



Het nut van stretchen bij wielrennen en hardlopen



Victor Niemeijer

Het nut van stretchen bij wielrennen en hardlopen

Literatuurstudie naar de effecten
van sportstretchen van de hamstringspieren
op blessures, prestatie en spierpijn

V.M. Niemeijer
I983384
Universiteit Maastricht
Faculteit der gezondheidswetenschappen
8 September 2004

Vakgroep bewegingswetenschappen
begeleider: Dr. Kenneth Meijer

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	1
2	Sportstretchen	2
2.1	Uitvoeringsvormen	3
2.1.1	<i>Statisch stretchen</i>	4
2.1.2	<i>Ballistisch stretchen</i>	4
2.1.3	<i>Proprioceptieve neuromusculaire facilitatie</i>	5
2.2	Duur van stretchen en aantal herhalingen.....	5
2.3	Tijdstip van stretchen.....	6
3	Eigenschappen van de spier-peesunit.....	6
3.1	Visco-elasticiteit.....	7
3.2	Effecten van stretchen op visco-elastische eigenschappen.....	1
3.3	Verklaring van de effecten op visco-elastische eigenschappen	10
4	Het effect van stretchen.....	11
4.1	Blessurepreventie	11
4.1.1	<i>Ontstaan van blessures</i>	12
4.1.2	<i>Invloed van stretchen op het ontstaan van blessures</i>	13
4.1.3	<i>Invloed van stretchen op het herstellen van blessures</i>	1
4.2	Prestatieverbetering	15
4.3	Spierpijnreductie	18
5	Het nut van stretchen	20
5.1	Blessurepreventie	20
5.2	Prestatieverbetering	21
5.3	Spierpijnreductie	22
6	Verschillen tussen wielrennen en hardlopen	23
7	Alternatieven voor stretchen	25
8	Conclusie	26
	Samenvatting	27
	Literatuur	28
	Bijlage 1 Figuren	32
	Bijlage 2 Figuren	1

Figuren voorpagina: http://www.roadrunnersjoure.nl/rekken_en_strekken.htm
<http://ww.3vo-flevoland.nl/regels.htm>
<http://ww.ltscotland.com/healthykids/resources/running.gif>

1 Inleiding

Veel sporters hebben het op lengte brengen van de spieren, ook wel stretchen genoemd, als een ritueel in de beoefening van hun sport ingepast. Dit wijdverbreide gebruik is echter pas tijdens de jaren zeventig uit de Verenigde Staten van Amerika op komen zetten, samen met het toen in Europa populair wordende yoga⁷. Sinds die tijd zijn er veel beweringen gedaan over de voordelen van stretchen. Zo zou stretchen blessures kunnen voorkomen, de prestatie kunnen verbeteren en spierpijn kunnen verminderen. En ondanks het gebrek aan wetenschappelijke onderbouwing van die beweringen werd het verhaal van de voorstanders van stretchen beter geloofd dan dat van de tegenstanders.

In de wetenschappelijke wereld heeft jarenlang een strijd gebloeid die eigenlijk pas in 2002 is losgebarsten. Een aantal medische publicaties haalden toentertijd de kranten met het nieuws dat stretchen geen nut had^{4, 7, 8}. Sindsdien zijn er twee kampen waarvan één het stretchen kiest te zien als een onnodig aangeleerd onderdeel van sport dat geen kwaad kan, maar ook geen bewezen nut heeft^{9, 10}. En het andere kamp kiest ervoor het stretchen te blijven promoten met als argument dat het werkelijke nut slechts door zeer grote en methodologisch ingewikkelde onderzoeken kan worden vastgesteld¹¹. 'Rekken en strekken is kleppen bij de hekken', zo heeft voetbaltrainer Co Adriaanse het verschijnsel van stretchen ooit geformuleerd, waarbij hij waarschijnlijk doelt op de meer sociaal en mentaal ontspannen sfeer bij stretchen⁷. Het NOC*NSF stelt daarentegen dat stretchen 'nog steeds' een onderdeel behoort te zijn van elke training en wedstrijdvoorbereiding^{9, 10}. Deze verschillen in opvattingen illustreren hoe de strijd in de wetenschappelijke wereld in de sportwereld doorgedrongen is. Waarschijnlijk komt daar nog bij dat sommige trainers en sporters geen effecten van stretchen in de praktijk zien, terwijl anderen dat weer wel doen. Dit werkstuk is geen poging om een einde te maken aan de discussie of stretchen nut heeft, maar meer een beschrijving van de staat van kennis over stretchen en hoe die kennis kan worden toegepast in de sport. Daarbij zal als voorbeeld worden gekeken naar wielrennen en hardlopen, omdat een gefundeerde toepassing van stretchen bij dergelijke veel beoefende sporten een mogelijk aantoonbaar verschil zou kunnen uitmaken in kostbare blessures, verbetering van prestaties en het voorkomen van spierpijn.

Uit het oogpunt van eenvoud en overzichtelijkheid is gekozen voor het bepalen van het effect van stretchen van de hamstringspieren. Deze spiergroep komt frequent voor in stretchregimes en er zijn veel artikelen met betrekking tot het stretchen van deze spier gepubliceerd¹²⁻¹⁵. Bovendien is deze spiergroep bij sportbeoefenaars vaker getroffen door blessures dan andere spiergroepen¹⁶, levert het een grote bijdrage aan de beweging van

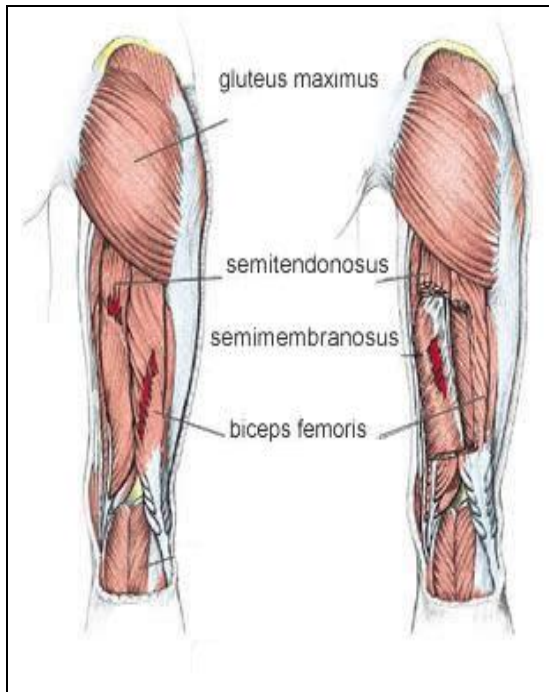
zowel hardlopen als wielrennen^{2, 17} en is het de spiergroep van onderwerp bij onderzoeken naar spierpijn⁴.

De probleemstelling luidt derhalve; *'wat is het nut van sportstretchen van de hamstringspieren voor blessurepreventie, prestatie en spierpijn?'*

Voor het beantwoorden van deze probleemstelling zal in hoofdstuk twee worden besproken wat er precies onder stretchen wordt verstaan, vervolgens welke uitvoeringsvormen er zijn en daarna hoe vaak en lang en op welk moment van de training deze kunnen worden toegepast. In hoofdstuk drie komt aan de orde wat de voor stretchen relevante eigenschappen van de menselijke skeletspier zijn. In het vierde hoofdstuk worden, aan de hand van het theoretisch kader van hoofdstuk drie, de effecten van stretchen op de spier besproken. Het vijfde hoofdstuk behandelt het in de praktijk gevonden nut van stretchen op blessures, prestatie en spierpijn. Voor elk onderwerp wordt in hoofdstuk zes het nut bij wielrennen vergeleken met het nut bij hardlopen. Hoofdstuk zeven behandelt kort enkele mogelijke alternatieven voor stretchen. Ten slotte bevat hoofdstuk acht de conclusie wat betreft het nut van stretchen en het gehele werkstuk wordt tenslotte in de samenvatting verkort weergegeven.

2 Sportstretchen

Stretchen is in het Nederlands vertaald 'rekken' of 'strekken', wat zoveel wil zeggen als het langer worden door trekking of spanning¹⁸. In het kader van sportbeoefening valt het onder de lenigheidsoefeningen en/of de flexibiliteitstraining^{14, 15}. Spieren worden hierbij door een bepaalde houding aan te nemen met een maximale lengte tussen origo en insertie op spanning gehouden zonder dat daarbij pijn wordt ervaren¹⁹. Een maat voor deze maximale lengte is statische flexibiliteit, wat de maximale bewegingsuitslag (range of motion; ROM) van een gewricht of een combinatie van gewrichten is^{14, 15, 20, 21}. Niet slechts de lengte van een spier over een gewricht, maar ook pezen, ligamenten en botstructuren bepalen de bewegingsuitslag van een gewricht^{5, 13, 19}. De beperking van bewegingen in een gewricht door ligamenten en botstructuren wordt echter laxiteit genoemd en men veronderstelt dat dit door stretchen niet beïnvloed kan worden²¹. In het volgende hoofdstuk zullen daarom de eigenschappen van voor stretchen belangrijke structuren, namelijk de spier met pees (de zogenaamde spier-peesunit), nader worden uitgelegd. Voor de eenvoud is de vraagstelling van dit werkstuk beperkt gebleven tot slechts één spiergroep, namelijk de hamstringspieren. Dit zijn de M. biceps femoris, de M. semimembranosus en de M. semitendinosus (figuur 1), welke alle drie de oorsprong op het tuber ischiadicum hebben.



Figuur 1 Spieren van de hamstringgroep

http://www.physioroom.com/injuries/leg/hamstring_full.shtml

De M. biceps femoris hecht aan op de fibula en de M. semimembranosus en de M. semitendinosus hechten aan op de tibia. De functie van de spiergroep is flexie van het onderbeen in het kniegewricht en extensie van het bovenbeen in het heupgewricht²². Het overspannen van twee gewrichten maakt de spier bi-articulair. Het verkrijgen van een maximale lengte wordt daarom niet door de bewegingsuitslag van één gewricht beperkt. De onderwerpen die in de volgende paragrafen worden besproken hebben enkel betrekking op de hamstringspieren en zijn daarom mogelijk niet extrapoleerbaar naar andere spiergroepen.

2.1 Uitvoeringsvormen

Er bestaan vier vormen van stretchen; statisch, ballistisch, contract-release en contract-release-antagonist-contract. De laatste twee behoren tot de methode van de proprioceptieve neuromusculaire facilitatie (PNF)²³. De stretchvormen zullen hieronder nader worden uitgelegd.

Verder bestaan er meerdere houdingen van waaruit de hamstrings gestretcht kunnen worden. In onderzoek is onderscheid gemaakt tussen de anterior pelvic tilt (APT) en de posterior pelvic tilt (PPT). In een staande houding wordt het te stretchen been horizontaal gehouden met ondersteuning van de hiel (bijvoorbeeld een tafel), zodat bij de APT de hamstring op spanning komt door het bovenlichaam naar voren te bewegen met behoud van de lumbale lordose. Bij de PPT gebeurt dit door de kin naar de knie te brengen zonder behoud van de lumbale lordose (hurdler's stretch). De eerst genoemde vorm bleek effectiever in het vergroten van de ROM²⁴. In onderzoeken naar effectiviteit van stretchen worden zowel de APT^{17, 25} als de PPT^{26, 27} gebruikt, alsook 'varianten' op de methode van Anderson en Burke (een zittende 'hurdler's stretch' met het niet te stretchen been in flexie)¹⁹. Halbertsma beweert deze laatste methode toe te passen, maar in werkelijkheid wordt de PPT gebruikt en Johansson noemt de gebruikte methode een 'hurdler's stretch', terwijl het de methode van Anderson en Burke betreft^{27, 28}. Deze terminologieverwarring

geeft mogelijk vertekening van de interpretatie van de resultaten van onderzoeken naar de effectiviteit van stretchen en bij de onderlinge vergelijking van deze onderzoeken.

Ten slotte kan men onderscheid maken in passief en actief stretchen. Bij passief stretchen gebruikt men een kracht buiten het lichaam om de spier op lengte te brengen (bijvoorbeeld een andere persoon). Bij actief stretchen is het een kracht in het lichaam zelf (een antagonistische spiergroep) die de spier verlengt¹³.

