordeeld met het Cochrane beoordelingformulier voor reviews van RCT's. Ondanks de slechte kwaliteit hebben beide ook geen bewijs in de literatuur kunnen vinden voor autogene inhibitie en reciproque inhibitie. Wel wordt nog aangegeven dat er aanvullend onderzoek vereist is om echt een conclusie te kunnen trekken.

Naast de twee traditionele mechanismen wordt er in de literatuur ook nog een ander mechanisme beschreven dat verantwoordelijk kan zijn voor de ROM toename na PNF stretchen; passieve veranderingen in de spierpeesovergang. Zoals beschreven zijn ook hier twijfels over de verantwoordelijkheid voor de gevonden ROM toename ontstaan. Betreffende dit mechanisme is het

volgende gevonden in de bestudeerde literatuur; Mahieu et al.(2007) hebben in hun onderzoek geen significant verschil gevonden in passive resistive torque(PRT) en in achillespeesstijfheid. Er konden geen meetbare structuurveranderingen gevonden worden in de spierpeesunit en passieve veranderingen in de spierpeesovergang kunnen volgens de onderzoekers dan ook niet verantwoordelijk zijn voor de ROM toename.

De twee bestudeerde reviews, Sharman et al.(2006) en Hindle et al.(2012) hebben ook onderzoek gedaan in de literatuur naar de passieve veranderingen in de spierpeesovergang. Beide reviews hebben gevonden dat er wel een toename is in passieve torque, maar dat deze verandering maar kortdurend is, namelijk tussen de 80 seconden en een uur. Volgens beide groepen auteurs kan dit mechanisme dus niet verantwoordelijk zijn voor de langdurige ROM toename na PNF strechen. Er zijn van de 10 gebruikte artikelen drie artikelen (waarvan twee van slechte kwaliteit) die alle drie stellen dat passieve veranderingen in de spierpeesovergang niet verantwoordelijk zijn voor de ROM toename na PNF stretchen.

De bovenstaande drie mechanismen worden in twijfel getrokken en zoals al eerder aangegeven is er een ander mechanisme wat nu wordt aangewezen als mechanisme dat ten grondslag ligt aan de effecten die optreden na het PNF stretchen; een veranderde stretchperceptie. Sharman et al.(2006) en Mahieu et al.(2009) beschrijven de veranderde stretchperceptie beide in hun conclusie als een mogelijk mechanisme. Mitchell et al.(2007) hebben in hun onderzoek gevonden dat de target spier na een PNF stretch een hogere stretchtolerantie heeft dan na een statische stretch, daarbij vonden de auteurs ook dat deze verandering progressief toenam. De auteurs concluderen dat hun onderzoek het bewijs, dat een verandering van de stretchtolerantie verantwoordelijk is voor de ROM toename na een PNF stretch, ondersteund.

Van de 10 artikelen zijn er dus twee artikelen waarin de stretchtolerantie als mogelijk verantwoordelijk mechanisme wordt beschreven en is er een artikel waarin dit ondersteund wordt.

Conclusie

Dit literatuuronderzoek ondersteund de recentelijke aannames die zijn gedaan in de literatuur, namelijk dat autogene inhibitie, reciproque inhibitie en passieve veranderingen in de spierpeesovergang niet de mechanismen zijn die verantwoordelijk zijn voor de bewezen ROM toename na het toepassen van PNF stretchtechnieken. Daarnaast lijkt het ook of het mechanisme wat nu verantwoordelijk wordt geacht voor de ROM toename, een veranderde stretchtolerantie, ook echt hiervoor verantwoordelijk kan zijn.

Wat wel duidelijk naar voren komt uit het onderzoek is dat verder onderzoek naar alle vier de mechanismen vereist is, want er zijn nog te weinig onderzoeken gedaan naar het onderwerp om een conclusie uit de gevonden resultaten te kunnen trekken en de kwaliteit van vooral de reviews die zijn gedaan betreffende dit onderwerp is slecht.