2.1.1 Statisch stretchen

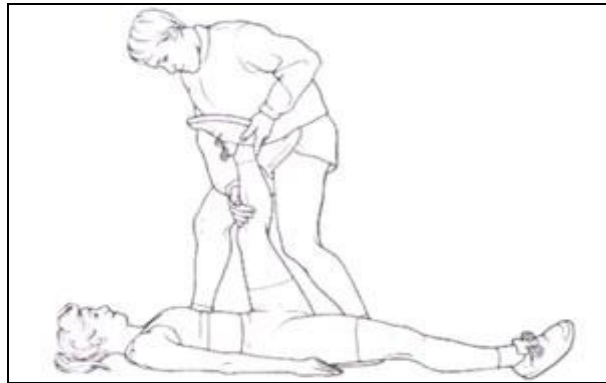
Met statisch stretchen wordt bedoeld het verlengen van een spiergroep tot aan het voelen van pijn. Het statische van de stretch bestaat uit het voor een bepaalde periode aanhouden van de behaalde lengte. Deze tijd kan variëren van 6 tot 90 seconden. Deze vorm van stretchen heeft als voordeel dat het een eenvoudige aan te leren vorm is en dat men veronderstelt dat er weinig blessures mee veroorzaakt worden. Bovendien kan deze vorm ook passief worden toegepast, waarbij een externe kracht voor het stretchen van de spier zorgt^{23, 29}. Veruit de meeste onderzoeken baseren het stretchprotocol dan ook op deze manier van stretchen

2.1.2 Ballistisch stretchen

Ballistisch stretchen, ook wel cyclisch stretchen, wordt gekenmerkt door herhalende verende bewegingen, waarbij de spieren zeer snel worden verlengd en onmiddellijk naar rustlengte worden gebracht²⁰. Deze vorm van stretchen wordt door sommige auteurs als inferieur aan de andere methoden beschouwd. Er is mogelijk een grotere kans op blessures van de spier-peesunit²⁹.

2.1.3 *Proprioceptieve neuromusculaire facilitatie*

Bij PNF-technieken wordt het stretchen vooraf gegaan door een contractie van de spier (figuur 2). De spier zou daarop reflexmatig ontspannen. Er wordt gedacht dat door het op deze wijze verminderen van de contractiele activiteit van de te stretchen spier de ROM verder kan worden vergroot dan bij andere technieken^{19, 23, 2928}. Er bestaan twee PNF technieken die frequent worden toegepast als stretchmethode;



Figuur 2 Stretchfase van PNF-stretchingtechniek

<http://www.manchesterathleticclub.com/club/scripts/section/section.asp?grp=0&NS=FIT>

het contract-release stretchen en het contract-release-antagonist-contract stretchen. Het contract-release stretchen bestaat uit een contractie van de spier met daarna een stretchfase²³. Het contract-release-antagonist-contract stretchen bestaat tevens uit een contractie van de spier gevolgd door een contractie van de antagonistisch spiergroep van de te stretchen spier. Pas na deze twee spieraanspanningen wordt de betreffende spiergroep gestretcht²⁹.

2.2 Duur van stretchen en aantal herhalingen

In dierexperimenteel onderzoek is gebleken dat na 12 tot 18 seconden stretchen de verandering in lengte van een spier veel minder significant is dan daarvoor. In vivo bleek de lengte bij 15 seconden stretchen groter te worden dan bij 5 seconden stretchen, terwijl voor de totale duur van stretchen over meerdere stretchsessies gecontroleerd was³⁰. Bij 30 seconden stretchen nam de lengte nog verder toe dan bij 15 seconden, maar tot 60 seconden niet meer, alhoewel hier niet voor de totale stretchduur gecontroleerd was. Een algemene aanname is dat een stretch tenminste 15 seconden dient te worden aangehouden²⁶.

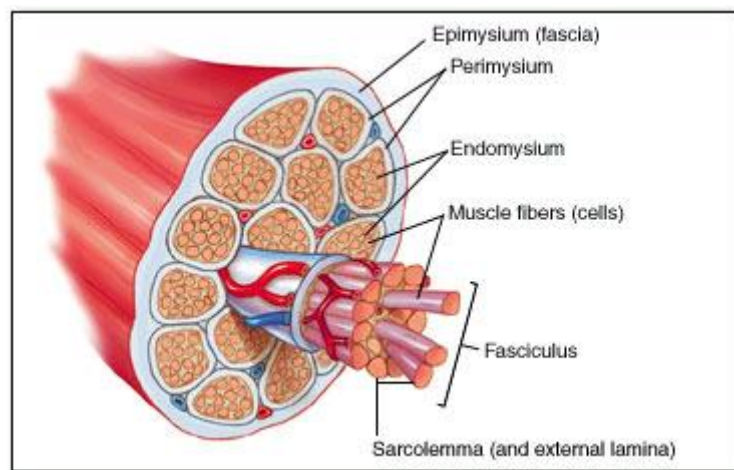
Na vier herhalingen van een stretch van 30 seconden waren veranderingen van eigenschappen van spier nog wel aantoonbaar, maar verschilden niet meer significant ten opzichte van elkaar in tegenstelling tot de eerste vier herhalingen. De grootte van de toegepaste kracht en de duur kunnen echter invloed hebben op het ideale aantal herhalingen. Verschillen tussen één maal per dag en drie maal per dag stretchen werden niet gevonden^{26, 29}.

2.3 Tijdstip van stretchen

Wat betreft het tijdstip van stretchen kan onderscheid gemaakt worden tussen vóór een training (vóór een warm-up, ná een warm-up of zonder een warm-up), ná een training (ná een cooldown, vóór een cooldown of zonder een cooldown) en buiten de training. Gesteld wordt dat na een training stretchen de blessurepreventie negatief kan beïnvloeden, omdat een vermoeide spier vatbaarder zou zijn voor letsel³¹. In verband met deze stelling zijn veel stretchprotocollen gebaseerd op het zogenaamde pre-exercise stretchen, oftewel stretchen vóór een training.

3 Eigenschappen van de spier-peesunit

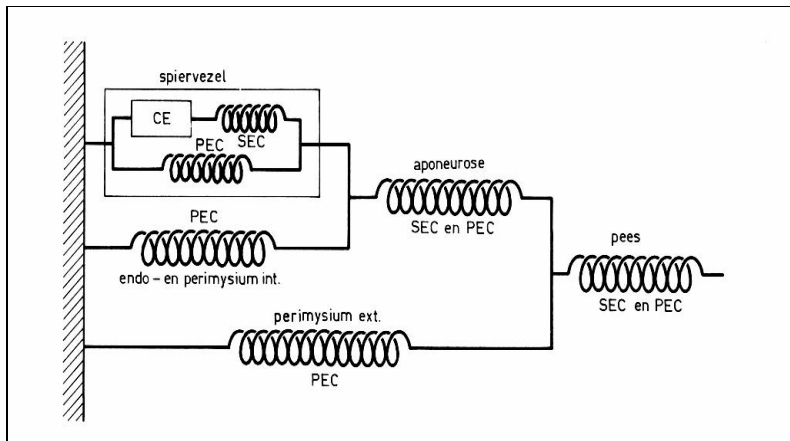
De spier-peesunit (muscle-tendon unit) bestaat volgens het Hill-model uit contractiele en passieve elementen. De contractiele elementen zijn zo gedefinieerd dat ze geen elastische eigenschappen vertonen, terwijl de passieve elementen verantwoordelijk zijn voor alle elastische eigenschappen van de spier-peesunit. De contractiele



Figuur 3 Opbouw van de spier

http://www.mhhe.com/biosci/esp/2001_saladin/folder_structure/su/m4/s1/sum4s1_3.htm

elementen komen overeen met sarcomeren in de spiervezels (spiercellen) en de passieve elementen zijn de bindweefselstructuren (collageen) die de sarcomeren omgeven en de pees die de spier aan andere structuren hecht (bijvoorbeeld bot). De intermusculaire bindweefselstructuren bestaan uit een parallel elastische component en een serie elastische component (figuur 3). De serie elastische component staat in serie geschakeld met de contractiele elementen en de parallel elastische component loopt parallel aan deze structuren. Het perimysium is de hoofdcomponent van de parallel elastische component en heeft als functie het evenredig spreiden van de belasting en het voorkómen van overstrekking. Het endomysium is belangrijk in de serie elastische component en heeft als functie het in serie overdragen van kracht van de contractiele elementen aan de pees en het bot (figuur 4). Het sarcolemma zou eventueel ook aanhechten aan de extracellulaire matrix en zou zo ook krachten kunnen overbrengen^{1, 32}.



Figuur 4 Identificatie van elastische componenten van een skeletspier¹

De sarcomeer is niet zoals men wel zou verwachten alleen maar contractiel en niet-elastisch. Een sarcomeer bevat wel de contractiele elementen, maar daarnaast ook structuren die elastisch zijn. Recentelijk is aangetoond dat titine (of connectine), een in de spiervezel gelegen filamentstructuur, het overgrote deel van de elastische eigenschappen van de spier-peesunit veroorzaakt. Deze structuur genereert passieve kracht (niet-contractiele kracht) wanneer een uitwendige kracht de spier-peesunit verlengt. De extracellulaire bindweefselstructuren genereren voornamelijk passieve kracht bij uitrekkingen waarbij de sarcomeer tot voorbij de fysiologische lengte wordt gebracht³³.

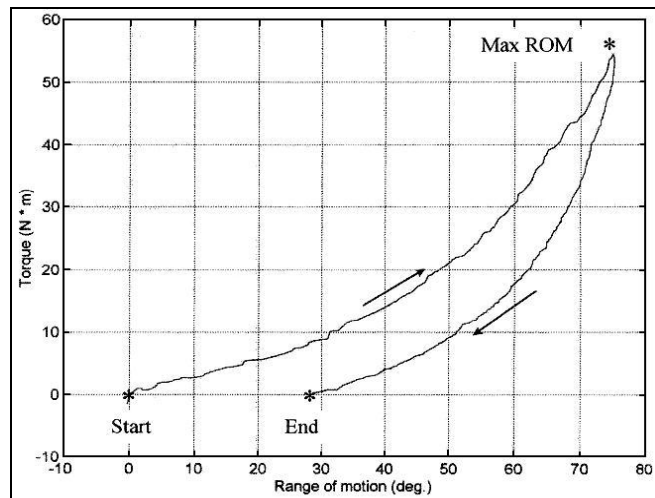
3.1 Visco-elastischeit

Biologische weefsels, zoals de bindweefselstructuren van de spier-peesunit, reageren bij lengteveranderingen of vervormingen zowel elastisch als viskeus en worden daarom visco-elastisch genoemd. Elasticiteit houdt in dat de lengteverandering van het weefsel direct proportioneel is aan de kracht en dat het weefsel naar de uitgangslengte terugkeert (volgens Hooke's model van een perfecte veer). Viscositeit houdt in dat de snelheid van lengteverandering direct proportioneel is aan de kracht (volgens Newton's model van een hydraulische zuiger). Visco-elastische materialen hebben daardoor bepaalde biomechanische eigenschappen²⁹. Eén daarvan is het verminderen van de kracht in het weefsel nadat dit naar een bepaalde lengte is gestretcht, oftewel de stressrelaxatie³⁴. Dit is viskeus omdat de kracht afneemt met de tijd en het is elastisch omdat er nog een kracht aanwezig blijft. Andere visco-elastische eigenschappen zijn trekspanning (tensie) en stijfheid (stiffness). Trekspanning wordt onderverdeeld in trekkracht (tensile stress) wat de interne kracht in het weefsel gedeeld door de dwarsdoorsnede van het krachtoppervlak is en rek (tensile strain) wat de vervorming door de trekkracht is (verandering van lengte gedeeld door de totale lengte in procenten). Stijfheid is volgens Hooke's model de relatie tussen stress en strain (stijver is minder uitrekking bij dezelfde trekkracht) en wordt dynamische flexibiliteit genoemd (stijver is minder flexibel)^{1, 21, 23}. Verder onderscheidt men

nog creep, hysteresis en strain rate dependence als visco-elastische eigenschappen. Creep is het asymptotisch naderen van een nieuwe lengte door continue vervorming van een weefsel bij een constante, gelijke belasting. Hysteresis is het verschil in energie absorptie tijdens belasting en energie afgifte bij ontlasting. Het verschil in energie kan toegekend worden aan warmteafgifte van het weefsel en/of veranderingen in de structuur van het weefsel. Strain rate dependence is het optreden van grotere krachten en meer hysteresis bij hogere snelheden van verlengen²⁹. Bovengenoemde eigenschappen, behalve strain rate dependence, zijn zowel dierexperimenteel als in vivo aangetoond^{5, 23, 29, 35, 36}.

3.2 Effecten van stretchen op visco-elastische eigenschappen

Het aantonen van de visco-elastische eigenschappen die onder invloed van stretchen veranderen gebeurt door een externe kracht een gewricht te laten bewegen van een minimale lengte (begin-ROM) van de spier tot een maximale lengte (eind-ROM). In dierexperimenten kunnen de lengte of kracht zelfs zo gekozen zijn dat ze schade aan de spier of een volledige scheuring veroorzaken. In humaan onderzoek is de maximale lengte altijd bepaald door het moment van optreden van pijn. Er zijn meerdere opstellingen gebruikt om de reactie van de spierpeesunit van de hamstrings en de ROM van de betrokken gewrichten op stretchen te bepalen. Voor de bepaling van de ROM bestaat er de straight-leg-raise (SLR) methode, de instrumentele straight-leg-raise (ISLR) en de active knee extension test (AKET)^{5, 23, 24}. Het meten van de maximaal te bereiken gewrichtshoeken staat in deze methoden centraal. Voor het vaststellen van de overige eigenschappen van de spierpeesunit is aan de bovenstaande methoden een meting van de kracht van de spierpeesunit bij een verlenging met constante snelheid toegevoegd. Zo kan het moment dat de spierpeesunit over het gewricht levert bij elke hoek, en daarmee lengte van de spierpeesunit, worden bepaald. Met het verlengen van de spier van begin-ROM tot eind-ROM en terug naar begin-ROM kan men een zogenaamde moment-hoekgrafiek plotten (figuur 5). De

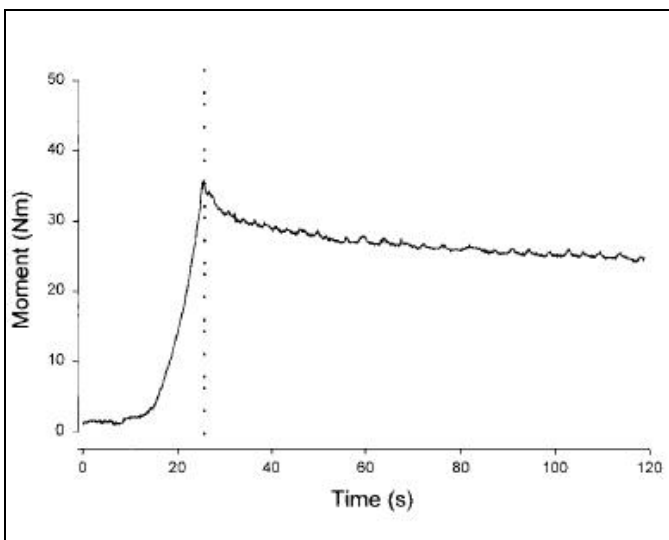


Figuur 5 Moment-hoekgrafiek met stijgend en dalend deel. Het verschil in oppervlak onder de curve tussen de delen is de hysteresis⁵.

op stretchen te bepalen. Voor de bepaling van de ROM bestaat er de straight-leg-raise (SLR) methode, de instrumentele straight-leg-raise (ISLR) en de active knee extension test (AKET)^{5, 23, 24}. Het meten van de maximaal te bereiken gewrichtshoeken staat in deze methoden centraal. Voor het vaststellen van de overige eigenschappen van de spierpeesunit is aan de bovenstaande methoden een meting van de kracht van de spierpeesunit bij een verlenging met constante snelheid toegevoegd. Zo kan het moment dat de spierpeesunit over het gewricht levert bij elke hoek, en daarmee lengte van de spierpeesunit, worden bepaald. Met het verlengen van de spier van begin-ROM tot eind-ROM en terug naar begin-ROM kan men een zogenaamde moment-hoekgrafiek plotten (figuur 5). De

grafiek vertoont tijdens belasting een stijgend deel (dynamische stretchfase) en tijdens ontlasting een dalend deel dat als geheel onder het stijgende deel ligt. In de dynamische stretchfase kan de geabsorbeerde energie (oppervlak onder de curve) en stijfheid (helling van het laatste derde deel van de curve) berekend worden. Een groter oppervlak komt overeen met meer geabsorbeerde (passieve) energie en een steilere helling komt overeen met een grotere stijfheid (er is meer kracht nodig voor de uitrekking). Het oppervlak onder het dalende deel van de curve is de energie die wordt afgegeven in het elastisch (passief) verkorten van de spierpees-unit naar begin-ROM. Het verschil tussen het oppervlak onder het stijgende deel van de curve en dat onder het dalende deel is het energieverlies oftewel de hysteresis.^{5, 23, 37}.

Door de spier met constante snelheid te verlengen tot aan het optreden van pijn (dynamische stretchfase) en vervolgens in deze maximale ROM de stretch vast te houden gedurende een bepaalde tijd (statische stretchfase) kan men een moment-tijdgrafiek verkrijgen (figuur 6 en bijlage 1; figuur 11)⁶. Hierin kan men de korte termijn effecten van stretchen in de statische stretchfase zien. In deze fase daalt het moment met de tijd met 30%, wat een uiting is van stressrelaxatie. De spanning in de spier daalt dus door stretchen. Alleen kan dit effect na één uur al niet meer worden aangetoond. Herhalen van de stretch (5 maal) zorgt voor een vermindering van de stijfheid (13%) en geabsorbeerde energie (30%) in de dynamische



Figuur 6 Stressrelaxatie curve van een hamstringspier in een moment-tijdgrafiek. De curve tot de horizontale stippellijn is de dynamische stretchfase. De fase na de stippellijn is de statische stretchfase⁶.

fase. Ook dit effect is na één uur verdwenen²³. Het lange termijn effect van stretchen beperkt zich tot het vergroten van de ROM. Vermindering van stijfheid en geabsorbeerde energie kan men niet overtuigend aantonen, noch in de spierpees-unit²¹, noch in de pees afzonderlijk³⁷. Vaker nog werd een stijging gevonden van stijfheid en geabsorbeerde energie die samenhangt met de toename van de maximale ROM^{23, 27, 38}.

3.3 Verklaring van de effecten op visco-elastische eigenschappen

Een verklaring voor de effecten van stretchen is dat stretchen de contractiliteit van de spier vermindert door een reflex en dat de vermindering in stijfheid dus in de spiervezel gelegen is²³. Dit effect, dat de theoretische basis van de PNF-technieken is, wordt reciproque of autogene inhibitie genoemd en komt neer op het verminderen van reflexactiviteit²⁴. Een tegengestelde theorie is dat enkel de passieve elementen bij stretchen worden ontspannen en niet de contractiele elementen. Bij isometrische contracties verlengen de pees, de spier-peesovergang, het epimysium, het perimysium, het endomysium en in geringe mate de contractiele filamenten. Bij een statische stretch verlengen ook nog eens de in de spiervezel gelegen filamenten (titine), doordat de contractiele eenheden ontspannen^{31, 33, 39}. Omdat na beide er ontspanning van de spier-peesunit optreedt en er daarbij gelijkwaardige krachten en effecten gevonden worden, is de stelling dat de gemeenschappelijke elementen de weefselontspanning veroorzaken. Dit wordt ondersteund doordat weefselontspanning afhankelijk is van de grootte van de toegepaste kracht, zowel centraal door een contractie als perifeer door een stretch³¹. Ter verificatie van deze stelling zijn onderzoeken uitgevoerd met behulp van elektromyografie (EMG). EMG kan aangeven hoeveel activiteit een bewuste spier vertoont. Hieruit blijkt dat juist bij de toepassing van PNF-technieken er weliswaar een grotere ROM ontstaat, maar het EMG-signaal sterker wordt, wat vermindering van reflexactiviteit tegenspreekt^{5, 40}. Ook is er wat betreft visco-elastische reactie op stretchen geen verschil tussen geïnnerveerde (met zenuw) en gedenerveerde (zonder zenuw) spieren²⁹. Verder zou de spieractiviteit die nodig is om eenzelfde moment te veroorzaken als de daling van moment door stressrelaxatie, theoretisch met een 10 maal hoger EMG signaal gepaard moeten gaan dan wat gemeten wordt³². Bovendien is er een vermindering van weerstand (34% tot 38%) in de spier door statisch stretchen aangetoond zonder enige EMG activiteit^{34, 40}. Ten slotte is gebleken dat de maximaal te bereiken ROM in een individu voor 66% verklaard kan worden door de stijging van het passieve moment in het midden van de ROM. Een grotere stijging in dit deel, en dus een stijvere spier, geeft een lagere maximale ROM. Verder kan de totale geabsorbeerde energie over de gehele ROM voor 13% de maximale ROM verklaren. Een spier die meer energie absorbeert heeft dus een grotere maximale ROM. Zowel stijfheid als geabsorbeerde energie zijn eigenschappen van de parallel elastische component en verklaren samen 79% van de maximale ROM. De serie elastische component die verbonden is met de contractiele elementen (spieractiviteit) heeft daardoor op zijn minst een minder groot aandeel in de maximale ROM dan de passieve elementen⁵. Dierexperimenteel onderzoek voegt daar nog aan toe dat vermindering van stijfheid bij stretchen niet een gevolg is van een vermindering van de overlap van de

contractiele eiwitten (myofilamenten; actine en myosine) in een sarcomeer. Maximale kracht komt namelijk overeen met een bepaalde overlap van de myofilamenten die zich langs elkaar heen kunnen trekken om de gehele sarcomeer te verkorten (bijlage 2; figuur 12). Minder overlap, door bijvoorbeeld een stretch die de myofilamenten uit elkaar zou kunnen trekken, resulteert in minder aangrijpingsplaatsen om deze eiwitten langs elkaar heen te trekken en op die manier in een kleinere kracht. Gebleken is dat gestretchte spieren en ongestretchte spieren dezelfde mate van overlap hebben bij bepaalde spierlengten, terwijl de gestretchte spier wel minder stijf was na de stretch⁴¹.

Een verklaring voor het uitblijven van een verminderde EMG-activiteit bij een toename van ROM door stretchen zou een verhoogde stretchtolerantie kunnen zijn: stretchen tot aan de pijngrens geeft vergroting van ROM omdat de pijngrens verhoogd wordt^{23, 27, 38}. Het langdurig stretchen tot aan een vooraf bepaalde kniehoek geeft bijvoorbeeld geen verandering in ROM⁴⁰.

Concluderend kan men stellen dat het kortdurende effect van stretchen beperkt blijft tot stressrelaxatie, vermindering van stijfheid en geabsorbeerde energie. De verklaring hiervoor ligt veel meer in de passieve elementen van de spier-peesunit dan in de contractiele elementen of bijbehorende zenuwbanen. Het lange termijn effect van stretchen bestaat uit een vergroting van de maximale ROM door verhoging van de stretchtolerantie.

4 Het effect van stretchen

Stretchen wordt om verscheidene redenen toegepast in de beoefening van sport. De drie doelen die het belangrijkste worden geacht zijn blessurepreventie, prestatieverbetering en spierpijnreductie. Deze zijn veelvuldig als uitkomstmaat van onderzoek naar het nut van stretchen gebruikt. Mogelijke andere redenen, zoals vergroting van de ROM, kan men meestal onder één van deze drie scharen: bijvoorbeeld prestatieverbetering. Per subparagraaf zullen de mechanismen van het ontstaan van blessures, prestatieverbetering en spierpijn besproken worden, waarna ingegaan zal worden op hoe de effecten van stretchen invloed kunnen hebben op de spier-peesunit.

4.1 Blessurepreventie

Onder de noemer blessurepreventie zal in deze paragraaf behalve primaire preventie ook tertiaire preventie behandeld worden. Hiermee wordt bedoeld dat zowel het voorkómen

als het herstellen van blessures een doel van stretchen kan zijn⁴². Eerst zal worden ingegaan op hoe blessures ontstaan.