Bronnen

- Carter A.M. , Kinzey S.J. , Chitwood L.F. , Cole I.L. , (2000). Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Decreases Muscle Activity During the Stretch Reflex in Selected Posterior Thigh Muscles. *J Sport Rehabil*, 9, 269-278.
- Chow T.P.Y & Gabriel Y.F., (2009). Active, passive and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching are comparable in improving the knee flexion range in people with total knee replacement: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 24, 911–918.
- Gonzales Rave J.M. , Sanchez-Gomez A. , Santos-Garcia D.J. , (2012) Efficacy of two different stretch training programs (passive vs. proprioceptive neuromuscular facilitation) on shoulder and hip range of motion in older people. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 1045–1051.
- Hindle K.B. , Whitcomb T.J. , Briggs W.O. en Hong J. (2012). Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF): Its Mechanisms and Effects on Range of Motion and Muscular Function. *Journal of Human Kinetics*, 31, 105-113.
- Magnusson P.S. , Simonsen E.B. , Aagaard P. , Dyhre-Poulsen P. , McHugh M.P. , Kjaer M. , (1996). Mechanical and Physiological Responses to Stretching With and Without Preisometric Contraction in Human Skeletal Muscle. *Arch Phys Med Rehabil*, 77, 373-378.
- Mahieu N.N. , Cools A. , De Wilde B. , Boon M. , Witvrouw E. , (2009) Effect of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on the plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Scand J Med Sci Sports* , 19, 553–560.
- Mitchell U.H. , Myrer J.W. , Hopkins J.T. , Hunter I. , Feland J.B. , Hilton S.C. , (2007) Acute Stretch Perception Alteration Contributes to the Success of the PNF “Contract-Relax” Stretch. *Journal of Sport Rehabilitation*, 16, 85-92.
- Mitchell U.H. , Myrer J.W. , Hopkins J.T. , Hunter I. , Feland J.B. , Hilton S.C. , (2009). Neurophysiological Reflex Mechanisms’ Lack of Contribution to the Success of PNF Stretches. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18, 343-357.
- O’Hora J. , Cartwright A. , Wade C.D. , Hough A.D. , Shum G.L.K. , (2011). Efficacy of static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation stretch on hamstrings length after a single session. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1586-1591.
- Olivo S.A. en Magee D.J. (2005). Electromyographic assessment of the activity of the masticatory using the agonist contract–antagonist relax technique (AC) and contract–relax technique (CR). *Manual Therapy*, 11, 136–145.
- Osternig L.R. , Robertsen R.N. , Troxel R.K. , Hansen P. , (1987). Muscle activation during proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretching techniques. *American Journal of Physical Medicine*, 66(5), 298-307.
- Osternig L.R. , Robertsen R.N. , Troxel R.K. , Hansen P. , (1990). Differential responses to proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretch techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(1), 106-111.
- Puente-dura E.J. , Huijbregts P.A. , Celeste S. , Edwards D. , In A. , Landers M.R. , Fernandez-de-las-Penas C. , (2011) Immediate effects of quantified hamstring stretching: Hold-relax proprioceptive neuromuscular facilitation versus static stretching. *Physical Therapy in Sport*, 12, 122-126.

- Sharman M.J. , Cresswell A.G., Riek S. , (2006) Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching Mechanisms and Clinical Implications. *Sports Med*, 36(11), 929-939.
- Westwater-Wood S., Adams N., Kerry R., (2010). The use of proprioceptive neuromuscular facilitation in physiotherapy practice. *Physical Therapy Reviews*, 15(1), 23-28.
- Youdas J.W. , Haefflinger K.M. , Kreun M.K. , Holloway A.M. , Kramer C.M. , Hollman J.H. , (2010). The efficacy of two modified proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques in subjects with reduced hamstring muscle length. *Physiotherapy Theory and Practice*, 26(4), 240–250.