4.1.1 Ontstaan van blessures

Blessures aan de spier-peesunit kunnen onderverdeeld worden in scheuringen (laceraties), kneuzingen (contusies) en verrekkingen (strains). Terwijl de kneuzing door plaatselijk stomp letsel ontstaat, zijn de verrekking en scheuring onderdeel van een continuüm van beschadigingen door krachten in de spiervezelrichting dat begint bij spierpijn en eindigt bij de scheuring. De kneuzing zal hier buiten beschouwing worden gelaten, omdat verondersteld wordt dat deze in het ontstaan niet beïnvloed wordt door eigenschappen van de spier-peesunit. Een blessure van de hamstring treedt meestal op door excentrische belasting: tijdens het verlengen met een gelijktijdige contractie van een geactiveerde spier. Voorbeelden van een dergelijke belasting zijn sprinten en springen. Dit gaat gepaard met een grote rek (strain) en trekkracht (stress) in de spier¹⁶. Een spier kan 50% in lengte toenemen, waarna het bindweefsel beperkend wordt. Het bindweefsel kan dan verder nog 8% tot 15% in lengte toenemen (strain) totdat het scheurt. De totale spier-peesunit kan daardoor 58% tot 65% strain aan tot een scheuring. In een dierexperimenteel onderzoek van Hasselman et al. werd de trekkracht bij een excentrische contractie die een ruptuur veroorzaakt gelijkgesteld aan 100%³⁵. Bij 60% van de strekkracht trad geen schade aan de spier-peesunit op, terwijl bij 70% reeds microscopische weefselschade aan de spiervezels bij de spier-peesovergang te bemerken viel. Er is dus sprake van een drempelwaarde van trekkracht in de spier wat betreft spierschade. Verdere verhoging van de trekkracht tot 80% gaf grotere schade in de vorm van bloedingen, oedeem, ontstekingsverschijnselen en spiervezelscheuring. Ten slotte vond er bij 90% van de maximale kracht schade aan de bindweefselstructuren van de spier-peesunit plaats en was de kracht van de spier na het experiment duidelijk verminderd. Schade van deze omvang is waarschijnlijk irreversibel en gaat gepaard met vorming van littekenweefsel. De spiervezelbeschadigingen in het experiment waren diffuus in zowel de spierbuik als bij de spierpees-overgang te vinden. Dit is in overeenstemming met de theorie dat de langste sarcomeren van de spiervezels het eerst beschadigen en homogeen verdeeld zijn over de spier⁴³. Langere sarcomeren hebben minder overlap van de myofilamenten en zullen bij een strekking van de spier sneller niet meer in staat zijn om met de verminderde overlap genoeg kracht te genereren om de strekking tegen te gaan (bijlage 2; figuur 12). De kracht van de strekking wordt in dat geval overgedragen aan de bindweefselstructuren van de spiervezel, waardoor daarin schade

optreedt. Sarcomeren die aan de pees bevestigd zijn, zijn de kortste en stijfste sarcomeren van de spiervezel. Deze behouden een overlap van de myofilamenten bij grotere krachten, maar aangrenzende sarcomeren worden hierdoor wel tot voorbij overlap getrokken wat verklaart waarom schade vaak aan de spier-peesovergang ontstaat. Een gegeven dat de theorie van de verminderde overlap ondersteunt is dat met excentrische contracties bij een grotere spierlengte, eerder en ernstigere spierschade ontstaat⁴⁴. Behalve in experimenten is ook klinisch de initiële plaats van schade in de spier meestal de spier-peesovergang³⁶. In de praktijk blijkt dat bi-articulaire spieren over het algemeen gevoeliger voor blessures zijn dan mono-articulaire spieren. Bi-articulaire spieren hebben, omdat niet een gewricht beperkend is, een groter natuurlijk bewegingstraject en kunnen daardoor verder gestrekt worden⁴³. In het experiment werd dit ook teruggezien doordat de M. extensor digitorum longus, een bi-articulaire spier, wel binnen de natuurlijke ROM beschadigd kon worden en de M. tibialis anterior, een mono-articulaire spier, niet¹⁶. Verder valt op dat spieren met meer type II spiervezels en dus een potentieel om sneller, grotere krachten te genereren, vaker zijn aangedaan dan spieren met meer type I spiervezels⁴⁵. Omdat in experimenten met rattenspieren het tegenovergestelde werd gevonden, lijkt het zo dat de mate waarin de verschillende spiervezeltypes bij een bepaalde inspanning zijn betrokken bepaalt welke type vezel het meest vatbaar voor beschadiging is⁴². Wat betreft de hamstringspieren is de M. biceps femoris de spier die het frequentst is aangedaan¹⁶.

4.1.2 Invloed van stretchen op het ontstaan van blessures

Bij het voorkómen van blessures moet een onderscheid gemaakt worden in de manieren waarop een blessure tot stand komt. De spier kan niet alleen overstrekt worden tot voorbij de natuurlijke ROM, maar ook een mechanische overbelasting bij een bepaalde hoek binnen de natuurlijke ROM krijgen⁴⁵. Voor het eerste type, overstrekingsblessures, denkt men dat de te absorberen energie tot spierscheuring en ROM tot spierscheuring moeten worden vergroot om het blessurerisico te verlagen. Dit is echter een aanname die niet op onderzoeksbevindingen gestoeld is en geen consensus geniet. Het is zo dat stijve spieren meer energie kunnen absorberen bij bepaalde hoeken, maar dat de maximale ROM-hoek van minder stijve spieren groter is en het daarbij behorende passieve moment groter dan bij stijve spieren in hun maximale ROM-hoek. In de eindstand kunnen minder stijve spieren dus meer energie absorberen²³. De korte termijn effecten van stretchen lijken, met inachtneming van de bovenstaande aanname, niet bevorderlijk te zijn voor het verlagen van het blessurerisico. Bij een gelijkblijvende maximale ROM worden de stijfheid en

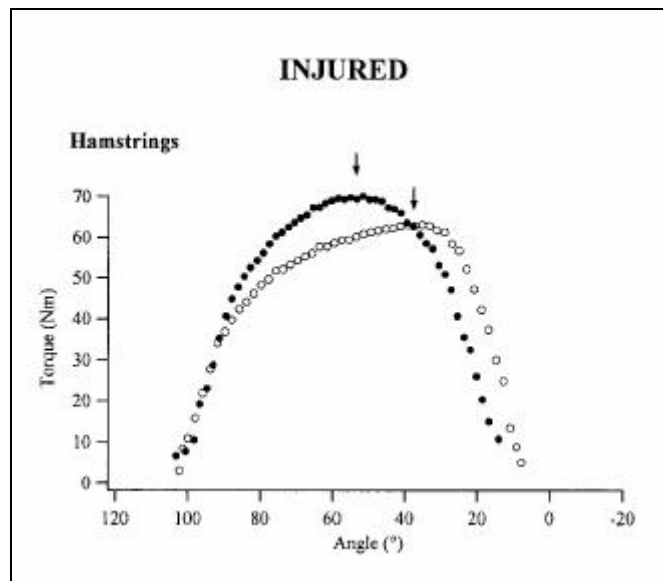
geabsorbeerde energie door stretchen namelijk alleen maar kleiner. Terwijl de bedoeling is dat de maximale ROM groter wordt en de geabsorbeerde energie daardoor ook. Het effect van stretchen op de lange termijn is daarentegen wel een vergroting van de maximale ROM en geabsorbeerde energie. Blessures die ontstaan bij spierlengten die vóórkomen in het bereik van de maximale ROM van een gewricht zouden daardoor verminderd kunnen worden. Hier moet wel de kanttekening worden gemaakt dat, omdat de vergroting van de maximale ROM wordt toegeschreven aan een vergrote stretchtolerantie, niet zeker is of de spier ook meer energie absorbeert tot het moment dat er schade optreedt.

Blessures die ontstaan door een overbelasting binnen de natuurlijke ROM zijn moeilijk te verbinden met gegevens van constante snelheidprotocollen met niet gestimuleerde spieren, zoals degene die hierboven toegepast kunnen worden op overstrekingsblessures⁴⁵. Bij een gestimuleerde spier zijn in tegenstelling tot een niet-gestimuleerde spier, de contractiele componenten van de spier-peesunit wel van belang. Het door stretchen verlagen van het moment bij een bepaalde hoek vermindert weliswaar de stress en stijfheid in de passieve elementen van de spier, alleen wordt de stijfheid van een geactiveerde spier-peesunit niet zozeer door de bindweefselstructuren veroorzaakt, als wel door het aantal in de contractiele elementen gemaakte koppelingen tussen de myofilamenten in de sarcomeer (bijlage 2; figuur 12). Meer activatie betekent meer koppelingen en daardoor een grotere weerstand tegen strekking, oftewel een grotere stijfheid. Een grotere stijfheid gaat gepaard met een groter absorptievermogen voor energie. Bij de gestimuleerde spier is de absorptie van energie groter als deze met een kracht tot een ruptuur wordt getrokken dan bij een niet gestimuleerde spier. Een gestimuleerde spier zou dus een grotere strain aankunnen dan een niet gestimuleerde spier. Onduidelijk is wat de relatie van energie-absorptie bij fysiologische spierlengten met de faaleigenschappen van de spier is en of stretchen een gestimuleerde spier kan beschermen tegen blessures. Gezien het uitblijven van een verandering van het EMG-sigitaal na stretchen, is het twijfelachtig of de stijfheid veroorzaakt door de contractiele elementen (actieve stijfheid) verandert^{28, 44}.

Opmerkelijk is de rol die stretchen krijgt toegedicht bij het ontstaan van blessures door het stretchen zelf. Bij ballistisch stretchen komen namelijk hogere stretchsnelheden voor dan bij andere vormen van stretchen. Invloed van de snelheid van stretchen op eigenschappen van de spier-peesunit is in vivo niet gevonden²⁰. Wel kan worden gesteld dat de eigenschappen van de spier-peesunit niet gunstig zijn om de doelen van stretchen te bereiken door hogere snelheden van stretchen. De piekkrachten en de geabsorbeerde energie nemen daarbij toe en de spier krijgt onafdoende tijd om een grotere lengte te krijgen (bij zelfde kracht) of de piekkracht terug te brengen (bij zelfde lengte)²⁹.

4.1.3 Invloed van stretchen op het herstellen van blessures

Wanneer er reeds een blessure van de spier bestaat kan stretchen mogelijk ook een rol spelen in het herstel. In de acute fase zou stretchen verklevingen tussen de spiervezels kunnen voorkomen. Pijnvrij stretchen zou vervolgens in de subacute fase kunnen zorgen voor het op één lijn brengen van de collageenvezels. En in de daaropvolgende fasen zou stretchen de flexibiliteit kunnen vergroten. Alleen de laatste van deze processen, het vergroten van de flexibiliteit, is wetenschappelijk vastgesteld. Eén van de problemen van het herstel van de geblesseerde hamstringspiergroep, is dat deze na herstel een andere moment-hoekcurve heeft dan een niet aangedane hamstring (figuur 7). De hoek waarop het maximale moment gegenereerd wordt is dan kleiner. Gedacht wordt dat dit het opnieuw ontstaan van een blessure in de hand werkt³. Of stretchen de hoek van optreden van maximaal moment kan vergroten is onduidelijk. Ook is de maximale ROM kleiner na een blessure dan daarvoor. Een kleine ROM wordt geassocieerd met een verhoogd risico op blessures. Dit is naar weten echter nooit overtuigend aangetoond^{16, 21, 46, 47}. De tijd van het ontstaan van een blessure tot volledig herstel is volgens Malliaropoulos et al. door stretchen terug te brengen van 15 dagen tot 13,4 dagen ($P < 0.001$)⁴⁷. Helaas ontbrak in dit onderzoek een exacte definitie van 'herstel'.



Figuur 7—Persoon met een eerdere eenzijdige hamstringverrekking. De over elkaar geplaatste hoekmomentcurves zijn donkere cirkels voor het been met de (herstelde) blessure en open cirkels voor de onaangedane zijde. De pijlen geven de hoek aan van maximaal moment⁸

aangedane hamstring (figuur 7). De hoek waarop het maximale moment gegenereerd wordt is dan kleiner. Gedacht wordt dat dit het opnieuw ontstaan van een blessure in de hand werkt³. Of stretchen de hoek van optreden van maximaal moment kan vergroten is onduidelijk. Ook is de maximale ROM kleiner na een blessure dan daarvoor. Een kleine ROM wordt geassocieerd met een verhoogd risico op blessures. Dit is naar weten echter nooit overtuigend aangetoond^{16, 21, 46, 47}. De tijd van het ontstaan van een blessure tot volledig herstel is volgens Malliaropoulos et al. door stretchen terug te brengen van 15 dagen tot 13,4 dagen ($P < 0.001$)⁴⁷. Helaas ontbrak in dit onderzoek een exacte definitie van 'herstel'.

4.2 Prestatieverbetering

Prestatieverbetering is erg afhankelijk van de soort sport waarvoor de prestatie geleverd moet worden. Kracht, uithoudingsvermogen, bewegingscoördinatie en efficiëntie zijn factoren die elke prestatie positief kunnen beïnvloeden¹⁴. Bovendien is flexibiliteit, oftewel een grote bewegingsuitslag over een gewricht voor bepaalde voornamelijk esthetische sporten zoals turnen, schoonspringen en kunstschaatsen, welhaast noodzakelijk. Zoals al

eerder genoemd is de maximale ROM door langdurige stretchoefeningen te vergroten en als zodanig kan stretchen in bovengenoemde sporten de prestatie verbeteren. De factor kracht wordt beïnvloed door de stijfheid van de spier-peesunit. Zo levert een stijvere spier meer isometrische kracht, een snellere isometrische krachtproductie en ook een snellere concentrische krachtproductie. De verklaring die hiervoor gegeven wordt is dat de krachtsontwikkeling in de sarcomeer efficiënter op het bot wordt overgebracht door stijvere bindweefselstructuren dan door minder stijve. In termen van het Hill-model geeft een serie elastische component dat op spanning staat een contractiele eenheid die minder hoeft te verkorten en daardoor geen krachtverlagende effecten van verkorting en verkortingsnelheid kent. Plastisch uitgedrukt moet de minder stijve of soepelere spier eerst de banden strak trekken voordat het kracht kan leveren op een botstructuur. Stretchen vermindert tijdelijk de stijfheid en met het bovenstaande in gedachten lijkt dat niet bevorderlijk voor prestaties die snelle krachtontwikkeling verlangen^{1, 21}.

Een eventueel neurologisch effect van stretchen is gevonden door Yamashita et al.⁴⁸, die na stretchen een verhoogd calciumgehalte vonden in rattenspieren, waardoor hypothetisch de spier beter is te activeren. Mogelijk is een eventuele toename in kracht door stretchen toe te schrijven aan een betere activatie, aangezien elastische eigenschappen krachttoename niet lijken te ondersteunen. Hier kan wel tegenin gebracht worden dat calciumverhoging ook een teken van spiercelmembraanschade kan zijn. Calcium kan door een verhoogde permeabiliteit van het beschadigde sarcolemma sneller de spiercel in en wordt bij een te hoge instroom niet meer afdoende door de calciumpomp de cel uitgepompt. Het hoge calciumgehalte in de cel zet verschillende proteolytische en phospholipolytische processen in gang die respectievelijk de contractiele eiwitten en de celmembraan afbreken. Deze processen vragen energie die vervolgens niet voor contracties beschikbaar is en op die manier de krachtgeneratie zouden kunnen beperken⁴⁹.

Wat betreft efficiëntie is de elastische energie die bij beweging in de spier kan worden opgeslagen en afgegeven een opvallend punt. Voor hardlopen is geschat dat ongeveer 60% van de totale arbeid voortkomt uit opgeslagen mechanische energie in de elastische structuren van de spier. In de stretch-shortening cycle (SSC) theorie wordt uitgegaan van het gegeven dat een spier die een excentrische contractie uitvoert direct daarna een veel krachtigere concentrische contractie kan uitvoeren dan zonder voorgaande excentrische contractie. Een voorbeeld van een SSC-beweging is springen, waarbij eerst door de knieën gebogen wordt met een excentrische contractie van de kniestrekkers waarop een concentrische contractie van deze spiergroep volgt om de sprong zelf te maken. Het vermogen om energie op te nemen in een excentrische contractie is een functie van de

stijfheid van de spier-peesunit. De hoeveelheid opgeslagen energie is gelijk aan het product van de actieve stijfheid en het kwadraat van de stretchafstand. Bij concentrische contracties is, zoals hierboven uitgelegd, van toepassing dat stijvere spieren meer en sneller kracht leveren. Met SSC is de kracht en de snelheid van de krachtproductie echter omgekeerd evenredig met de stijfheid van de spier en groter dan bij louter concentrische contracties. Dat SSC beter kracht levert ligt volgens de theorie in het efficiëntere gebruik van de in de spier opgeslagen elastische energie van de voorgaande excentrische contractie. Stijvere spieren zouden minder goed de opgeslagen energie kunnen gebruiken voor de direct erop volgende concentrische contractie²¹. De krachtwinst van een SSC-beweging ten opzichte van een puur concentrische contractie wordt toegeschreven aan de passieve component van de spier. Dit omdat bij spierlengten groter dan de lengte waarbij het maximale moment geleverd wordt, de krachtwinst toeneemt met de lengte van de spier. Oftewel is er een positieve correlatie van de krachtwinst met de lengte waarbij de stretch begint en ook met de lengte tot waar gestretcht wordt. Het beeld van het uitrekken van een elastiek is hier toepasselijk; vanaf een bepaalde lengte zal het elastiek de energie door lengtetoeename teruggeven in een verkorting en bij grotere lengten zal deze energie groter zijn omdat er ook meer energie is opgenomen⁵⁰. Toevoeging aan deze theorie is het idee dat het voordeel van SSC-bewegingen afhankelijk is van de eigenfrequentie van het elastische materiaal van de spier en de amplitude van de beweging. Langzame bewegingen met grote amplitudes zouden meer voordeel hebben bij soepele spieren en snelle, kleine bewegingen meer bij stijve spieren. In onderzoek naar zuurstofverbruik bij wandelen en hardlopen werd bijvoorbeeld gemeten dat de efficiëntie van 'stijve' personen, ingedeeld op basis van flexibiliteitsmetingen, hoger was dan 'soepele' personen. Het samenbrengen van deze observaties wordt gedaan in de verklaring dat SSC een compensatie kan zijn voor de beperkingen van een te soepele spier in het overbrengen van kracht. Aangezien de SSC-theorie gebaseerd is op actieve stijfheid kan ook dit keer, net als bij het effect van stretchen op blessures, niet gezegd worden of stretchen op het punt van prestatie een verandering teweeg kan brengen.^{5, 17, 21}. De toename in kracht bij SSC-beweging kan echter niet slechts door opslag en afgifte van elastische energie uitgelegd worden, zodat zeer waarschijnlijk andere mechanismen ook een bijdrage leveren. Welke mechanismen dit zijn is nog onduidelijk en daardoor tevens de mogelijke invloed van stretchen erop^{12, 51}.

4.3 Spierpijnreductie

Spierpijn is het begin van een continuüm van spierbeschadigingen dat eindigt bij de totale ruptuur van de spier. Spierpijn die geassocieerd is met sportbeoefening ontstaat meestal na zware spierarbeid waarbij zich grote krachten voordoen. Typerend is dat de spierpijn pas optreedt na een klachtenvrij interval volgend op de inspanning. Dit verschijnsel wordt vooral na excentrische arbeid van de spier waargenomen en het gaat aanvankelijk gepaard met krachtsverlies en verminderde coördinatie. Gemiddeld wordt na 24 tot 48 uur de meeste pijn gevoeld en verdwijnt deze langzaam in een tijdsbestek van vijf dagen. Sporters die getraind zijn in een bepaalde sport geven eerder een piek in de pijnbeleving aan dan sporters die niet zijn getraind in die sport^{42, 52}. Met een identiek verloop komt naast de pijn ook zwelling en een lichte tot matige verkorting van de spier voor. Door het verlate optreden van de pijn wordt dit geheel aan symptomen ook wel 'delayed onset muscle soreness' (DOMS) genoemd. Oorzaken van DOMS zijn op vele gebieden gezocht. Men dacht dan niet eens zozeer in oorzaken van spierschade (zie paragraaf 4.1), maar eerder in directe oorzaken van de prikkeling van zenuwvezels die zorgen voor pijnwaarneming. Dergelijke prikkelingen kunnen zowel chemisch, mechanisch als thermisch van aard zijn. Bindweefselbeschade is aangedragen als één van de oorzaken en hoewel er na inspanning verhoogde activiteit van bindweefselcellen is gevonden, zijn er weinig aanwijzingen dat beschadigingen aan de spier-peesunit door spierarbeid die spierpijn tot gevolg heeft, primair het bindweefsel betreffen. De beschadiging zit waarschijnlijk meer in de myofibrillen en de spiercel door een verstoring van de calciumhuishouding zoals in paragraaf 4.2 is toegelicht. Verder is lactaat aangedragen als de veroorzaker van pijn. Mensen die daarentegen geen lactaat kunnen produceren, zoals bij de ziekte van McArdle, hebben in dezelfde mate last van spierpijn als gezonde individuen. Biochemisch zijn er bovendien geen aanwijzingen gevonden voor een rol voor lactaat in spierpijn. Een andere theorie is gelegen in de ontstekingsreactie in de spier. Bij onderzoek met ratten werd namelijk 24 tot 48 uur na inspanning een piek gevonden in de door inspanning ontstane ontsteking in de spier. Andere onderzoeken konden niettemin geen ontsteking vinden in spierbiopten van mensen met spierpijn. Ook gaan sommige spierziekten gepaard met zeer grote ontstekingen terwijl daarbij geen spierpijn wordt gevoeld. Wat de theorie nog onwaarschijnlijker maakt is dat bij mensen de ontsteking pas na drie tot vier dagen maximaal is, op het moment dat de pijn al weer minder is. Natuurlijk zijn er nog een aantal stoffen die vrijkomen bij zware spierarbeid en een mogelijke rol in het ontstaan van DOMS kunnen hebben. Zo zijn prostaglandinen, histamine, serotonine, bradykinine, reactieve zuurstofsoorten, waterstofionen en kaliumionen onderzocht^{42, 53}. Van prostaglandine-E2 is

bekend dat het de werking van andere stoffen kan versterken en zenuwuiteinden kan sensibiliseren, maar tot nu toe kan geen specifieke stof aangewezen worden die direct verband houdt met de pijnperceptie. Vooral omdat de meeste stoffen wat betreft concentratie een verschillend tijdsverloop hebben ten opzichte van de spierpijn, wordt nu meer gedacht in de richting van het wegvallen van pijnonderdrukkende stoffen. Zwelling kan verder door weefseldrukverhoging in rust zo'n hoge druk in de spier bij beweging veroorzaken dat de zenuwuiteinden geprikkeld kunnen worden. Tenslotte is geopperd dat lokale verhardingen in de spier die pijnlijk zijn en ontstaan zijn door spierarbeid, een verhoogd EMG-signaal zouden kunnen laten zien. Deze zogenaamde 'spasme-theorie' gaat er van uit dat meer zenuwprickeling van de spier na inspanning voor pijn en ischemie zorgt. De lokale verhardingen blijken echter geen EMG-signaal te vertonen en ischemie is nooit aangetoond, waarmee de theorie verworpen lijkt⁴². Misschien dat de 'spasme-theorie' buiten DOMS en meer in de richting van spierkrampen geplaatst moet worden.

Behalve DOMS bestaat er namelijk ook een type spierpijn dat tijdens of vlak na zware en langdurige spierarbeid ontstaat en veroorzaakt wordt door onwillekeurige spastische samentrekkingen van de spier. Dit type wordt in de literatuur exercise-associated muscle cramps (EAMC) genoemd en gaat gepaard met een verhoogd EMG-signaal. Het mechanisme dat verantwoordelijk is voor de verhoogde aansturing van de spieren is gelegen in de veranderde activiteit van de spierspoeltjes en de Golgi-peeslichaampjes door vermoeidheid. Deze neurologische structuren in de spier-peesunit kunnen respectievelijk de lengte of snelheid van lengteverandering en de trekkracht of snelheid van trekkrachtverandering registreren. Uit EMG-metingen is gebleken dat statisch stretchen door invloed op de Golgi-peeslichaampjes de aansturing van de spier kan verlagen. Buiten het pre-exercise stretchen kan stretchen dus tijdens of na een inspanning nuttig zijn bij EAMC⁵⁴.

Omdat DOMS eenzelfde etiologie lijkt te hebben als blessures aan de spier-peesunit wordt voor de invloed van stretchen op spierpijn verwezen naar de biomechanische en neurologische invloed van stretchen op blessures zoals is beschreven in subparagraaf 4.1.2 en 4.1.3. Frappant is wel dat sommige auteurs de verhoging van de stretchtolerantie door stretchen zien als een risico voor blessures omdat de alarmerende werking van pijn voor de spier in het algemeen minder zou zijn^{11, 44}. Zo'n mechanisme zou namelijk ook tegen spierpijn kunnen helpen en toch komt men hier in de literatuur niet op terug.

Behalve een biomechanische en neurologische werking, heeft stretchen ook een inflammatoire reactie tot gevolg. Ontstekingscellen zoals neutrofielen en macrofagen zijn verhoogd na excentrische contracties. Neutrofielen zijn bovendien ook verhoogd na statisch

stretchen en isometrische contracties, overigens zonder verdere tekenen van spierschade. Nu blijkt dat statisch stretchen twee weken voor een inspanning met excentrische contracties de daaropvolgende inflammatoire reactie van neutrofielen verlaagt en zo een beschermend effect tegen ontsteking zou kunnen bieden^{8,55}.

Opvallend feit is dat statisch stretchen op zich ook DOMS kan veroorzaken²⁸. Vragen die daarbij gesteld kunnen worden zijn of de stretch zelf al pijnlijk was en of stretchen gelijksoortige schade kan veroorzaken als excentrische contracties.

5 Het nut van stretchen

De wetenschappelijk kennis over op welke manier stretchen van de spier-peesunit van nut kan zijn, is zoals gebleken nog beperkt. Het werkelijke nut is in de praktijk per uitkomstmaat in gerandomiseerde onderzoeken en cohort studies getoetst. Voor elk van de uitkomstmaten zal per paragraaf worden besproken wat het in de praktijk gevonden effect is.

5.1 Blessurepreventie

Verschillende reviews hebben gepoogd de beschikbare literatuur over stretchen en blessures te bundelen^{4, 11, 21, 44}, met als resultaat dat elke review afzonderlijk tot de conclusie kwam dat stretchen geen bescherming biedt tegen blessures. Enkel de reviews van Herbert en Gabriel en van Thacker et al. hebben een systematische analyse van de gebruikte methodologie toegepast^{4, 11}. Opmerkelijk is dat door Herbert en Gabriel, vanwege de gehanteerde inclusiecriteria, slechts twee gerandomiseerde klinische onderzoeken in de review betrokken werden. Beide klinische onderzoeken zijn uitgevoerd door Pope et al., met de kanttekening dat Herbert co-auteur is van beiden en selectie-bias dus niet uitgesloten kan worden. In de review van Thacker et al. overtroffen de onderzoeken van Pope et al. de overige onderzoeken in kwaliteit. Pope et al. vonden bij het volgen van 1538 militaire rekruten na 12 weken geen verschil in incidentie van blessures aan de onderste ledematen tussen een stretchgroep en een controlegroep (5,5 blessures per 1000 trainingen)⁵⁶. Uitgaande van het meest positieve effect van stretchen op blessures werd berekend dat men gedurende 3100 trainingen elke training vijf minuten moest stretchen om één blessure te voorkómen. Als men specifiek keek naar verrekkingen van de hamstringspieren, dan viel op dat deze in de controlegroep vijf maal meer voorkwamen dan in de interventiegroep (10 versus 2). Een onderzoek dat een significant positief effect

van stretchen op de blessurepreventie liet zien is een cohort studie van Hartig en Henderson die door de review van Thacker et al. kwalitatief matig werd beoordeeld^{11, 25}. De toename in flexibiliteit in de interventiegroep wordt door de auteur verantwoordelijk gehouden voor de blessurepreventie in deze groep. Onderzoek naar stretchen en blessures bij hardlopers is gedaan door van Mechelen⁵⁷. Een incidentie van 4,9 blessures per 1000 uur training in de controlegroep tegen 5,5 blessures per 1000 uur training in de interventiegroep was niet significant verschillend. Het lage aantal proefpersonen (421), de lage compliance (58% van zowel de interventiegroep als de controlegroep deed regelmatig stretchoefeningen) en de registratiemethode (dagboek) maken het resultaat bovendien weinig betrouwbaar. Wat betreft wielrennen is er slechts één retrospectief onderzoek bekend dat het verband tussen stretchen en blessures heeft onderzocht. Wilber et al. vonden dat stretchen voorafgaand aan het wielrennen een significant effect had voor die vrouwen die medische hulp zochten voor lies- en bilklachten⁵⁸. Op andere vlakken, zoals knie- en dijkklachten, kon geen verband met stretchen vastgesteld worden. De conclusie die uit de reviews en onderzoeken kan worden getrokken is dat stretchen geen bescherming biedt tegen blessures.

5.2 Prestatieverbetering

Volgens de systematische reviews op het gebied van stretchen is er geen valide onderzoek gedaan naar de relatie tussen sportprestatie en stretchen behalve in het kader van de SSC-theorie⁴. Een dergelijk onderzoek bekeek het effect van stretchen op het zuurstofverbruik en de snelheid van een 100m sprint in de atletiek. Terwijl de stretchoefeningen in drie van de vier bewegingen een vergroting in ROM teweegbrachten, kon er geen verschil in beide uitkomstmaten worden gevonden. Een ander onderzoek naar stijfheid en loopefficiëntie liet zelfs een negatieve uitwerking van stretchen zien²¹. Worrel et al. onderzochten de piekkrachten van een excentrische en een concentrische contractie die direct na elkaar werden uitgevoerd op gestandaardiseerde hoeksnelheden (60°/sec en 120°/sec). Bij zowel de groep die drie weken statische stretchoefeningen deed als de groep die PNF-stretchoefeningen deed, waren de piekkrachten en de maximale ROM na de interventie groter dan ervoor. Omdat de auteurs de methodologie van het onderzoek zelf in twijfel trokken, konden ze geen verband maken met concrete sportprestaties¹⁷.

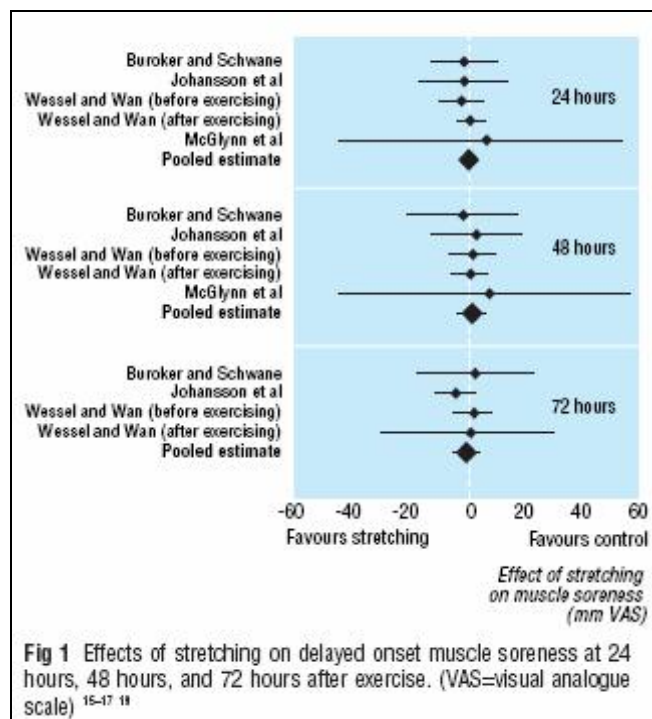
Hoewel vergroten van de stretchtolerantie als lange termijn effect van stretchen voor sommige sporten een positieve verandering in de bewegingsuitslag kan betekenen zijn er als korte termijn effecten eigenlijk alleen negatieve effecten van stretchen op de prestatie

aangetoond. Zo is er een krachtvermindering direct na stretchen gevonden, die tot één uur kan aanhouden. Ook lijkt de sprongkracht direct na stretchen minder te zijn¹¹. Het probleem met epidemiologisch onderzoek naar sportprestaties lijkt voornamelijk de specifieke eisen te zijn die een sport aan de onderdelen van het lichaam stelt. Resultaten zijn daardoor slecht generaliseerbaar⁵⁹.

5.3 Spierpijnreductie

Een zeer gedegen systematische review naar de effecten van stretchen op spierpijn is uitgevoerd door Herbert en Gabriel⁴. Zij combineerden de resultaten van vijf onderzoeken en vergeleken bij 24, 48 en 72 uur de verschillen tussen de controlegroepen en de stretchgroepen wat betreft spierpijn (figuur 8). Drie van de onderzoeken gebruikten een protocol met pre-exercise stretchen en de overige twee evalueerden stretchen na de inspanning. Het samengestelde effect was een zeer geringe vermindering van spierpijn na 72 uur. De vermindering is op zich zo

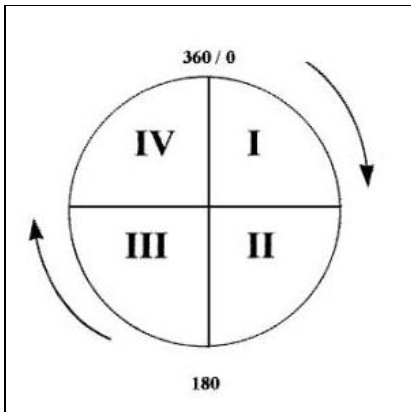
klein en de spreiding van de resultaten zodanig dat er in de praktijk geen sprake zal zijn van een merkbaar effect. Eén van de onderzoeken die in de review is opgenomen is uitgevoerd door Johansson et al.²⁸ Uit het artikel blijkt dat de metingen na 24, 48 en 96 uur hebben plaatsgevonden en niet na 72 uur, wat niet wegneemt dat er op alle tijdstippen geen verschil werd gevonden tussen het gestretchte en niet-gestretchte been. In het onderzoek waren ook gevoeligheid en kracht uitkomstmaten en net als de pijnperceptie waren deze respectievelijk maximaal en minimaal na 48 uur, maar verschilden niet wat betreft stretchen. Concluderend hebben zowel pre-exercise stretchen als stretchen na zware spierarbeid geen significant effect op DOMS.



Figuur 8 Effecten van stretchen op spierpijn na 24 uur, 48 uur en 72 uur na inspanning⁴

6 Verschillen tussen wielrennen en hardlopen

Om een toepassing van de conclusies uit voorgaande hoofdstukken te kunnen maken in de praktijk van de sportbeoefening wordt nu dieper ingegaan op de sporten genoemd in de



Figuur 9 Indeling van de pedaalbeweging in kwadranten²

(figuur 9). In kwadrant I, III en IV is de activatie van de hamstrings minder groot dan de activatie van de M. quadriceps femoris (kniestrekker en antagonist van de hamstrings), maar in kwadrant II groter dan in de andere kwadranten en groter dan de activatie van de quadricepspierspieroep. De hamstrings zorgen voornamelijk in kwadrant II dat het strekkende moment van de kniestrekken omgezet wordt in een heupstrekkung en daarmee dat het gehele been op het pedaal naar beneden wordt geduwd. Deze activiteit is concentrisch van aard^{12, 60}.

Hardlopen is in deelbewegungen op te delen door onderscheid te maken tussen een standfase en een zwaafase. Per been verloopt de standfase van de landing tot de afzet, waarna de zwaafase begint en duurt tot de landing. De hamstringspierspieroep vertoont vlak voor de afzetfase terwijl de heup buigt een excentrische contractie om de kniebuiging in te zetten zodat het been gebogen langs het standbeen kan zwaaien. In de zwaafase vlak voor de landing contraheren de hamstrings excentrisch om het zwaaiende onderbeen te remmen. Bij de landing is er een concentrische contractie om heupextensie tijdens het begin en midden van de standfase te krijgen⁶¹.

Wielrennen gaat dus alleen gepaard met concentrische activiteit van de hamstrings en hardlopen laat ook excentrische componenten zien. De delta-efficiëntie kan deze bewering op energetisch vlak ondersteunen. De delta-efficiëntie van een activiteit is de verhouding van een toename van het mechanische vermogen en de toename van de metabole energie die nodig is om de toename in vermogen te produceren. Voor een concentrische of isometrische contractie is de delta-efficiëntie niet groter dan 29%, wat wil zeggen dat niet

meer dan 29% van de door een spier verbruikte energie wordt omgezet in beweging. Bij hardlopen op een vlakke ondergrond is de delta-efficiëntie 42% en bij wielrennen 25%. Het hoge mechanische vermogen van hardlopen met een relatief lager energieverbruik dan bij wielrennen wordt verklaard door de lagere metabole energievraag van excentrische spierarbeid. De SSC-theorie geeft een verklaring voor het verschil in efficiëntie door dit toe te schrijven aan een toename van mechanisch vermogen door afgifte van in de spierpees-unit opgeslagen elastische energie¹². Opslag van elastische energie heeft echter wel grotere krachten op het bindweefsel tot gevolg, wat van belang is voor blessures.

Naast het verschil in type van contractie is ook van belang bij welke lengte van de spierpees-unit de wielren- of hardloophetbeweging wordt uitgevoerd ten opzichte van de lengte van maximaal moment. Aangenomen wordt dat bewegingen die op het dalende deel van de moment-hoekcurve (zie als voorbeeld figuur 7) plaatsvinden grotere krachten op het bindweefsel uitoefenen en een groter risico voor blessures met zich meebrengen. Spieren met een kleinere lengte van maximaal moment zullen bij bewegingen eerder het dalende deel van de curve bestrijken. Wielrennen en hardlopen zijn vergeleken wat betreft moment-hoekrelaties in de quadricepspierspieroep, maar van de hamstringspierspieroep is een dergelijke vergelijking niet bekend⁶². Het is enkel vanuit dit standpunt bezien moeilijk te zeggen welke sport vatbaarder is voor hamstringblessures. Toch kan een aanwijzing gevonden worden in de bevindingen dat hardlopen en excentrische training in het algemeen de stijfheid verhogen en dat een verhoging van de stijfheid van de serie elastische component resulteert in een verschuiving van de lengte van maximaal moment naar een kortere spierlengte. Tegelijkertijd met dit resultaat vergroot excentrische training ook het aantal sarcomeren in serie^{3, 62}. Het deel van de spier dat de contractiele elementen bevat wordt in totaal dus langer, waarbij de verwachting is dat de lengte van maximaal moment uiteindelijk gunstiger komt te liggen.

Het is een gegeven dat hamstringblessures en spierpijn bij wielrenners veel minder vaak gerapporteerd worden dan bij hardlopers en dit is waarschijnlijk gelegen in de excentrische contracties en de hogere krachten op de bindweefselstructuren die bij hardlopen optreden⁴². Voor wielrennen is de noodzaak van blessurepreventie en spierpijnreductie daarom minder groot en geldt voor hardlopen nogmaals de opmerking dat de kortdurende effecten van stretchen waarschijnlijk niet bevorderlijk zijn voor de verlaging van het blessurerisico. Met de SSC-theorie in gedachten is een prestatieverbetering bij hardlopen mogelijk afhankelijk van vermindering van de stijfheid van de spier-peesunit. In paragraaf 5.2 is evenwel al opgemerkt dat de invloed van stretchen op hardloopprestaties omstrede is. Dit geldt nog sterker voor wielrenprestaties door het ontbreken van een SSC-component in de beweging.

7 Alternatieven voor stretchen

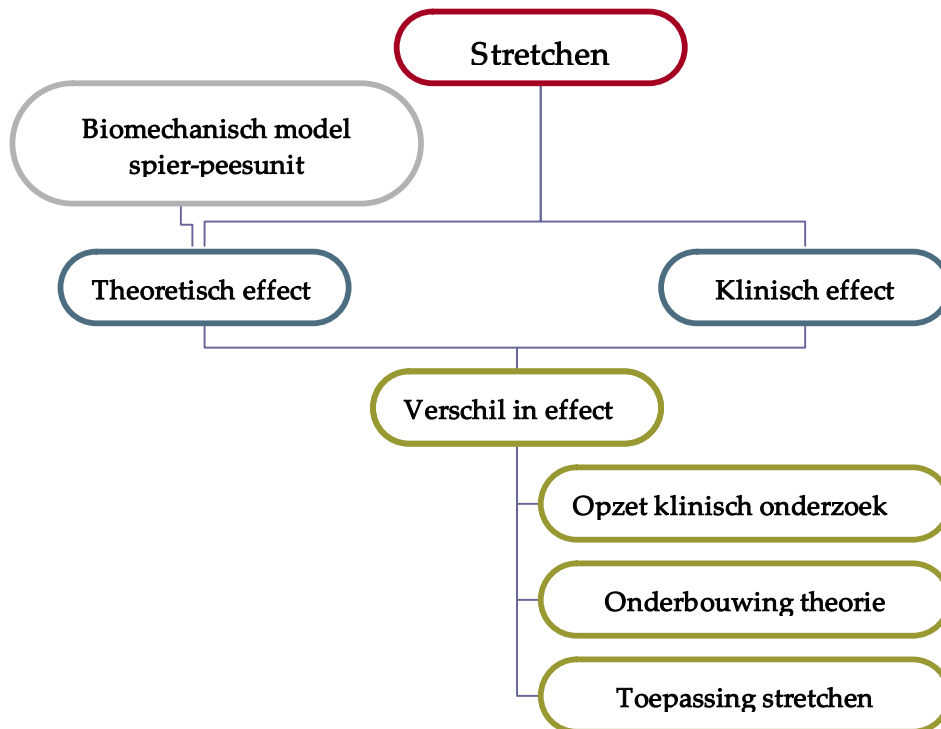
Zonder een uitgebreide uiteenzetting te doen van de mogelijkheden die naast stretchen in de sport prestaties kunnen verbeteren en blessures en spierpijn kunnen voorkómen, zal kort worden ingegaan op de warm-up als onderdeel van een training. Warm-up kan net als stretchen als een interventie tijdens de training beschouwd worden en onderscheid zich zo van andere factoren die geassocieerd zijn met de drie modaliteiten die in dit werkstuk centraal staan. Epidemiologische factoren die bijvoorbeeld het risico op blessures kunnen verhogen zijn een hoog vetpercentage, een slechte lichamelijke conditie, een onbalans van kracht in het lichaam, onervarenheid in de specifieke sport, krachttraining, een slechte dosering van trainingsomvang, vermoeidheid en roken^{11, 45}. In het klinische onderzoek van Pope et al. was de fysieke conditie (fitness) een risicofactor terwijl lengte, gewicht en lichaamssamenstelling dat niet waren⁵⁶. Het probleem met epidemiologische studies naar onderwerpen als blessures en prestatie, is dat ze multifactorieel bepaald en deels onbegrepen zijn.

Een actieve warm-up bestaat gewoonlijk uit joggen en bewegingen die typerend zijn voor de specifieke sport, maar dan uitgevoerd op een lagere intensiteit. De resulterende verhoging van de temperatuur in de spier wordt verantwoordelijk gehouden voor een verlaging van de stijfheid. Passief verwarmde, maar ook isometrisch voorgeconditioneerde spieren hebben een lagere stijfheid en kunnen bij het naderen van de maximale ROM grotere lengteveranderingen en krachten aan tot het falen van de spier-peesunit. De temperatuurverandering zou een aanpassing in visco-elasticiteit kunnen veroorzaken⁴³. Bij een actieve warm-up wordt daarentegen geen effect gevonden op visco-elastische eigenschappen zoals energieabsorptie en stijfheid en wordt er door Gleim en McHugh zelfs gewezen op een verminderde energie-absorptie van een warme spier die daardoor gevoeliger voor blessures zou zijn^{6, 21}. De warm-up lijkt daarmee een al even dubieuze rol in de sport toebedeeld te krijgen als stretchen.

Een mogelijk ander alternatief voor stretchen kan gelegen zijn in het uitvoeren van excentrische contracties. De beste remedie tegen spierpijn door excentrische contracties is een eerdere training met excentrische contracties. Een verandering in de aansturing van de spier (aansturing van meer vezels), een remodeling van het bindweefsel en het toenemen het aantal sarcomeren in serie zouden de spanning in de spier en op het bindweefsel verminderen^{3, 28, 55, 63}. Ook blessurepreventie en prestatie zouden door deze mechanismen kunnen verbeteren.

8 Conclusie

Het antwoord op de probleemstelling (*'wat is het nut van sportstretchen van de hamstringspieren voor blessurepreventie, prestatie en spierpijn?'*) zal aan de hand van figuur 10 geformuleerd worden.



Figuur 10 Beantwoording van de probleemstelling

Stretchen zoals dat in sport wordt toegepast heeft ondanks veel onderzoek nog geen duidelijke positie kunnen innemen. Op basis van de visco-elastische eigenschappen die in een biomechanisch model van de spier-peesunit zijn getest, is vast komen te staan dat stretchen kortdurend de stijfheid en de geabsorbeerde energie verlaagt. Onduidelijk is wat dat kan betekenen voor blessurepreventie, prestatie en spierpijn in de praktijk. Alhoewel een hoge absorptie van energie beschouwd wordt als beschermend tegen blessures, bestaat hier geen consensus over²¹. In de praktijk is in antwoord op de probleemstelling, op geen enkel vlak een klinisch effect gevonden van stretchen, behalve dat het de ROM door verhoging van de stretchtolerantie vergroot. Dat de magere theoretische aanwijzing voor een blessurepreventief effect van stretchen niet teruggevonden kan worden in de praktijk, kan drie verschillende gronden hebben. Allereerst is het klinisch onderzoek naar de effecten van stretchen slechts in enkele gevallen voorzien van een acceptabele methodologie. Meer onderzoeken zoals die zijn uitgevoerd door Pope et al.⁵⁶ zouden met grotere populaties, hogere exposities aan training en een consequentere en veelvuldige toepassing van het stretchen moeten worden uitgevoerd, waarbij veel factoren constant moeten worden

gehouden of waarvoor moet worden gecorrigeerd. Verder is de theorie achter stretchen, het ontstaan van blessures, spierpijn en het mechanisme van de krachtontwikkeling in een excentrisch contraherende spier nog niet uitgekristalliseerd. De onderbouwing van de theorie wordt bemoeilijkt doordat dierexperimenteel onderzoek moeilijk is te combineren met humaan onderzoek omdat bij dieren de stretchtolerantie moeilijk is te bepalen en bij mensen de faaleigenschappen van de spier niet vastgesteld kunnen worden. Desondanks zou men dieper in kunnen gaan op wat de effecten van excentrische en concentrische contracties op de passieve eigenschappen van de spier zijn. Andersom kan men zich afvragen of stretchen zelf gelijksoortige effecten kan geven als excentrische contracties aangezien het ook DOMS kan veroorzaken en het een inflammatoire reactie geeft. Ook het vraagstuk van de betekenis van energie absorptie verdient verdere aandacht. Verder zou de focus van onderzoek misschien verplaatst moeten worden van de biomechanica naar de neuromusculaire aspecten van stretchen. Ten slotte kan men zich afvragen of de huidige toepassing van stretchen in de sport wel juist is gekozen. Misschien moet het wel weggelaten worden uit de voorbereiding op een training en meer toegepast worden in rust om de ROM te vergroten of tijdens of na een inspanning wanneer er zich spierkrampen voordoen.

Samenvatting

Stretchen wordt frequent als voorbereiding op een sportinspanning toegepast. De reden hiervoor is gelegen in een mogelijke blessurepreventie, prestatieverbetering en spierpijnreductie. De vraagstelling van dit werkstuk is; 'wat is het nut van sportstretchen van de hamstringspieren voor blessurepreventie, prestatie en spierpijn?' Bij de beantwoording ligt de nadruk illustratief op wielrennen en hardlopen. De eigenschappen van de spier met zijn bindweefselstructuren worden beïnvloed door stretchen. Op de korte termijn verlaagt stretchen de stijfheid en de geabsorbeerde energie en op de lange termijn vergroot het de flexibiliteit door een verhoging van de stretchtolerantie. Onduidelijk is wat dit voor stretchen in de praktijk kan betekenen. Onderzoek met stretchen als interventie laat geen verschil zien met controlegroepen wat betreft blessures, prestatie en spierpijn. De beweging van wielrennen is zodanig van aard dat geen invloed van stretchen te verwachten valt, terwijl bij hardlopen nog onduidelijk is of er een positief of negatief effect bestaat. Beter klinisch onderzoek, een bredere onderbouwing van de theorie en een daaruit meer gerichte toepassing van stretchen kan de vraag of stretchen nut heeft mogelijk ophelderen.

Literatuur

1. Rozendal RH, Huijing PAJBM. Inleiding in de kinesiologie van de mens. 5^e ed. Culemborg: Educaboek; 1990.
2. Eisner WD, Bode SD, Nyland J, Caborn DN. Electromyographic timing analysis of forward and backward cycling. *Medicine and science in sports and exercise* 1999;31:449-455.
3. Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Predicting hamstring injury in elite athletes. *Medicine and science in sports and exercise* 2004;36:379-387.
4. Herbert RD, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ Clinical research ed* 2002;325:468.
5. McHugh MP, Kremenec IJ, Fox MB, Gleim GW. The role of mechanical and neural restraints to joint range of motion during passive stretch. *Medicine and science in sports and exercise* 1998;30:928-32.
6. Magnusson SP, Aagaard P, Larsson B, Kjaer M. Passive energy absorption by human muscle-tendon unit is unaffected by increase in intramuscular temperature. *Journal of applied physiology* 2000;88:1215-20.
7. de Visser E. Ritueel stretchen. *De Volkskrant* 2002 21 september.
8. Pizza FX, Koh TJ, McGregor SJ, Brooks SV. Muscle inflammatory cells after passive stretches, isometric contractions, and lengthening contractions. *Journal of applied physiology* 2002;92:1873-8.
9. Vriend I, Hoofwijk M, Den Hertog P. Effectiviteit van blessurepreventieve maatregelen in de sport. *Consument en Veiligheid* 2001:21-30.
10. NOC*NSF. Rekken of verrekken? In: www.sport.nl; 2003.
11. Thacker SB, Gilchrist J, Stroup DF, Kimsey CD. The impact of stretching on sports injury risk: A systematic review of the literature. *Medicine and science in sports and exercise* 2004;36:371-378.
12. Bijker KE, de Groot G, Hollander AP. Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *European journal of applied physiology* 2002;87:556-61.
13. Kloosterboer T. *Elementaire trainingsleer en trainingsmethoden*. Haarlem: De vrieseborch; 1996.
14. Verstappen F. *Bewegen en gezondheid*. Utrecht: De tijdstroom; 1995.
15. Robergs RA, Roberts SO. *Exercise physiology: exercise, performance and clinical applications*. St. Louis: Mosby; 1997.
16. Kujala UM, Orava S, Jarvinen M. Hamstring injuries. Current trends in treatment and prevention. *Sports medicine Auckland, N.Z* 1997;23:397-404.
17. Worrell TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 1994;20:154-9.
18. van Dale JH, van Sterkenburg PGJ. *Van Dale groot woordenboek hedendaags Nederlands*. Utrecht: Van Dale Lexicografie; 2002.
19. Anderson B, Burke ER. Scientific, medical, and practical aspects of stretching. *Clinics in sports medicine* 1991;10:63-86.
20. Magnusson SP, Aagaard P, Simonsen E, Bojsen-Møller F. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *International journal of sports medicine* 1998;19:310-316.
21. Gleim GW, McHugh MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports medicine Auckland, N.Z* 1997;24:289-99.

22. Putz R, Pabst R. Sobotta, atlas van de menselijke anatomie. Houten: Bohn Stafleu Van Loghum; 2000.
23. Magnusson SP. Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scandinavian journal of medicine and science in sports* 1998;8:65-77.
24. Sullivan MK, DeJulia JJ, Worrell TW. Effect of pelvic position and stretching method on hamstring muscle flexibility. *Medicine and science in sports and exercise* 1992;24:1383-9.
25. Hartig DE, Henderson JM. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *American journal of sports medicine* 1999;27:173-6.
26. Bandy WD, Irion JM, Briggler M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Physical therapy* 1997;77:1090-6.
27. Halbertsma JP, van Bolhuis AI, Goeken LN. Sport stretching: effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 1996;77:688-92.
28. Johansson PH, Lindstrom L, Sundelin G, Lindstrom B. The effects of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scandinavian journal of medicine and science in sports* 1999;9:219-25.
29. Taylor DC, Dalton JD, Jr., Seaber AV, Garrett WE, Jr. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. *American journal of sports medicine* 1990;18:300-9.
30. Roberts JM, Wilson K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *British journal of sports medicine* 1999;33:259-63.
31. Taylor DC, Brooks DE, Ryan JB. Viscoelastic characteristics of muscle: passive stretching versus muscular contractions. *Medicine and science in sports and exercise* 1997;29:1619-24.
32. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Kjaer M. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *American journal of sports medicine* 1996;24:622-8.
33. Trombitás K, Wu Y, McNabb M, Greaser M, Kellermayer MSZ, Labeit S, et al. Molecular basis of passive stress relaxation in human soleus fibers: assessment of the role of immunoglobulin-like domain unfolding. *Biophysical Journal* 2003;85:3142-3153.
34. McHugh MP, Magnusson SP, Gleim GW, Nicholas JA. Viscoelastic stress relaxation in human skeletal muscle. *Medicine and science in sports and exercise* 1992;24:1375-82.
35. Hasselman CT, Best TM, Seaber AV, Garrett WE, Jr. A threshold and continuum of injury during active stretch of rabbit skeletal muscle. *American journal of sports medicine* 1995;23:65-73.
36. McGinnis PM. *Biomechanics of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics; 1999.
37. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of applied physiology* 2002;92:595-601.
38. Wiemann K, Hahn K. Influences of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameters of the human hamstrings. *International journal of sports medicine* 1997;18:340-6.
39. Wakabayashi K, Yasunobu S, Hidehiro T, Ueno Y, Takezawa Y, Amemiya Y. X-ray diffraction evidence for the extensibility of actin and myosin filaments during muscle contraction. *Biophysical Journal* 1994;67:2422-2435.
40. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Sorensen H, Kjaer M. A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *Journal of physiology* 1996;497:291-8.
41. Mantovani M, Cavagna GA, Heglund NC. Effect of stretching on undamped elasticity in muscle fibres from *Rana temporaria*. *Journal of muscle research and cell motility* 1999;20:33-43.
42. Hendriks ERHA, Backx FJG. *Leerboek sportgeneeskunde*. Houten: Bohn Stafleu Van Loghum; 1992.

43. Safran MR, Garrett WE, Jr., Seaber AV, Glisson RR, Ribbeck BM. The role of warmup in muscular injury prevention. *American journal of sports medicine* 1988;16:123-9.
44. Shrier I. Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clinical journal of sport medicine official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 1999;9:221-7.
45. Safran MR, Seaber AV, Garrett WE, Jr. Warm-up and muscular injury prevention. An update. *Sports medicine Auckland, N.Z* 1989;8:239-49.
46. Worrell TW. Factors associated with hamstring injuries. An approach to treatment and preventative measures. *Sports medicine Auckland, N.Z* 1994;17:338-45.
47. Malliaropoulos N, Papalexandris S, Papalada A, Papacostas E. The role of stretching in rehabilitation of hamstring injuries: 80 athletes follow-up. *Medicine and science in sports and exercise* 2004;36:756-759.
48. Yamashita T, Ishii S, Oota I. Effect of muscle stretching on the activity of neuromuscular transmission. *Medicine and science in sports and exercise* 1992;24:80-4.
49. Armstrong RB, Warren GL, Warren JA. Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury. *Sports medicine Auckland, N.Z* 1991;12:184-207.
50. Schachar R, Herzog W, Leonard TR. The effects of muscle stretching and shortening on isometric forces on the descending limb of the force-length relationship. *Journal of Biomechanics* 2004;37:917-926.
51. Bobbert MF, Gerritsen KG, Litjens MC, van Soest AJ. Why is counter movement jump height greater than squat jump height? *Medicine and science in sports and exercise* 1996;28:1402-1412.
52. Vickers AJ. Time course of muscle soreness following different types of exercise. *BMC musculoskeletal disorders* 2001;2:5.
53. Close GL, Ashton T, Cable T, Doran D, MacLaren DPM. Eccentric exercise, isokinetic muscle torque and delayed onset muscle soreness: the role of reactive oxygen species. *European journal of applied physiology* 2004;91:615-621.
54. Schwellnus MP, Derman EW, Noakes TD. Aetiology of skeletal muscle 'cramps' during exercise: A novel hypothesis. *Journal of Sports Sciences* 1997;15:277-285.
55. Koh TJ, Peterson JM, Pizza FX, Brooks SV. Passive stretches protect skeletal muscle of adult and old mice from lengthening contraction-induced injury. *Journals of gerontology, The series A, biological sciences and medical sciences* 2003;58:592-7.
56. Pope RP, Herbert RD, Kirwan JD, Graham BJ. A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Medicine and science in sports and exercise* 2000;32:271-7.
57. van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC, Voorn WJ, de Jongh HR. Prevention of running injuries by warm-up, cool-down, and stretching exercises. *American journal of sports medicine* 1993;21:711-719.
58. Wilber CA, Holland GJ, Madison RE, Loy SF. An epidemiological analysis of overuse injuries among recreational cyclists. *International journal of sports medicine* 1995;16:201-6.
59. Lund H. Stretching before or after exercising has no effect on muscle soreness or risk of injury. *Australian journal of physiotherapy* 2003;49:73.
60. Andrews JG. The functional role of the hamstring and quadriceps during cycling: Lombard's paradox revisited. *Journal of Biomechanics* 1987;20:565-575.
61. Shiavi R. Electromyographic patterns in adult locomotion: A comprehensive review. *Journal of rehabilitation research and development* 1985;22:85-98.
62. Savelberg HH, Meijer K. Contribution of mono- and biarticular muscles to extending knee joint moments in runners and cyclists. *Journal of applied physiology* 2003;94:2241-8.

63. Yu JG, Carlsson L, Thornell LE. Evidence for myofibril remodeling as opposed to myofibril damage in human muscles with DOMS: an ultrastructural and immunoelectron microscopic study. *Histochemistry and cell biology* 2004;121:219-227.

Bijlage 1 Figuren

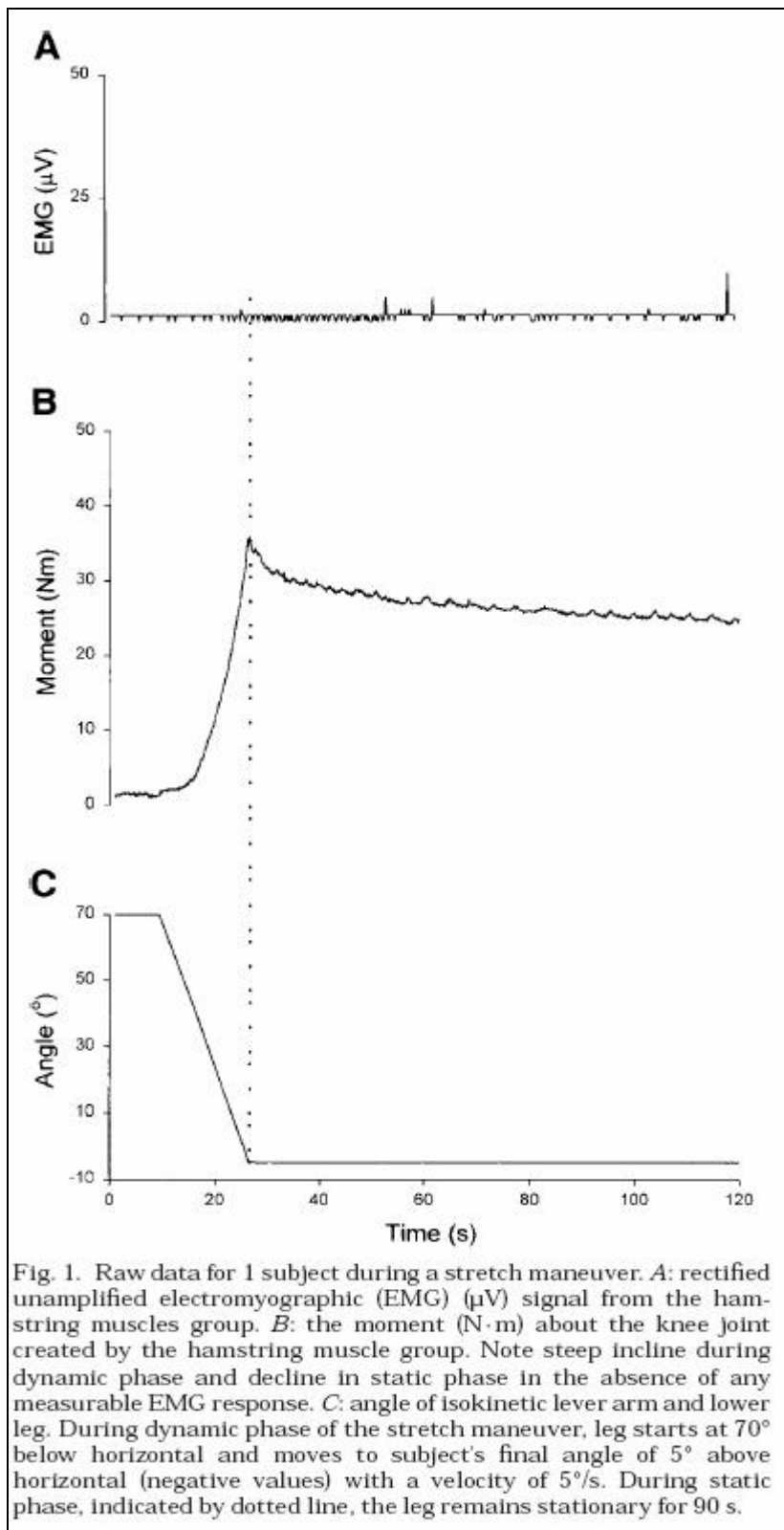
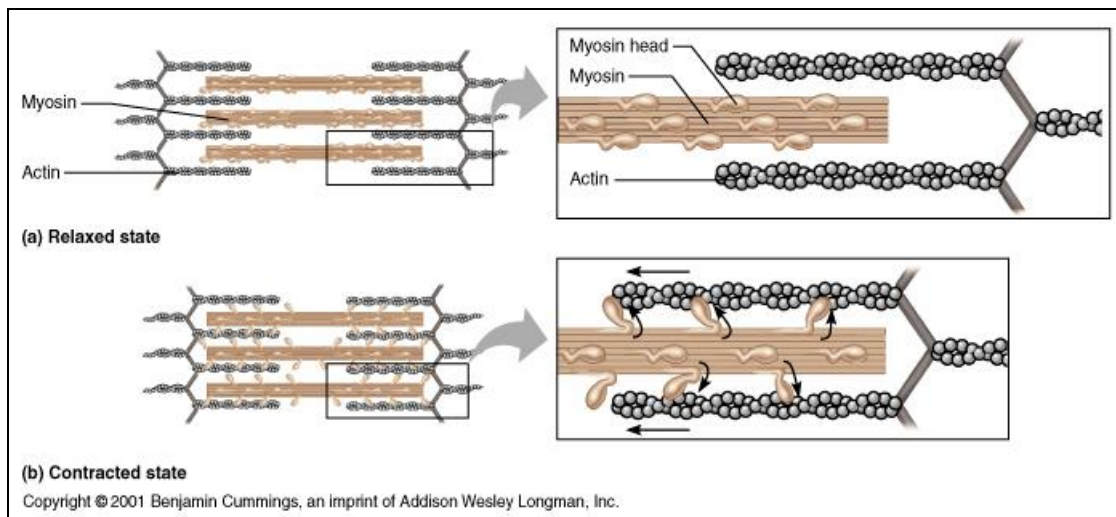


Fig. 1. Raw data for 1 subject during a stretch maneuver. *A*: rectified unamplified electromyographic (EMG) (μV) signal from the hamstring muscles group. *B*: the moment ($\text{N}\cdot\text{m}$) about the knee joint created by the hamstring muscle group. Note steep incline during dynamic phase and decline in static phase in the absence of any measurable EMG response. *C*: angle of isokinetic lever arm and lower leg. During dynamic phase of the stretch maneuver, leg starts at 70 $^\circ$ below horizontal and moves to subject's final angle of 5 $^\circ$ above horizontal (negative values) with a velocity of 5 $^\circ/\text{s}$. During static phase, indicated by dotted line, the leg remains stationary for 90 s.

Figuur 11 EMG (a), moment (b) en hoek (c) bij de dynamische en statische fase van een statische stretch⁶

Bijlage 2 Figuren



Figuur 12 De myofilamenten myosine en actine overlappen elkaar minder in rust (a) dan in de contractiele toestand (b). Bij meer overlap zijn er meer koppelingen tussen de myosinekoppen (Myosin head) en de actinefilamenten. <http://www.bmb.psu.edu/courses/bisci004a/muscleb4/muscle.htm>